

## ESTUDIO COMPARATIVO Y PROPUESTA DE MEJORA DE UN PROBLEMA DE PALANCAS DESDE LA DIDÁCTICA DE LA BIOMECÁNICA

*Juan Carlos Muñoz*  
*profjcm@hotmail.com*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

*María del Mar Vales Flores*  
*mariadelmarvalesflores@yahoo.com.ar*

CENTRO INTEGRAL DE ALTA COMPLEJIDAD-SALTA

*Recibido: 6 de noviembre de 2015*

*Aceptado: 11 de marzo de 2016*

### **Resumen**

En las últimas décadas, las Didácticas Específicas vienen realizando aportes valiosos mientras afianzan su autonomía sin perder su vinculación con la Didáctica General (Steiman et al., 2004). En este trabajo se analizan características de problemas de lápiz y papel sobre la palanca del antebrazo, presentes en libros de texto utilizados para la formación de estudiantes de carreras de Ciencias de la Salud y del Deporte. Los resultados se presentan en un gráfico de frecuencias en el que se evidencia una reducción a la aplicación de ecuaciones de Física. Finalmente se realiza una propuesta de mejora del problema desde la perspectiva de una incipiente Didáctica de la Biomecánica, diferenciando la Biomecánica y la Física Aplicada al funcionamiento mecánico del cuerpo humano.

Palabras clave: Didáctica de la Biomecánica, problemas, enseñanza-aprendizaje, palancas.

### **Abstract**

In recent decades, Specific Didactics have been making valuable contributions while entrench their autonomy without losing its link with General Didactics (Steiman et al., 2004). In this paper we analyze characteristics of paper and pencil problems on the lever of the forearm, which are present in textbooks used for the education of students of Health Sciences and Sports. The results are presented in a frequency graph in which a reduction to the application of the equations of physics is evident. Finally, we propose an improvement of the problem from the perspective of an incipient Didactics of Biomechanics, highlighting the difference between the Biomechanics and Applied Physics to the mechanical functioning of the human body.

Keywords: Didactics of Biomechanics, problems, teaching-learning, levers.

## 1.- Introducción

La resolución de problemas es una actividad fundamental en la enseñanza y el aprendizaje de las Ciencias Naturales. Los docentes de estas disciplinas la consideran una actividad valiosa y suponen que el resolver adecuadamente un problema significa que el alumno ha logrado comprender los conceptos que subyacen al mismo. Sin embargo, gran cantidad de investigaciones muestran que los estudiantes presentan dificultades en la resolución de problemas y que, en general, el éxito en dicha tarea no es una buena medida de la comprensión conceptual. Aunque los docentes de Física y Química dedican mucho tiempo a la resolución de problemas de “lápiz y papel”, tanto dentro como fuera del aula, proponer que los estudiantes resuelvan muchos problemas durante su formación no garantiza el desarrollo de buenas habilidades de resolución, e incluso los resultados de algunas investigaciones muestran la poca capacidad de estudiantes universitarios para la resolución de problemas (Guirado, Mazzitelli, Maturano, 2013).

Si bien no existe una definición única y definitiva acerca de qué es un problema, diversos autores han abordado esta cuestión. Perales Palacios (1998) considera que un problema es una situación incierta que provoca en quien la padece una conducta tendente a hallar la solución y reducir de esta forma la tensión inherente a dicha incertidumbre. De allí que entonces el propio concepto de problema posea una dimensión altamente idiosincrática, lo que para una persona puede representar un problema (conducir un coche para un novato) no tiene por qué serlo para otra (cambiar de marchas para un conductor experto) (Perales Palacios, 1998). Este autor propone, además, distintas formas de clasificar los problemas: 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.).

Partiendo de esta clasificación y entendiendo que la Biofísica constituye un campo de conocimiento estrechamente relacionado con la Física y con la Biología, pero no reducible a ninguna de ellas, se hace cada vez más necesario profundizar la investigación de los procesos de enseñanza y aprendizaje de las disciplinas que conforman este campo de estudio. La investigación bibliográfica es una forma de avanzar en esta dirección.

