

DIDÁCTICA DE LA BIOMECÁNICA: CIMIENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA NUEVA DIDÁCTICA ESPECÍFICA

Didactics of Biomechanics: Foundations for the construction of a new Specific Didactics

Juan Carlos Muñoz, Universidad Nacional de Tres de Febrero y Universidad Nacional de San Martín, Argentina.
profjcm@hotmail.com

Pablo Daniel Muñoz, Centro de Asistencia Psicopatológica (C. A. P.), Argentina.
pablodanieldr@hotmail.com

Wanda Holtz, Universidad Nacional de San Martín y Ente Nacional de Alto Rendimiento Deportivo (ENARD), Argentina.
wandaholtz@gmail.com

Muñoz, J. C., Muñoz, P. D. y Holtz, W. (2019). Didáctica de la Biomecánica: Cimientos para la construcción de una nueva Didáctica Específica. *RAES*, 11(19), pp. 108-122.

Resumen

Desde hace varias décadas, las Didácticas Específicas vienen realizando valiosos aportes tanto teóricos como en la práctica docente, afianzando al mismo tiempo su autonomía sin perder su vinculación con la Didáctica General y la especificidad de cada ciencia en particular (Steiman, Misirlis, Montero; 2004). Las Didácticas Específicas de la Física y de la Biología tienen una aceptación creciente en el mundo científico y académico, que se manifiesta en el aumento de investigaciones y publicaciones especializadas en dichas áreas. Sin embargo, todavía existen campos en los que este desarrollo se encuentra dando sus primeros pasos. Tal es el caso de la Biomecánica. Dado el alto grado de desarrollo que actualmente presenta la Biomecánica a nivel mundial, como también ante la perspectiva de un mayor crecimiento de esta disciplina en el futuro, con su consecuente necesidad de enseñarla para ser aprendida y aprehendida, en el presente trabajo proponemos la conformación de una Didáctica de la Biomecánica, entendiendo que ésta no es una rama o subespecialidad de la Didáctica de la Física ni de la Didáctica de las Ciencias Biológicas.

Palabras clave: Biomecánica/ Didáctica Específica/ fundamentos/ necesidad/ constitución.

Abstract

For decades, Specific Didactics have been making valuable contributions while clinching their autonomy and without losing their connection with the General Didactics and the specificity of each Science (Steiman, Misirlis, Montero; 2004). Didactics of Physics and Biology have been accepted in the scientific and academic world, manifested in increasing research and specialized publications in these areas. However, there are still areas in which this development is taking its first steps. Such is the case of Biomechanics. Given the high level of development which currently Biomechanics offers worldwide, as

well as the prospect of further growth in the future, with the consequent need to teach so that it is learned and apprehended, in this paper we propose the conformation of a Didactics of Biomechanics, understanding that this is not a branch or sub-specialty neither of the Didactics of the Physics nor of the Didactics of the Biological Sciences.

Keywords: Biomechanics/ Specific Didactics/ foundations/ necessity/ constitution.

INTRODUCCIÓN

La Biomecánica es una disciplina que presenta un amplio espectro de aplicaciones, siendo fundamental su conocimiento en gran cantidad y variedad de profesiones relacionadas, de una u otra manera, con las Ciencias de la Salud. Medicina, Terapia Física, Terapia Ocupacional, Bioingeniería, Kinesiología, Física Médica, Ortoprotésica, Antropología, Ciencias del Deporte, son sólo algunas de las especialidades que requieren estudios de Biomecánica durante la formación universitaria. Ya en un trabajo previo hemos expresado nuestra convicción de que “si una disciplina existe como tal, entonces ha de existir su correspondiente Didáctica Específica *asociada*”. Es lo que hemos dado en llamar como *Principio de indisociabilidad Disciplina - Didáctica Específica*. No puede existir una Didáctica Específica de una disciplina particular en tanto no exista una tal disciplina, y al mismo tiempo no puede existir una disciplina viva –en el sentido de que crezca y se desarrolle- si no es enseñada y aprendida, si no existen acciones didácticas específicas sustentadas en un marco didáctico específico, es decir, si no existe una Didáctica Específica como espacio para reflexionar sobre la acción didáctica misma, como también sobre el propio marco” (Muñoz, Vales Flores; 2016, p.16). Este principio rector, en tanto señala una dirección que permite y favorece el desarrollo de una ciencia masiva y democrática, es por ende aplicable a la Biofísica y, en particular, a la Biomecánica. De él se desprende que ser experto en Biomecánica no implica necesariamente saber cómo facilitar el aprendizaje de esta disciplina a los alumnos e investigadores noveles, como tampoco sus contenidos, procedimientos experimentales y metodologías. Para ello es necesario no sólo conocer y comprender la Biomecánica en sí, sino además tener la capacidad de reconocer aquellas problemáticas propias de esta rama del conocimiento que dificultan y que potencian el aprendizaje de los alumnos, así como también modelos de aprendizaje y de enseñanza, metodologías de investigación educativa, diseño de programas y planes de estudio acordes a los diferentes tipos de carreras en la que se enseñe esta disciplina, etc. La Didáctica Específica de la Biomecánica ha de conformar un espacio donde se establezcan relaciones no sólo con la Biomecánica sino también con otros campos de conocimiento, como la Historia de la Ciencia y en particular de la Biofísica y de la Biomecánica, la Filosofía, la Psicología, la Didáctica General, las Didácticas Específicas de la Física, de la Biología y de la Biofísica, entre otras.

DESARROLLO

A diferencia de otras Didácticas Específicas que se vienen desarrollando desde hace ya varias décadas, la Didáctica de la Biomecánica es una disciplina que ha comenzado a conformarse muy recientemente, de tal forma que podríamos decir que es hija de este nuevo siglo¹. Sin embargo, podemos encontrar en la última década del siglo XX algunos trabajos que se proponen mejorar la enseñanza y el aprendizaje de la Biomecánica, y que venían realizándose de modo aislado, no orgánico, de modo casi intuitivo, centrado en experiencias personales y, mayoritariamente, sin fundamentos teóricos que sustenten las prácticas propuestas de modo integral. Son más bien la expresión de prácticas docentes particulares, algunas