La bibliografía especializada requerida para cursos de Biofísica presenta gran variedad y complejidad de temas, entre los que se encuentran los referidos a Biomecánica. Un análisis de dicha bibliografía muestra que las guías de problemas que contienen, generalmente al final de cada capítulo, hacen referencia primordial -sino exclusiva- a planteamientos puramente físicos y mayoritariamente cuantitativos, excluyendo completamente o casi completamente preguntas que requieran del análisis propio de las Ciencias de la Vida. Para ejemplificar, a continuación proponemos dos enunciados de problemas para resolver por parte de los alumnos, tomados de distintos libros de texto y sobre diferentes temáticas abordadas por la Biomecánica:

- 1) Un gálgalo es capaz de elevar su centro de masas 2 m en salto vertical. Suponiendo que sea capaz de contraer los músculos de forma que estos desarrollen un trabajo de 100 J/kg, calcular la proporción de su masa corporal que corresponde a los músculos saltadores (Cussó, López y Villar, 2004).
- 2) Un transductor para medir el flujo sanguíneo mediante el efecto doppler emite ultrasonidos con  $f = 0,75$  MHz. Determine la frecuencia que llega al receptor a) mediante la expresión exacta b) mediante la aproximada c) ¿Qué precisión ha de tener la parte receptora del transductor para poder medir con precisión la velocidad típica  $v = 10 \text{ cm}^{-1}$  de los eritrocitos en una arteria superficial? (Jou, Llebot y Pérez García, 1999).

En los problemas presentados, la resolución por parte de los alumnos consiste básicamente en reconocer las ecuaciones físicas involucradas y aplicarlas a la resolución numérica de los problemas planteados, sustituyendo los datos correspondientes, despejando las incógnitas y calculando, independientemente del conocimiento de términos y conceptos biológicos-fisiológicos como “gálgalo” o “eritrocitos”. Y más aún, incluso pueden resolverse sin conocer ni comprender el significado de términos y conceptos físicos que contienen los enunciados, como “transductor” o “efecto doppler”. Esto es posible porque aprehender conceptos no es sinónimo de aprender palabras (Galagovsky y Muñoz, 2002).

Nuestro propósito en este trabajo consiste en seleccionar un problema de lápiz y papel de Biomecánica, presente en diferentes libros de nivel universitario, con el fin de realizar un análisis comparativo de los enunciados, y a partir de dicho análisis proponer un problema que contenga los aspectos fundamentales de los anteriores, pero que no quede centrado casi-exclusivamente en aspectos cuantitativos de la Física, sino que se oriente a la enseñanza y el aprendizaje integral de contenidos de Biomecánica, en coherencia con la disciplina desde la cual se propone el problema.

## 2.- Materiales y métodos

Para la realización del trabajo se seleccionaron inicialmente 11 libros de nivel universitario que se emplean o recomiendan habitualmente en cursos universitarios de Biomecánica, en siete carreras de grado de Ciencias de la Salud y del Deporte entre tres reconocidas universidades argentinas con sedes en la Ciudad de Buenos Aires (Universidad de Buenos Aires, Universidad Favaloro y Universidad Nacional de San Martín). Además, entre los libros seleccionados se encuentran aquellos que se utilizan en el módulo de Biomecánica del Ciclo Básico Común (CBC) para todas las carreras biomédicas de la Universidad de Buenos Aires. Los libros fueron seleccionados a partir de una treintena que figuran en los diseños curriculares, siendo los únicos en los que se proponen problemas de resolución cuantitativa, resueltos o para resolver, en idioma castellano.

Tras comparar temas comunes de Biomecánica, se observó que un contenido disciplinar típico es el de las “palancas”. Entre los diversos problemas sobre palancas, se han encontrado aplicaciones referidas a la columna vertebral y la carga que soportan los músculos, la acción del tríceps braquial al arrojar pelotas, la fuerza ejercida por el cuádriceps en una máquina de entrenamiento, la tensión ejercida por el músculo deltoides ante movimientos de la articulación escápulo-humeral, entre otros. Sin embargo, de la gran cantidad de ejemplos que pueden darse, el que se observó en la mayor cantidad de textos fue el de un codo flexionado a  $90^\circ$  para sostener un objeto sobre la mano con el antebrazo en supinación máxima (Figura 1). Por ello se ha elegido analizar este problema de lápiz y papel mediante un estudio transversal en los distintos libros (ver Anexo). La muestra quedó finalmente establecida por nueve libros, dado que de los 11 inicialmente seleccionados, dos no contenían explícitamente el enunciado del problema en cuestión.

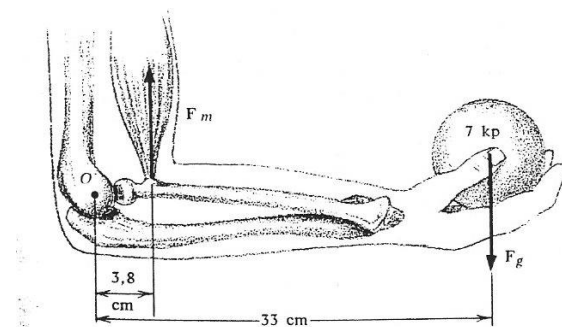


Figura 1.- Ejemplo paradigmático de problema de Biomecánica (Cromer, 1998).

Para el análisis comparativo ha sido necesario conocer qué datos presenta el problema y cuál es el tipo de información que se pide obtener, puntualmente, cuál o cuáles son las problemáticas específicas a resolver por parte de los estudiantes. Para ello se diseñó una parrilla de observación que permite obtener información y posteriormente calcular frecuencias. Esta parrilla ha sido elaborada a partir de una batería inicial ad-hoc de 35 ítems, revisada y valorada por cuatro jueces expertos, de los que finalmente quedaron 16 en el instrumento definitivo. Para establecer la validez de contenido de los ítems de la parrilla original se utilizó la prueba V de Aiken mediante una valoración de 1 (nada adecuado) a 5 (muy adecuado), considerando claridad de redacción, tendenciosidad, precisión conceptual y relevancia teórica. El ítem se rechazó cuando la puntuación del coeficiente de Aiken fue menor que 0,7, y se corrigió cuando entregaba un valor entre 0,7 y 0,8. También se rechazaron aquellos en los que en la valoración cualitativa dos de los jueces señalaron alguna inconsistencia en el diseño del ítem. Para la fiabilidad inter-observadores, los enunciados de los problemas y la parrilla fueron enviados a dos expertos independientes (diferentes de los cuatro expertos anteriores), quienes realizaron el llenado de la misma mediante una valoración de 0 para ausencia y de 1 para presencia de la característica descrita en cada ítem. A partir de sus respuestas

se calculó el coeficiente Kappa de Cohen. El mínimo valor obtenido fue de 0,58 (concordancia moderada) para el ítem sobre presencia de preguntas cualitativas en el problema, y el siguiente de 0,63 para el ítem sobre presencia de preguntas de Ciencias de la Vida (concordancia buena). El acuerdo observado entre los expertos fue del 100% en los ítems cuyos resultados muestran una presencia o ausencia absoluta de una característica.

La parrilla de observación se aplicó a 13 problemas en total, tomados de los nueve libros seleccionados. Se consideraron todos los problemas cuyos enunciados estuvieran explícitamente establecidos en los textos, que se solicitara calcular la fuerza ejercida por el bíceps braquial a  $90^\circ$  con respecto a la palanca del antebrazo, estuvieran o no resueltos en los textos, y que contuvieran un peso externo en la mano.

### 3.- Resultados y discusión

En el gráfico 1 se muestran los resultados comparativos obtenidos después de aplicar el instrumento de recolección de información a cada uno de los problemas de la muestra, presentes en las diferentes fuentes bibliográficas.