¹ Moriz Benedikt (1889), iniciador de un programa para dar “status científico” a la Biomecánica, consideraba central la reforma de la enseñanza, y en particular de la Morfología para transformarla en Biomecánica (Muñoz, 2017). Posteriormente, entre 1921 y 1922, Vsévolod Meyerhold crea un estudio de enseñanza teatral donde madura la idea de la biomecánica y de la formación integral del actor (Carrión, A; 2009). La biomecánica viene a ser la integración de los recursos de las técnicas de movimiento, expresadas en términos del discurso revolucionario del rendimiento y eficacia de la máquina corporal (Petruccelli, M; 2009). Se busca formar a los actores para actuar de acuerdo con los principios de la Biomecánica, que ignora la diferenciación de funciones del actor. “Lo quiere a su vez comediante, acróbata, juglar, clown, prestidigitador, chansonnier, poseedor de una técnica universal fundada en un dominio total, en un sentido innato del ritmo y en la economía de movimientos, siempre racionales” (Hormigón, 1992, p.84; en Sagaseta, J; 2009, p.72) “La Biomecánica intenta por primera vez enseñar todo lo que un hombre debe aprender si quiere ser un elemento cualificado de la sociedad, en la Biomecánica se asiste al encuentro entre la organización en el arte y en la vida” (Meyerhold, 1932, p.21; en: Monteros Erazo, 2017, p.71). En algún sentido, podríamos considerar que la Biomecánica de Meyerhold tiene una arista que implicaba un intento de método educativo en el mundo teatral, aunque su intencionalidad no estaba puesta en el cómo educativo sino en el contenido a transmitir. Tanto Benedikt como Meyerhold estaban interesados en la enseñanza, y en este sentido podrían considerarse como los primeros antecedentes de la educación en Biomecánica, pero esta conceptualización es muy diferente de lo que hoy consideramos como interés didáctico, y más aún como una disciplina didáctica en sí misma.

valiosas, inmersas en variados diseños curriculares que se comparten entre una todavía minoría interesada en la educación biomecánica. De allí la importancia central de la construcción de posibles marcos teóricos que contemplen, además de las características cognitivas de estudiantes y docentes, una amplia gama de consideraciones que permitan, por un lado dar sentido a las prácticas docentes, y por otro aún más importante, guiar los procesos de investigación didáctica y reflexión crítica que, como una de sus tantas consecuencias, podrán redundar positivamente en la enseñanza y aprendizaje de la disciplina. Pero habilitar posibilidades de investigación educativa, y la construcción de marcos teóricos educativos específicos, exige la conformación de una Didáctica Específica particular, que pueda orientar y dar cuenta de los resultados obtenidos.

La constitución y desarrollo de una Didáctica de la Biomecánica ha de tomar como referencia una serie de aspectos que actúen como fundamentos sólidos sobre los cuales sustentarse y concretarse. Entre estos cimientos diversos y variados, que operan de base de apoyo sobre los cuales asentar el nuevo conocimiento que se irá construyendo socialmente, no pueden dejar de considerarse el lenguaje específico, los modelos y las leyes, la divulgación como parte constitutiva de la propia ciencia y del proceso de aprendizaje, la resolución de problemas, el desarrollo histórico del devenir de la Biomecánica, entre otros. En lo que sigue, profundizaremos acerca de la importancia de estos y algunos otros cimientos sobre los cuales fundamentar una Didáctica Específica de la Biomecánica.

Modelos y Leyes

Una de las actividades centrales y constitutivas del quehacer científico es la construcción de modelos científicos. Éstos “constituyen representaciones culturales construidas a partir de fenómenos reales y de postulados teóricos, que ‘median’ entre la teoría y el mundo, y que tienen como propósito solucionar determinados problemas” (Adúriz Bravo, 2013, p.22). Al modelizar sistemas reales, los científicos se quedan “con unos pocos elementos de interés, que responden a determinadas preguntas atravesadas por intenciones y valores” (Adúriz Bravo, 2012, p.252), de tal forma que los hechos no son independientes de quienes los observan ni de sus maneras de ver el mundo. El elemento teórico de la ciencia es cultural, no sale del mundo; y debe ser enseñado explícitamente.

Entonces, cabe preguntarse específicamente, ¿cuáles son los modelos de Biomecánica que se trabajan en clase? ¿Qué podemos decir del tratamiento didáctico de los diferentes modelos de Marcha Humana, del modelo mecánico del músculo de Hill o de los modelos biomecánicos de falla cardíaca? Y, por otro lado, ¿cómo lograr que los alumnos universitarios aprendan a modelizar, y no sólo a estudiar modelos memorísticamente?

Desde la concepción modelo teórica de la ciencia, los denominados “modelos actuales” constituyen un conjunto que puede ser caracterizado por satisfacer las leyes científicas de una teoría. “Lo que hace la teoría es definir los modelos con la pretensión de que representan adecuadamente los fenómenos, en términos tradicionales, que tales fenómenos concretos satisfacen las leyes de la teoría, que se comportan como las leyes dicen” (Lorenzano, 2004, p.109). ¿Cuáles son, entonces, las Leyes de la Biomecánica? ¿Hay leyes biomecánicas generales, o sólo particulares referidas unas a la biomecánica del corazón, otras a las de la marcha, otras a las del crecimiento vegetal? Didácticamente, ¿cuál es el papel que desempeñan las leyes de la Biomecánica en la enseñanza y en la comprensión de esta disciplina? ¿Tiene hoy sentido enseñar leyes como las del Mínimo y del Lujo, formuladas hace más de un siglo por Moriz Benedikt (1903), quien sentara las bases de la actual Biomecánica? En tal caso, ¿cuál sería su valor didáctico? Estos interrogantes, y muchos más, son centrales a la hora de pensar en la enseñanza y el aprendizaje de la Biomecánica, y las discusiones que se puedan dar desde la Didáctica Específica serán seguramente relevantes.

Lenguaje específico

Tal como expresan Jiménez Aleixandre et al. (2003), la construcción de una nueva teoría y el aprendizaje de nuevos modelos e interpretaciones está estrechamente relacionado con el empleo de un nuevo

lenguaje. El lenguaje científico descansa sobre el de las lenguas naturales, por lo que puede ser considerado como una parcela de lenguaje en general; un lenguaje que describe un aspecto determinado de la realidad y de un modo singular (Escobar, 2007). El lenguaje, pues, funciona como verdadero director de la ciencia. Podríamos decir con Winckler que “a través del lenguaje y las maneras de decir se construye el objeto de la ciencia” (Escobar, 2007, p.8).