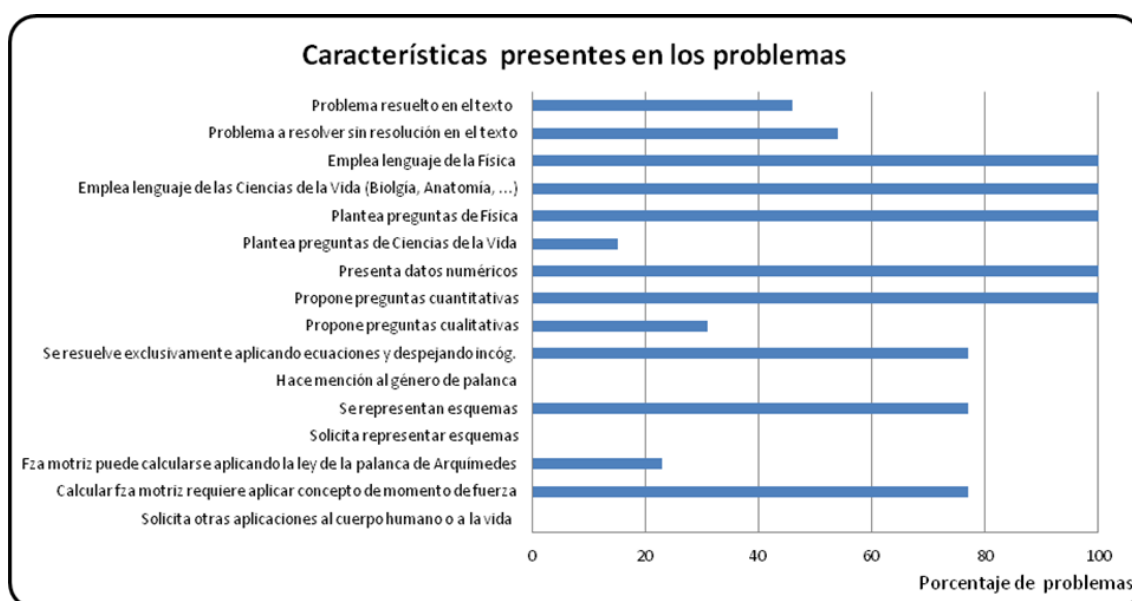


Gráfico 1.- Resultados del instrumento de análisis bibliográfico.

Tras caracterizar el contenido de los enunciados de los problemas, se ha podido constatar que en su totalidad utilizan lenguaje biológico-anatómico, propio de las Ciencias de la Vida. Palabras como *fuerza muscular*, *brazo*, *articulación del codo*, *in vivo* o *cadáver* están presentes. Sin embargo sólo dos enunciados proponen una pregunta desde estas ciencias, mientras que en la amplia mayoría no se plantea ninguna situación para analizar o resolver específicamente desde las mismas, ni siquiera para corroborar el conocimiento y significación de los términos empleados en los enunciados, como

“epicóndilo humeral”, “bíceps braquial”, o simplemente “bíceps”. Sólo juegan el papel de “etiquetas de conceptos” dado que no son en absoluto necesarios para la interpretación y resolución de los problemas planteados. Y aunque los problemas que están resueltos en los textos hacen referencia –mediante descripciones y explicaciones– a cuestiones anatómicas y biofuncionales, en ninguno de ellos se aprovecha el problema para proponer preguntas de tipo anatómico, biomédico o biológico en general.

Fundamentalmente, los 13 problemas analizados solicitan, de una u otra manera, calcular el valor de la fuerza muscular flexora cuando el antebrazo está en equilibrio rotacional con respecto al brazo. Esta es sin duda una pregunta válida y valiosa desde la Biomecánica. Sin embargo, analizando los problemas se observa que, para un estudiante de Física, no hay propuesto nuevo conocimiento más allá del de hacer evidente que es posible aplicar la Mecánica al sistema osteomuscular. Nada del músculo, ni del hueso, ni de sus problemáticas importan aquí. Todo el conocimiento parece proponerse para quien ya posee conocimientos de Anatomía y de Biología pero no de Física. Hilando más fino, incluso podría suceder que el estudiante tampoco tuviera conocimientos de la anatomía humana, e igualmente le sería posible aplicar con éxito la ley del equilibrio rotacional. El bíceps braquial podría haber sido el músculo braquial anterior y la resolución desde la Física no hubiese variado significativamente. Tampoco hubiese habido diferencia sustancial si se hubiese tratado de los músculos isquiotibiales, manteniendo una flexión de rodilla de  $90^\circ$  desde la posición anatómica de pie. Así, el problema podría asemejarse más a un “ejemplo” propuesto por un docente en una clase de Física que a un problema propuesto por un docente del área biológica para referirse al comportamiento del sistema osteoartromuscular del cuerpo humano. En otras palabras, son problemas para aplicar leyes de la Mecánica, no para aprender Biomecánica. En este sentido sostenemos que en los problemas se plantean preguntas propias de la Física pero no de las Ciencias de la Vida, concepción que podría estar sustentada consciente o inconscientemente en el supuesto que considera la “Biofísica como física de los sistemas vivos” (Volkenshtein, 1985) y particularmente que la “Biomecánica es mecánica aplicada a la biología” (Fung, 1993), sin considerarlas en sí mismas como disciplinas con estatus propio que tienen aportes de otras ciencias (Física, Biología, etc.) y tecnologías.