Como toda disciplina científica, la Biomecánica posee un lenguaje que le es propio, con términos y conceptos creados desde la propia disciplina y con otros tomados de campos diversos, incluso del lenguaje cotidiano, pero resignificados para expresar ideas y conceptos que le son específicos. El propio término “Biomechanik” fue utilizado por Benedikt con la intención misma de crear una nueva ciencia y una nueva manera de pensar en Medicina y Biología, y para reemplazar un término previo, el de neovitalismo (Benedikt, 1903; 1904). Algo similar ocurre con tantos otros como “Ciclo de marcha humana normal” (CMHN) y “determinantes de la marcha”, creados dentro del propio espacio disciplinar, para expresar ideas y conceptos anteriormente no existentes. De esta manera, es posible encontrar un número incontable de palabras, conceptos, frases y usos particulares del lenguaje propios de la Biomecánica.

Entre los espacios de comunicación más influyentes están las clases y los laboratorios experimentales, donde se construyen significados (y discursos) por medio del lenguaje (Jiménez Aleixandre et al., 2003). Entendiendo que “el aula es el lugar en que se da un tipo especial de práctica social en el que pensamiento y el lenguaje toman una especial particularidad y configuración”, Steinman et al. (2004, p.18) se preguntan cuál es la disciplina que teoriza acerca de la composición de los relatos y la narración en la enseñanza¹. Y si bien la respuesta no está dada por una única disciplina, tanto la Didáctica General como las Didácticas Específicas juegan un rol determinante. “Aprender ciencias es, entre otras cosas, aprender a hablar del mundo en otros términos” (Jiménez Aleixandre et al., 2003, p.59). Su enseñanza y su aprendizaje, para que llegue a la mayor cantidad posible de estudiantes e interesados, requiere de un espacio específico de reflexión y acción transformadora. Este espacio corresponde, al menos en parte, a una Didáctica Específica y, en nuestro caso, de la Biomecánica.

La divulgación científica específica

El saber que caracteriza a cada disciplina, es transmitido, reconstruido y resignificado a medida que la disciplina es comunicada y enseñada. Uno de los modos históricamente más importantes de transmisión de la ciencia moderna es el libro de texto. Otros los constituyen las comunicaciones científicas que se dan en congresos, revistas científicas y asociaciones. La Biomecánica no escapa a esta realidad. De hecho, Moriz Benedikt introduce el término “Biomecánica” -aunque existía anteriormente- en el congreso de naturalistas de Wiesbaden (1887) y, apenas un año después, lo desarrolla en el que podría ser el primer libro dedicado, en parte, a temas específicos de Biomecánica, *Kraniometrie und Kephalmetrie* (1888), traducido rápidamente al francés por el Dr. Paul Keraval en 1889.

Sin embargo, el conocimiento científico todavía se concentraba mayoritariamente dentro de los círculos propios de la Ciencia Académica. Recién entrado el siglo XX la divulgación dejó de ser una actividad marginal de la ciencia para ir transformándose en lo que hoy conocemos. En palabras de Leonardo Moledo, “la divulgación científica es la continuación de la ciencia por otros medios” (Olszevicki, 2014). A las formas antes mencionadas de transmisión de la ciencia, hoy se suman los medios audiovisuales de comunicación masiva, especialmente internet. Medios que indudablemente popularizaron la ciencia.

Pero la divulgación de la ciencia no debe reducirse a la comunicación de sus resultados positivos y los logros de la tecnología, casi siempre entendidos como avances. Además, “debe aportar información sobre el hacer científico, sobre los procesos de los que nacen los resultados y las innovaciones, sobre la investigación como acción humana y social... La información debe versar también sobre la naturaleza de la ciencia y de la técnica, sobre su historia y métodos, acerca de lo que son y de lo que se puede esperar de ellas, acerca de cómo se practican, de cómo se financian, de los intereses a los que responden y de los

efectos que producen, tanto efectos benéficos como impactos dañinos y riesgos. Algunas veces la información será acerca de errores o incluso de fraudes que se dan en ciencia y en tecnología como en cualquier otra empresa humana. ...Del mismo modo la información sobre las comunidades científicas como tales, es decir, en tanto que comunidades humanas, puede abordarse como interesante crónica de sociedad. Una de las funciones de la divulgación de la ciencia consiste justamente en la humanización de la misma a ojos del público, evitando las imágenes extremas del científico y el tecnólogo como seres extraordinarios o perversos” (Marcos, Calderón; 2002, p.33).

Queda claro entonces que divulgar la Biomecánica no es una tarea ni fácil ni simple. Una muestra de ello es la poca información circulante sobre esta disciplina entre la opinión pública. ¿Qué es la Biomecánica? ¿Qué hacen los biomecánicos? ¿Dónde trabajan? ¿Dónde se estudia? ¿En qué áreas se aplica? ¿Cómo y cuánto influye en nuestra vida cotidiana? En acuerdo con Marcos y Calderón (2002, p.37), “el buen funcionamiento del sistema de divulgación de la ciencia es imprescindible para el perfeccionamiento de la democracia en sociedades tan impregnadas de tecnociencia como la actual”. Desde la divulgación de la Biomecánica, por ejemplo en el campo deportivo, hay una cuota para aportar en este sentido. Y la Didáctica Específica, por su estrecha relación con la divulgación, tiene mucho para ofrecer².

Resolución de problemas

La resolución de problemas es una actividad fundamental en la enseñanza y el aprendizaje de la Biomecánica. Si bien no existe una única definición acerca de qué entendemos por problema, hay un acuerdo generalizado sobre su dimensión idiosincrática. Lo que para una persona puede representar un problema no tiene por qué serlo para otra. Entre las diversas formas de clasificar los problemas, Perales Palacios (1998) propone distinguirlos según sea el campo de conocimiento requerido (Física, Química, Biología, etc.), la solución (cerrados y abiertos), el tipo de tarea (cuantitativos, cualitativos, experimentales, creativos) y el tipo de procedimiento de resolución (de aplicación directa, algorítmicos, heurísticos, creativos, etc.).