El análisis de los problemas permite establecer que sólo se proponen situaciones en condiciones de equilibrio articular, que es lo menos habitual en la vida cotidiana. De esta manera se pierde la posibilidad de involucrarse en el análisis de las contracciones musculares concéntricas y excéntricas, contenido muy importante para la Anatomía Funcional, la Fisiología Articular y la Biomecánica. Esto se hace más evidente si tenemos en cuenta que en la mayoría de los problemas se representan, con mayor o menor grado de detalle, los esquemas de las palancas, pero en ningún caso se solicita realizar dicho esquema ni tampoco clasificar según género. Menos aún, discutir la validez, alcances y limitaciones de dicha clasificación, que para algunos podría resultar trivial en el caso estático de fuerza isométrica, pero que seguramente no lo es cuando se refiere a fuerzas excéntricas. De hecho, para fuerzas musculares excéntricas, la conceptualización del



género de palanca difiere según el autor y el propósito de enseñanza que se tenga. Mientras que para algunos autores la fuerza muscular excéntrica se considera como “fuerza motriz” por tratarse de la fuerza muscular, según otros debe entenderse como “resistencia” al movimiento motorizado por la carga externa (Luttgens y Wells, 1985). Esta es una discusión no menor, que no suele darse y que podría ayudar a los estudiantes a comprender el “concepto” de “contracción muscular”, que no implica necesariamente “acortamiento” para la Fisiología y la Biomecánica.

Finalmente, es de destacar que en ningún caso se piden otras aplicaciones al cuerpo humano ni a la vida cotidiana en general, dejando más claramente en evidencia que lo que se pretende al proponer los problemas no es la comprensión del concepto de palanca ósea y su funcionamiento en el cuerpo humano, sino exclusivamente la resolución de los cálculos apropiados.

#### **4.- Conclusiones**

A partir de los resultados obtenidos hemos podido establecer que en los problemas analizados existen claras evidencias de una reducción a los aspectos propios de la Física, sin tomar en cuenta los saberes previos, intereses y orientaciones académicas de los alumnos destinatarios (en general de Carreras en Ciencias de la Vida), ni las asignaturas (Biofísica y Biomecánica) en la que se proponen los problemas a resolver. Y de manera específica, los resultados muestran que se trata mayoritariamente de problemas en el sentido tradicional en los que, de acuerdo con Perales Palacios (1999), basta con memorizar unas ecuaciones y aplicarlas para hallar un resultado que se sabe conocido "a priori", aunque no necesariamente sea conocido el valor del resultado por los alumnos, en una especie de juego de adivinanzas.

A pesar de las limitaciones encontradas en los problemas analizados, se debe destacar el muy buen nivel académico de los libros que los contienen. Reconocemos, además, su valor positivo para la enseñanza y el aprendizaje de Biomecánica en particular y de Biofísica en general. De hecho, muchos de nosotros hemos sido formados con ellos, e incluso los aprovechamos actualmente para la enseñanza. Sin embargo, no podemos dejar de expresar que en general, a través de los problemas propuestos “no se expresa ni en lo disciplinar, ni en lo epistemológico ni en lo didáctico” que la Biomecánica es una nueva disciplina con estatus propio, que interactúa y aprovecha conceptos de otras ciencias como Física, Química y Biología, pero que no se reduce a ninguna de ellas, como tampoco a la unión o intersección de sus campos de estudio y acción.

#### **5.- Una propuesta desde la didáctica de la biomecánica**

Si bien los enunciados de los problemas analizados muestran una reducción a los aspectos propios de la Física, en muchos otros casos no considerados en este trabajo, los textos de Biofísica y Biomecánica se suelen reducir a los aspectos descriptivos, taxonómicos y cualitativos propuestos desde la Biología, Anatomía o Anatomía

Funcional, donde lo importante es, por ejemplo, identificar y describir las palancas y poleas anatómicas sin considerar el valor de los recursos provenientes de la Mecánica, especialmente la modelación y formalización matemática. Por ello, en nuestra propuesta hemos tenido cuidado de no reducir el problema a fórmulas y cálculos, pero tampoco a la sola descripción y conceptualización teórica desprovista de toda cuantificación.

Tomando como ejemplo paradigmático el del caso del codo flexionado a  $90^\circ$ , hemos elegido el que figura en el libro de Alan Cromer (1998) y lo hemos desarrollado con la pretensión de eliminar, al menos disminuir, el reduccionismo de tipo mecanicista, pero a la vez intentando evitar caer en un reduccionismo cualitativo-descriptivo que no tome en consideración la importancia del cálculo formal. Nótese que también han sido eliminados los vectores del esquema original, aunque se mantuvo la unidad de kilogramo-fuerza por ser de uso habitual, en lugar del newton, propio del Sistema Internacional.

*Enunciado del Problema:*

El antebrazo de la figura 2 está en reposo, con un ángulo de tensión del bíceps braquial de  $90^\circ$  y sosteniendo un peso de 7 kgf en su mano. Considere los brazos de palanca de la fuerza muscular y del peso, de 3,8 cm y 33 cm respectivamente, ambos medidos con respecto al centro articular del codo. Inicialmente, desprecie el peso del antebrazo y de la mano, y suponga únicamente la acción del bíceps braquial.

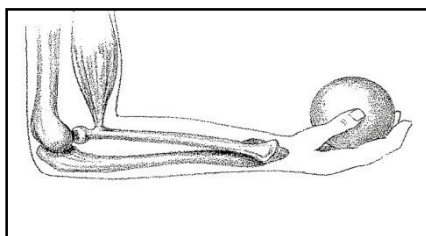


Figura 2.- Antebrazo en reposo sosteniendo una masa.

A partir de la imagen y los datos del enunciado, se pide:

- Realice el diagrama de la palanca ósea correspondiente al segmento corporal del antebrazo con eje de rotación en el codo. Indique fulcro, fuerza motriz, resistencia, brazos de palanca y género de palanca. Justifique.
- En la figura se observan tres huesos, mencione el nombre de cada uno. Indique, además, por qué el músculo representado no podría ser el braquial anterior.
- ¿Qué tipo de contracción muscular experimenta el bíceps braquial al sostener el objeto? Justifique.
- Calcule el valor de la fuerza muscular del bíceps braquial.



- e. Suponga que el peso es levantado como consecuencia de la contracción muscular concéntrica del bíceps, ¿cuál es la fuerza motriz y cuál la resistencia? ¿Es una palanca de tercer género? ¿Y si el peso desciende bajo el control del bíceps en contracción excéntrica? Discuta y justifique.
- f. ¿Es eficaz la fuerza muscular para producir la rotación del segmento en plano sagital? ¿Y para la coaptación articular? Fundamente conceptualmente y con cálculos.
- g. El bíceps en la posición de la figura tiende a luxar el radio. ¿En qué dirección? ¿Por qué supone que habitualmente no se produce luxación al sostener un peso de esta manera?
- h. Sin embargo, en esta posición el cúbito es totalmente estable, ¿Por qué? ¿Cómo se logra la coaptación de las superficies articulares de la cavidad sigmoidea?
- i. Calcule nuevamente la fuerza muscular del bíceps, considerando que el peso del antebrazo y la mano es conjuntamente de 20 N y que su centro de gravedad se encuentra a una distancia horizontal de 15,5 cm del codo.
- j. Un modelo aún más preciso debe contemplar la acción de otros músculos con acción sinergista, ¿cuáles? Represente en un esquema todas las fuerzas musculares actuantes.
- k. Mencione otros dos segmentos corporales que podrían modelarse de forma análoga al bíceps braquial. Indique en ambos casos el fulcro, las fuerzas actuantes y haga los diagramas correspondientes.

La conceptualización del término palanca ósea es fundamental en Biomecánica. El estudiante que accede por primera vez a este concepto habrá de aprender que la palanca ósea es un modelo, y que la geometría de la estructura anatómica no es necesariamente similar a una barra rígida, como podría ser aproximadamente un hueso largo del cuerpo humano. El cráneo puede modelarse como una palanca de primer género aunque su geometría externa no se parezca en absoluto a una barra rígida. En el caso del antebrazo, la palanca está conformada por dos huesos, el cúbito y el radio, inferior y superior respectivamente en la representación de la figura 2.

El apartado *c* tiene por finalidad que el alumno identifique que la condición de “sostener” en Biomecánica se refiere a una situación de reposo articular, de tal manera que el bíceps braquial debe estar realizando una contracción muscular isométrica. Esta situación estática permite la aplicación de la ley de la palanca para calcular la fuerza muscular, considerando exclusivamente la acción muscular del bíceps, tal como se propone en el enunciado del problema. En general y de acuerdo con la bibliografía especializada, en este problema en equilibrio se identifica la Resistencia con el peso de la bola mientras que la Fuerza motriz se asigna a la fuerza muscular, de tal manera que esta palanca se considera de tercer género, según lo solicitado en el apartado *a*. Esta es una convención no explicitada y aprendida de memoria que se busca que entre en conflicto al