El análisis de bibliografía que se utiliza actualmente en Biomecánica muestra que las guías de problemas que contienen los libros hacen referencia primordial -sino exclusiva- a planteamientos puramente físicos y mayoritariamente cerrados, cuantitativos y algorítmicos, excluyendo completamente o casi completamente preguntas que requieran del análisis propio de las Ciencias de la Vida, de las que sólo se toma vocabulario específico como si fuesen “etiquetas de conceptos” no necesarias para la interpretación y resolución de los problemas planteados (Muñoz, Vales Flores; 2016). He aquí algunos ejemplos en distintas áreas de la Biomecánica:

1) “Se coloca una cánula en una arteria ancha y se utiliza una disolución salina de 1300 kg m⁻³ de densidad como fluido manométrico. ¿Cuál es la presión de la sangre (presión manométrica) si la diferencia de alturas entre los tubos manométricos es de 0,67 m?” (Kane JW, Sternheim, 2004, p.304)

2) “Un hombre de 80 kg sube un tramo de escalera de 6 m de altura en 8 s. ¿Cuál es el consumo de potencia en kilowatts y en caballos de vapor?” (Cromer, 1998, p.128)

² Al referirnos a la divulgación científica, nos parece oportuno mencionar un aspecto que señala el Dr. Diego Golombek y que nos trae a la reflexión: “La palabra divulgar no es inocente: viene de ‘contar al vulgo’ y esconde la idea de que la ciencia está arriba y la gente, allá abajo. Preferiría hablar de ‘comunicar’, de ‘poner en común’. Se trata de compartir dos cosas: los hallazgos de los científicos y la ciencia en sí, esa forma de pensar y mirar el mundo tan poderosa y, sobre todo, tan fascinante” (Diz, 2014). Por otro lado, estrictamente hablando, el conocimiento científico, el saber, no es transmitido (al menos en el sentido habitual de transmisión “tal cual”) sino que es construido (o reconstruido) por quien aprende; en otras palabras, depende de su actividad. Lo que se transmite es información. Tal como expone la Dra. Lydia Galagovsky (2004), mientras que la información es externa a la persona, el conocimiento existe sólo en su mente.

3) “Un saltador de longitud, ejecuta un salto con las siguientes características: velocidad = 72 km/h, ángulo = 45° , $h_1 = 1000$ mm, $h_2 = 1000$ mm. ¿A qué máxima altura conseguirá elevar su centro de gravedad en fase aérea, medida desde el suelo?” (Gutiérrez Dávila, 1999, p.192).³

Puesto que aprender palabras no implica aprehender conceptos (Galagovsky, Muñoz, 2002), este tipo de problemas pone en evidencia la necesidad de nuevos planteamientos que no se centren casi-exclusivamente en aspectos cuantitativos de la Física, sino que se oriente a la enseñanza y el aprendizaje integral de contenidos de Biomecánica. Esta es otra razón para promover su Didáctica Específica asociada.

Práctica clínica o deportiva y el laboratorio experimental

La Biomecánica es considerada una rama de la Biofísica, y por ende una Ciencia de la Naturaleza. Como tal, su enseñanza y su aprendizaje no debieran limitarse solamente a los aspectos teórico-conceptuales, así como tampoco a la resolución de problemas numéricos, ambos fundamentales pero no exclusivos ni excluyentes. Sin embargo, el orden en el que se presentan los contenidos conceptuales frente a los procedimentales-experimentales, el tiempo dedicado y la valoración relativa que se concede en la evaluación a unos y otros, son algunas pruebas del predominio general de lo teórico sobre lo experimental, que muchas veces es visto como “mera aplicación, consecuencia o ilustración de lo teórico” (López, Tamayo; 2012, p.148). A esto se suma que en gran cantidad de cursos universitarios de Biomecánica no se realiza ni siquiera una “práctica de laboratorio”, ni figura este tipo de actividad en el programa de la asignatura. Claramente, una Didáctica Específica de la Biomecánica favorecería el diseño y desarrollo de actividades experimentales particulares, así como el aprovechamiento didáctico de nuevas tecnologías e instrumental, ampliamente utilizados en el campo laboral de la Biomecánica: software para determinación de CG corporales, estabilidad postural y análisis del movimiento, plataformas de fuerzas para la marcha, espirómetros, goniómetros para medición de ángulos articulares, etc.

Por otro lado, dependiendo de la carrera universitaria de la que se trate, en la formación biomecánica puede ser necesaria la práctica clínica o deportiva. Estas prácticas son fundamentales en carreras como Kinesiología, Educación Física y Terapia Física, entre muchas otras, además de gran cantidad de especialidades médicas. El conocimiento preciso de movimientos, ángulos articulares, modos óptimos de realización de ejercicios de rehabilitación y gestos deportivos, para mencionar unos pocos ejemplos, requiere una enseñanza personalizada y la tutela constante de docentes especializados con amplio dominio disciplinar, tanto en lo teórico como en lo práctico y lo educativo, con el apoyo de equipamiento indispensable que permita lograr un aprendizaje acorde con los requerimientos actuales: laboratorios de marcha y de rendimiento deportivo, etc. El espacio de la Didáctica de la Biomecánica se vuelve así un ámbito ineludible en carreras de Ciencias de la Salud y del Deporte, trayendo a la luz que su fin no es únicamente la enseñanza sino también la investigación, e incluso la enseñanza de la investigación. De allí que sea necesario incentivar a los alumnos a proponer y realizar trabajos de tesis y tesinas en Biomecánica, como así también a formar parte de grupos de investigación, desarrollo e innovación, en la búsqueda y generación de soluciones concretas ante necesidades que la sociedad presenta en este campo.

Formalización matemática

La formalización matemática es un aspecto constitutivo de la Biomecánica, aunque se observa que en carreras de Ciencias de la Vida suele minimizarse e incluso dejarse completamente de lado. Esta es una razón más que suficiente para considerar su abordaje didáctico específico. Habitualmente, en la enseñanza de la Biomecánica se observa que las ecuaciones empleadas para la resolución de los problemas han sido planteadas desde un marco estrictamente físico, mediante el empleo de un lenguaje

³ Los libros de texto de los que se tomaron los problemas numéricos son muy valiosos y recomendados para el estudio de la Biomecánica. Esta crítica sólo se refiere a la necesidad de introducir otros aspectos didácticos en la resolución de problemas. El autor del presente artículo los utiliza en los cursos a su cargo.

propio de la Física. Así, por ejemplo, la ley del equilibrio rotacional suele presentarse en términos de una suma de torques de fuerzas externas igual a cero:

$$\sum_{i=1}^n \vec{M}_{F \text{ externas}}^o = \vec{0} \text{ (Equilibrio rotacional) (1)}$$

Para el caso de carreras de Ciencias de la Vida, teniendo en cuenta conceptos más cercanos a los alumnos, esta misma ley podría expresarse en función de la igualdad de los torques netos flexor y extensor para una determinada articulación, bajo la condición de contracción muscular isométrica (CMI) y considerando cada torque positivo (módulo), ecuación que es análogamente válida y generalizable para el caso de los pares de torques netos abductores-aductores, rotadores internos-externos, inversores-eversores, flexores plantares-dorsales:

$$\sum_{i=1}^n |M_{\text{flexor } i}^{\text{articulación}}| = \sum_{j=1}^m |M_{\text{extensor } j}^{\text{articulación}}| \text{ (en CMI) (2)}$$

Simplificando la notación y aclarando que cada torque particular se considera positivo, independientemente del sentido de giro, se tiene que:

$$\sum_i M_{\text{flexores}}^{\text{articulación}} = \sum_j M_{\text{extensores}}^{\text{articulación}} \text{ (en CMI) (3)}$$

Ciertamente, en esta última formulación (ecs. 2 y 3) se pierde generalidad, pero se gana especificidad. Y si bien un menor grado de generalidad no siempre es conveniente, este ejemplo pretende mostrar que tampoco resulta conveniente la total ausencia de formulaciones matemáticas que contemplen las particularidades propias de los destinatarios, en general alumnos de carreras de Ciencias de la Vida, la Salud y el Deporte.