responder el apartado *e*. La contracción concéntrica del bíceps genera el movimiento de flexión del codo, manteniéndose el mismo género de palanca. En cambio, durante la extensión del codo controlada por el bíceps, éste se contrae en forma excéntrica. En este último caso, como hemos mencionado anteriormente, hay autores que conservan el tercer género de palanca, mientras que otros prefieren cambiarlo por el segundo al considerar que la fuerza del bíceps “se resiste” al movimiento. Esto genera confusión y malentendidos que se evidencian en errores que los alumnos cometen al realizar el análisis de movimientos corporales. De allí la importancia de proponer este apartado en el problema. Los apartados que siguen inmediatamente abordan la cuestión de la estabilidad articular, aspecto fundamental en el tratamiento de palancas óseas. En la posición que se observa en la figura, la fuerza ejercida por el bíceps presenta la máxima eficacia posible para la producir rotación del codo en plano sagital puesto que su dirección es perpendicular al brazo de palanca. Al mismo tiempo, es nula su eficacia para la coaptación articular dado que no existe componente de la fuerza muscular orientada con sentido hacia el centro articular. En este caso, si bien el bíceps durante su contracción tiene máxima eficacia para flexionar el codo, esta acción tiende a producir una luxación en el radio hacia arriba, rompiendo la estructura y funcionamiento de la palanca del antebrazo. Precisamente, el apartado *g* pretende llevar a profundizar sobre la estabilidad estructural y funcional de la palanca ósea, importante en todo movimiento corporal. Sólo debido a la acción de otra fuerza, en este caso debida al ligamento anular del radio, se evita la luxación y se consigue que el antebrazo se mantenga en la posición indicada o se flexione como una palanca rígida. De hecho, cuando este ligamento se rompe, la luxación del radio hacia arriba es inevitable (Kapandji, 2006). Contrariamente, el cúbito se encuentra muy estable sin caer por acción de su propio peso (apartado *h*). Nuevamente, existe al menos otra fuerza que actúa verticalmente hacia arriba sobre el cúbito proximal. La estabilidad está dada fundamentalmente por el tríceps braquial y el coracobraquial, con importantes componentes hacia arriba, que no figuran explícitamente en el enunciado del problema pero que son fundamentales en lo estructural y funcional. Comprender las condiciones de estabilidad y funcionamiento de una palanca ósea es un requerimiento fundamental en muchas carreras del área de Ciencias de la Vida, especialmente en Ciencias de la Salud y del Deporte, en las que la asignatura Biomecánica desempeña un rol central. Por ello, no basta con calcular valores de fuerza muscular. Pero, como ya hemos mencionado, el cálculo y la comprensión conceptual de la ley de la palanca también es imprescindible, aunque no sea tratada con la profundidad suficiente en gran parte de la bibliografía especializada. Los apartados *d* y *i* apuntan en esta dirección, pudiéndose incluso agregar otros apartados en los que la dirección de la fuerza muscular no fuera perpendicular a la palanca ósea. El apartado *j*, por su parte, permite al alumno proponer un modelo que responda con mayor fidelidad a la estructura osteomuscular tratada, incluyendo la acción de los músculos braquial anterior y braquiorradial (también llamado supinador largo), mientras que el último apartado abre la posibilidad de que el alumno aplique por sí mismo esta forma de modelizar otras estructuras corporales.

Somos conscientes de que un problema tan extenso como el que hemos propuesto y desarrollado, podría no responder a las necesidades del texto, de los docentes o de los alumnos. Pero también entendemos que una guía de problemas no debería reducirse exclusivamente a una serie de aplicaciones de fórmulas y ecuaciones. En última instancia, nuestra propuesta pretende hacer evidentes una gran cantidad y variedad de situaciones problemáticas –mediante preguntas, cálculos, esquemas, gráficos- que podrían aprovecharse para la enseñanza y el aprendizaje de Biomecánica sin caer en la reducción exclusiva a la Física o a la Fisiología Articular. Contenidos aportados por la Física y por las Ciencias de la Vida, variados e integrados, podrían distribuirse en distintos problemas, situación que no se observa en las guías de ejercicios propuestas en los textos analizados.

## 6.- Reflexiones finales

Los aspectos didácticos no desempeñan un papel menor, sino todo lo contrario. Asimismo, la postura epistemológica nunca es neutral, y la no toma de conciencia de ésta puede llevar a reduccionismos como los evidenciados en el trabajo aquí expuesto. Estamos convencidos de que en los libros de texto utilizados en cursos de Biofísica y Biomecánica, para la formación de profesionales en el área de las Ciencias de la Vida, se hace necesario presentar guías de problemas con un planteamiento no exclusivamente físico, ni químico, ni tampoco anatómico, fisiológico o biológico. Un trabajo interdisciplinario que incluya especialistas en Biofísica y Biomecánica redundará, seguramente, en textos más apropiados para la formación de los estudiantes.