Cabe señalar que la importancia de la formalización en Biomecánica ya había sido destacada por el mismo Moriz Benedikt. En uno de sus textos centrales, *Das Biomechanische* (1903), presenta la primera ley de la Biomecánica o “Ley Fundamental de las Manifestaciones Vitales” (Das Grundgesetz der Lebensäusserungen) mediante una expresión matemática:

$$M = f(\pm N, \pm N', \pm E, \pm O) \quad (4)$$

En esta se afirma que cada "manifestación" (M) o expresión de la actividad vital (Lebensäusserung) es una función de la “predisposición” innata, la verdadera “naturaleza” del ser humano (N); de la "segunda naturaleza" (N'), influenciada por las cosmovisiones imperantes y el modo del sentir moral establecido por la ley, las condiciones económicas y sociales, la educación, y las condiciones físicas del medio circundante. También es función de influencias del desarrollo menos importantes (E) y de estímulos ocasionales (O), pudiendo ser cualquiera de estos elementos favorable (positivo) o inhibitorio (negativo). Esta ley manifiesta sintéticamente el valor que Benedikt asignaba a la matematización según su concepción de ciencia. En este mismo sentido, Benedikt decía:

“Al descubrimiento de las leyes del movimiento, es decir de las leyes del crecimiento y de la organización de la forma, deberán seguirle pronto las leyes de las fuerzas impulsoras, es decir de la Morfología matemática, la Biomecánica” (Benedikt, 1888, III).

Y también:

“Nos hemos guiado por un móvil. Establecer la primera base exacta y científica, matemática, de una craneometría que bien podría convertirse en la fuente de craneología clínica y forense, y por estas bases inmutables, sentar las bases de una ciencia morfológica exacta” (Keraval, 1889, X). [La traducción me pertenece].

La Biomecánica actual, indisociable de la formalización matemática desde sus orígenes, construye gran parte de sus modelos empleando ecuaciones diferenciales, matrices, tensores y gran variedad de elementos del análisis matemático y del álgebra vectorial. Esta matemática, con mayor alcance, complejidad y nivel de abstracción, requiere de una enseñanza y una Didáctica Específica que contemple las problemáticas que esta mayor abstracción conlleva, y de manera especial para con aquellos cuya formación de base no tiene una tan profunda impronta en ciencias exactas.

Representación e interpretación de gráficos

La importancia de los gráficos cartesianos en la comunicación científica y como herramienta didáctica ha sido reconocida por numerosos autores quienes, al mismo tiempo, han notado que la comprensión que estudiantes y graduados tienen de ellos puede no ser la más adecuada. Entre las causas de las dificultades para lograr la comprensión de dichos gráficos se mencionan la carencia de habilidades representacionales, la reducida participación que tienen en este tipo de actividades, la dificultad que conlleva tener que convertir las gráficas cartesianas en otras representaciones, las características inadecuadas que presentan estos gráficos en los libros de texto, su presentación aislada de los fenómenos que describen así como de las prácticas de quienes las usan, etc. (García, Perales Palacios; 2007). A modo de ejemplo, al indagar sobre la interpretación de un gráfico de cinemática del codo y hombro durante la marcha (ver Anexo), sobre una muestra de 44 estudiantes que cursan la asignatura Biomecánica, sólo el 30% del total de respuestas dadas fueron correctas (Gráfico 1).

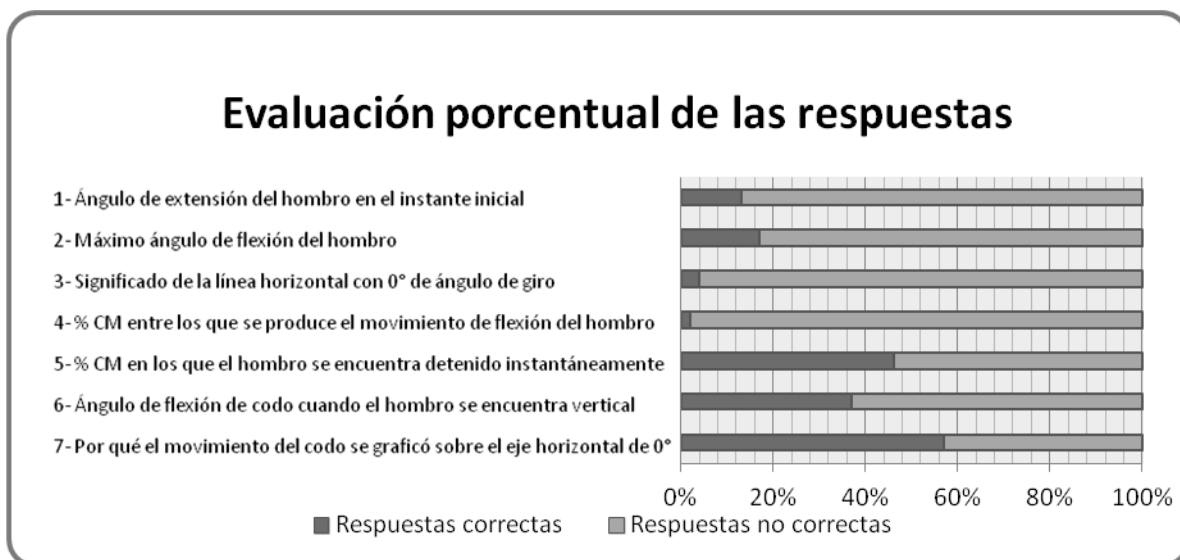


Gráfico 1: Porcentaje de respuestas correctas e incorrectas en la interpretación de un gráfico de Biomecánica.

Uno de los resultados más importantes muestra que la mayor cantidad de errores se produjo en las preguntas que requerían información disciplinar específica previa, que los estudiantes aún no habían adquirido correctamente. Así, por ejemplo, al responder sobre el “movimiento” de flexión del hombro, la casi absoluta mayoría indicaba la región de la curva por sobre el eje horizontal (ángulo neutro), confundiendo “movimiento de flexión” con “posición articular en flexión” (Figura 1). Esto se condice explícitamente con el hecho de que la amplia mayoría respondió incorrectamente que el eje horizontal de abscisas representa la separación entre los movimientos articulares de flexión y extensión.

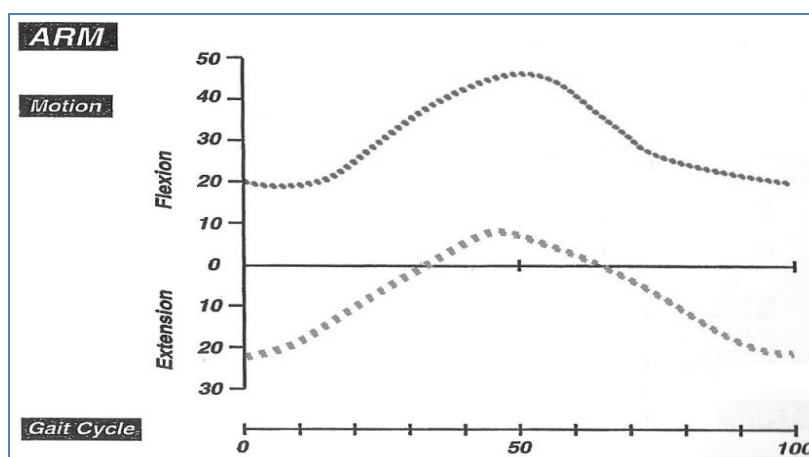


Figura 1: Cinemática de hombro (inferior) y codo (superior).

Los alumnos comprendían lo que se les pedía y sabían cómo levantar datos del gráfico, pero desconocían el contenido disciplinar requerido para interpretar correctamente la curva. “Lo que dicen las palabras presentes en el gráfico no es lo que el gráfico necesariamente dice”. La ausencia de conocimiento sobre el contenido disciplinar del que trata un gráfico es una importante fuente de error, resultado también obtenido en otros dos estudios con diferentes gráficos, espaciamiento temporal y muestras poblacionales, también con estudiantes de carreras en Ciencias de la Salud, mostrando que en general, no es posible interpretar un gráfico correctamente por el mero hecho de tener la capacidad de leer los datos y palabras que en él figuran.

Aunque es un requisito previo, tampoco alcanza con saber abstraer y “leer” las características matemáticas, estructurales y formales involucradas en la construcción y análisis de gráficos. Si así fuese, para interpretar un gráfico de una disciplina específica alcanzaría con reconocer exclusivamente los parámetros matemáticos involucrados: máximos, mínimos, crecimiento, pendiente, entre otros. Con esto no queremos decir que una correcta y completa lectura matemática no sea necesaria ni aporte información relevante, pero tampoco toda la información presente en un gráfico se reduce a ello. Es imprescindible, además, dominar el contenido disciplinar. A pesar de sus grandes ventajas, los gráficos cartesianos no facilitan “per se” que el alumno pueda hacer frente a una situación desprovista de intención didáctica explícita. Por lo tanto, no es seguro que logre construir el conocimiento pretendido (Lacasta Zabalza, 2000). Enseñar Biomecánica también es enseñar a leer, interpretar y construir “gráficos de Biomecánica”. Estas acciones requieren y exigen habilidades conceptuales y procedimentales, además de conocimiento específico, sin las cuales en la amplia mayoría de los casos, cualquier interpretación podría ser vacía o, al menos, inválida. Comprender e interpretar un gráfico no es una “habilidad natural innata” que se da “espontáneamente” por la mera observación directa de la información que contiene. Los gráficos son producciones culturales, por lo que el trabajo con ellos requiere una enseñanza específica para su aprendizaje. Esta es una razón más para defender la necesidad de una enseñanza específica de la Biomecánica.

Historia específica de la Ciencia

Si bien existen diversos antecedentes sobre el origen histórico de la Biomecánica, que pueden remontarse hasta Aristóteles, pasando por Leonardo Da Vinci, Giovanni Alfonso Borelli y William Preyer (hasta donde sabemos hoy es quien habría utilizado el vocablo por primera vez), es el Dr. Moriz Benedikt (1888) quien ha sentado las bases de la concepción que tenemos actualmente de esta disciplina, proponiendo las primeras leyes y publicando el que sería, hasta lo que hoy conocemos, el primer libro de texto sobre Biomecánica (Muñoz, 2017). Al referirse a la Morfología Matemática, que equipara con la Biomecánica, y a diferencia de la Morfología como ciencia exclusivamente descriptiva, él mismo otorgó a la Educación en Biomecánica un lugar preponderante, afirmando que:

“Entonces, la morfología no puede convertirse en una ciencia exacta si no logra determinar las leyes matemáticas de las formas ... Para asegurar la marcha del progreso científico hemos de proceder a reformar la enseñanza. La carrera científica, siendo el equivalente del estudio analítico de la morfología, debe admitir sólo a los jóvenes impregnados de una fuerte educación matemática, aquellos que dominan a fondo la mecánica; incluso no sería malo si se hubiesen revelado como ingenieros antes de entrar en escuelas especiales [estudios superiores]. Esta obligación impuesta a los biólogos [especialistas en Ciencias de la Vida] dará a los médicos la solidez, la variedad, la exactitud y la lógica en el pensamiento, en lugar de esta confusión que se traduce en una suma de conclusiones flojas que emanan de premisas endebles” (Keraval, 1889, pp.141-142). [La traducción me pertenece].

Aunque en muchos aspectos hoy nos resulte inadecuada la concepción de este médico austríaco sobre la ciencia, la educación y la enseñanza, es destacable su visión de la ciencia y del “progreso científico” como no independientes de la enseñanza. Enseñar para hacer ciencia, para hacer Biomecánica. Valioso antecedente para la constitución de una Didáctica Específica de la Biomecánica.

Multiplicidad y variedad de aplicaciones

La Biomecánica tiene un gran y diverso campo de aplicaciones. Dada esta gran diversidad, es de esperar que el universo de alumnos que estudia esta disciplina tenga muy diferentes intereses y necesidades, de acuerdo con la rama del saber que los ocupe. Bioingenieros, terapeutas físicos, ortoprotesistas, psicomotricistas deportólogos y médicos, sólo para mencionar algunos, todos ellos requieren Biomecánica, pero no todos requieren la misma Biomecánica.

Incluso, dentro del marco de cada especialidad particular, es también importante considerar la multiplicidad de aplicaciones, y no sólo su diversidad. Las respuestas biomecánicas del hueso no son las mismas que las del músculo o la de los vasos sanguíneos. Esto hace fundamental que en la formación superior se consideren las aplicaciones pertinentes, y no sólo los aspectos generales de los conceptos disciplinares involucrados.

El currículum formal explicita el saber cultural a transmitirse, con la formulación, codificación y elaboración correspondiente a tal intención didáctica. El plan de estudios y los programas de cursos representan el aspecto documental de un currículum (Casarini Ratto, 1999). A nivel universitario, existe gran variedad y diversidad en los programas de la asignatura Biomecánica, dependiendo fuertemente de la carrera o especialidad. No es lo mismo proponer un programa de Biomecánica para Kinesiología que uno para Terapia Ocupacional, Psicomotricidad, Física Médica o Artes. En todos los casos, hay enfoques y contenidos sustancialmente diferentes, lo que no significa que uno de ellos sea mejor o peor que los otros.

Es tarea de los didactas, generales y específicos, conformar y participar conjuntamente en equipos de trabajo que se ocupen de la “planeación de la estructura que tendrá el plan de estudios, atendiendo a las necesidades del estudiante para una formación integral, y al desarrollo del campo disciplinar” (CIEES, 2008, p.116), colaborando en la realización de Diseños Curriculares y Programas de estudio y materias, mediante la selección, organización y secuenciación de contenidos, teniendo en cuenta que posteriormente los docentes transformarán el "currículum formal" en un plan de trabajo concreto, que se manifestará en exposiciones, actividades, evaluaciones, planificaciones áulicas de Biomecánica ... esto es, situaciones prácticas de aprendizaje, y si bien cada docente tiene un estilo particular, se inspira claramente en el currículo formal que funciona como mecanismo unificador (Perrenoud, 1990).

A MODO DE CIERRE

A lo largo del presente trabajo hemos puesto en evidencia la necesidad y la importancia de la conformación de una Didáctica Específica de la Biomecánica como espacio propio, pero no exclusivo ni excluyente, que se integre a otros campos de conocimiento (Didáctica General, Historia, Epistemología,

otras Ciencias Naturales y sus Didácticas, etc.) con el fin de mejorar la enseñanza y el aprendizaje de la Biomecánica.

La construcción colectiva de esta Didáctica Específica ha de propender a la generación de un espacio que promueva la formación de futuros profesionales en el área de la Biomecánica, tanto para trabajar en el ámbito privado como en el estatal, en empresas y en forma particular, como también en docencia e investigación, pilares del desarrollo científico-tecnológico de un país.

Fomentar la investigación en torno a la enseñanza y el aprendizaje de la Biomecánica, la divulgación científica, la formación docente adecuada, la producción de textos y software apropiados, el acercamiento de esta disciplina a la educación escolar, y a la sociedad en general, son algunos de los aspectos relevantes que una Didáctica de la Biomecánica puede ofrecer.

A futuro dejamos abierta la posibilidad, entre otras muchas, de investigar y profundizar sobre la relación de los primeros biomecánicos -entre ellos Preyer, Benedikt, Keraval, Meyerhold- con la educación en Biomecánica y su posible influencia en el curriculum de su época y de hoy.

Referencias bibliográficas

ADÚRIZ BRAVO, A. (2012). Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química. *Educación química*, 23(extr.2): 248-256.

— (2013). Características epistemológicas clave de los modelos científicos relevantes para la didáctica de las ciencias. IX Congreso Internacional de Investigación en Didáctica de las Ciencias. Girona, 9-12 de septiembre. Disponible en: <http://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/viewFile/298335/387410>

BENEDIKT, M. (1888). *Kraniometrie und Kephalmetrie*. Wien: Urban & Schwarzenberg. Disponible en: https://archive.org/details/bub_gb_pO1cAAAACAAJ

— (1903). *Das biomechanische (neo-vitalistische) Denken in der Medizin und in der Biologie*. Jena: Fischer. Disponible en: <https://archive.org/details/b28107433>

— (1904). *Krystallisation und morphogenesis: Biomechanische Studie*. Wien: Perles.

CARRIÓN, A. (2009). El artista de la mirada. *Cuadernos de Picadero*. 18:28-34. Disponible en: <http://inteatro.gob.ar/Files/Publicaciones/15/18.pdf>

CASARINI RATTO, M. (1999). *Teoría y Diseño Curricular*. México DF: Trillas.

COMITÉS INTERINSTITUCIONALES PARA LA EVALUACIÓN DE LA EDUCACIÓN SUPERIOR. (2008). *Metodología General CIEES para la Evaluación de Programas Educativos. Manual para la Autoevaluación*. México D.F: CIEES. Disponible en: http://www.beceneslp.com.mx/TemplateCIEES/Info/Guia%20AutoEval%20Planes%20y%20Prog/1.%20Met_Gral_CIEES_2008.pdf

CROMER, A. (1998). *Física para ciencias de la vida*. Barcelona: Reverté. Disponible en: <https://revistas.uam.es/didacticasespecificas/issue/download/480/301>

DIZ, J. (ed.) (2014). Divulgación científica en la Argentina. *Los Inrockuptibles*. Edición en español. N° 198. Buenos Aires: Las ediciones independientes.

ESCOBAR GA. (2007). Importancia del lenguaje en el conocimiento y la ciencia. *Revista Virtual de Estudos da Linguagem*, 5(8):1-16. Disponible en: http://www.revel.inf.br/files/artigos/revel_8_importancia_del_lenguaje_en_el_conocimiento_y_la_ciencia.pdf

GALAGOVSKY, L.R. (2004). Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable. Parte I. El modelo teórico. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2):229-240. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=4503897&pid=S1850-6666200900010000200024&lng=es

GALAGOVSKY, L.R. y MUÑOZ, J.C. (2002). La distancia entre aprender palabras y aprehender conceptos. El entramado de palabras-concepto (EPC) como un nuevo instrumento para la investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(1):29-45. Disponible en: <http://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/21780/21614>

GARCÍA, J.J. Y PERALES PALACIOS, F.J. (2007). ¿Comprenden los estudiantes las gráficas cartesianas usadas en los textos de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 25(1):107-132. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2251591>

GUTIÉRREZ DÁVILA, M. (1999). *Biomecánica deportiva*. Madrid: Síntesis.

JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P., OÑORBE DE TORRE, A., CAMAÑO ROS, A., PEDRINACI, E. y DE PRO BUENO, A. (2003). *Enseñar ciencias*. Barcelona; Grao.

KANE, J.W., STERNHEIM, M.M. (2004). *Física*. 2º edición. Barcelona: Reverté.

KERAVAL, P. (1889). *Manuel technique et pratique d'anthropométrie crano-céphalique (méthode, instrumentation)*. Paris: Lecrosnier et babe editeurs. Disponible en: <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k76547w>

LACASTA ZABALZA, E. (2000). *Determinación de concepciones y funcionamientos del gráfico cartesiano de funciones: problemática didáctica*. XIV Jornadas del Seminario Interuniversitario de Investigación en Didáctica de las Matemáticas, Pontevedra, 7-9 de abril. Disponible en: <http://www.ugr.es/~jgodino/siidm/cangas/ComLacasta.htm>

LÓPEZ RUA, A.M. y TAMAYO ALZATE, O.E. (2012). Las prácticas de laboratorio en la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 8(1):145-166. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=134129256008>

LORENZANO, P. (2004). *Filosofía de la Ciencia*. 1ª ed. Bernal: Universidad Virtual de Quilmes.

MARCOS A., CALDERÓN, F. (2002). Una teoría de la divulgación de la ciencia. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, 3(7):7-40. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41400701>

MUÑOZ, J.C. (2017). El pensamiento biomecánico de Moriz Benedikt: aportes al desarrollo de la Biomecánica. *Anales de la Sociedad Científica Argentina*. 259(3):57-70. Disponible en: https://archive.org/stream/analesdelasociedad2592soci/analesdelasociedad2592soci_djvu.txt

MUÑOZ, J.C. y VALES FLORES, M. (2016). Estudio comparativo y propuesta de mejora de un problema de palancas desde la Didáctica de la Biomecánica. *Didácticas Específicas*, 14:6-22.

MONTEROS ERAZO, L. (2017). *Las tres lógicas del actor-bailarín, trabajo aplicado al colectivo Camino Rojo danza-teatro, tomando como referencia los aportes de Eugenio Barba*. (Tesis de Maestría en actuación teatral). Universidad Central del Ecuador. Quito. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15148/1/T-UCE-0002-ISIP0003-2018.pdf>

OLSZEVIKI, N. (2014). *La continuación de la ciencia, por otros medios: Homenaje a Leonardo Moledo*. Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación, Buenos Aires, 12-14 de noviembre. Disponible en: <http://www.oei.es/historico/congreso2014/contenedor.php?ref=resenas>

PERALES PALACIOS F.J. (1998). La resolución de problemas en la didáctica de las ciencias experimentales. *Revista Educación y Pedagogía*, 10(21):119-143. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2565369>

PERRENOUD, P. (1990). *La construcción del éxito y del fracaso escolar*. Madrid: Morata.

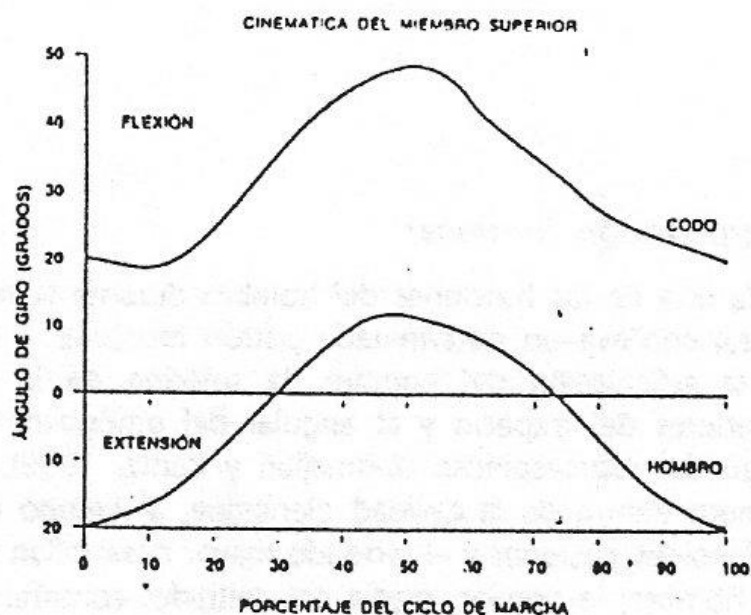
PETRUCELLI, M. (2009). Una mirada intercultural a la biomecánica de Meyerhold. *Cuadernos de Picadero*. 18:35-40. Disponible en: <http://inteatro.gob.ar/Files/Publicaciones/15/18.pdf>

SAGASETA, J. (2009). Meyerhold: anticipaciones, recorridos, encuentros. *Cuadernos de Picadero*. 18:68-73. Disponible en: <http://inteatro.gob.ar/Files/Publicaciones/15/18.pdf>

STEIMAN, J., MISIRLIS, G. y MONTERO, M. (2004). *Didáctica General, Didácticas Específicas y contextos sociohistóricos en las aulas de la Argentina*. Centro de Estudios en Didácticas Específicas. UNSAM: San Martín.

ANEXO

El gráfico representa los ángulos de giro del hombro y del codo a lo largo de un ciclo de marcha humana normal, desde que el pie contacta el suelo hasta el siguiente contacto del mismo pie con el suelo, en plano sagital. El ángulo cero se considera en referencia a la posición anatómica, para ambas articulaciones, es decir cuando el eje longitudinal del brazo se encuentra en posición vertical con respecto al tronco erguido en posición bípeda, y el codo extendido.



Responder las preguntas y “justificar” todas las respuestas dadas a partir del gráfico:

- 1- ¿Cuál es el ángulo de extensión del hombro en el instante en el que inicia el Ciclo de Marcha?
- 2- ¿Cuál es, aproximadamente, el máximo valor de flexión del hombro?
- 3- ¿Qué representa la línea horizontal con 0° de ángulo de giro?
- 4- ¿Aproximadamente, entre qué porcentajes del Ciclo de Marcha se produce el movimiento de flexión del hombro?
- 5- ¿Aproximadamente, en qué valores del Ciclo de Marcha el hombro se encuentra detenido instantáneamente?
- 6- ¿Aproximadamente, cuál es el valor de flexión del codo cuando el eje longitudinal del brazo que pasa por el hombro se encuentra vertical?
- 7- ¿Por qué el movimiento del codo se graficó por encima del eje horizontal de 0° ?

Fecha de Recepción: 21/3/2019

Fecha de Aceptación: 29/4/2019