Los autores de este trabajo tenemos la convicción de que “si una disciplina existe como tal, entonces ha de existir su correspondiente Didáctica Específica asociada”. Esta concepción es independiente del tipo de disciplina, sea ésta científica o no. Si una disciplina existe como tal, entonces ha de ser enseñada con la intención de que logre ser aprendida, y para ello se requiere una Didáctica Específica. Disciplina y Didáctica Específica son indisociables. 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.

La objeción a esta idea por la historia es comprensible, pero no por ello válida. Que una disciplina determinada exista, incluso hace cientos de años, mientras que la Didáctica Específica que a ella se asocia tenga sólo unos años, o incluso aún no haya sido establecida; no niega esta indisociabilidad. La misma tiene un origen, una génesis histórico-temporal y social. Está en el germen mismo de la disciplina. El surgimiento de una disciplina no tiene por qué coincidir con el surgimiento de su Didáctica asociada. Este principio no debe ser entendido como una ley natural, de la forma de una ley Física

o Química. Tampoco como un principio de las Ciencias Naturales, como podría serlo el Principio de Conservación de la Energía. Al contrario, debe entenderse como un principio rector, una dirección hacia donde apuntar, hacia donde dirigir el desarrollo disciplinar, especialmente si se pretende desarrollar una ciencia masiva y democrática, tanto en su alcance como en la formación de gran cantidad de profesionales y especialistas, y no sólo de una élite.

Consideramos que a lo largo del trabajo hemos logrado establecer la existencia de una marcada diferencia entre el planteamiento de problemas de Biomecánica y de Física Aplicada a las Ciencias de la Vida. Estudiar Biofísica, y Biomecánica en particular, no debería ser sinónimo de estudiar Física Aplicada al cuerpo humano. Por ello, el planteamiento didáctico tampoco puede ser el mismo que en la Física.

A través de la reducción de los problemas a la resolución de aplicaciones cuantitativas de Física, podría inducirse a los alumnos a interpretar que la Biomecánica se reduce a una Física Aplicada, y que por lo tanto, las grandes líneas y problemas de investigación en Biomecánica no son otra cosa que líneas y problemas de investigación en Física, que han de ser resueltos fundamentalmente por físicos especializados. Una “Didáctica de la Biomecánica” sería un ámbito propicio para el intercambio de ideas, la discusión de aspectos epistemológicos de la disciplina, la construcción de contenidos específicos, el desarrollo de materiales y bibliografía, entre muchas otras actividades. De esta manera, en el marco de una didáctica específica como la que mencionamos, se vería claramente reflejada la distinción entre la Biomecánica y la Física Aplicada al funcionamiento mecánico del cuerpo humano. Esperamos que este sea el impulso para el desarrollo de otros trabajos, y más específicamente de una línea de investigación y producción en “Didáctica de la Biomecánica”.

*Nota:* En honor a la justicia, el propio autor del trabajo ha incurrido en muchas de las inconsistencias didácticas que aquí se han presentado, en un libro de Biomecánica que ha publicado algunos años atrás.

## BIBLIOGRAFÍA

CROMER, A. H. (1998): *Física para ciencias de la vida*. Barcelona: Reverté.

CUSSÓ, F., LÓPEZ, C. y VILLAR, R. (2004): *Física para los procesos biológicos*. Barcelona: Ariel.

FUNG, Y. C. (1993): *Biomechanics: Mechanical Properties of Living Tissues*. (2<sup>nd</sup> Ed.). New York: Springer.

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.

GIANCOLI, D. (1997): *Física, principios con aplicaciones*. México: Prentice Hall Hispanoamericana.

GOWITZKE, B. y MILNER, M. (1999): *El cuerpo y sus movimientos. Bases Científicas*. Barcelona: Paidotribo.

GUIRADO, A. M., MAZZITELLI, C. A. y MATURANO, C. I. (2013): La resolución de problemas en la formación del profesorado en ciencias: análisis de las opiniones y estrategias de los estudiantes. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. N° 10 (Núm. Extraordinario), 821-835.

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

JOU, D., LLEBOT, J. y PÉREZ GARCÍA, C. (1999): *Física para ciencias de la vida*. Madrid: McGraw-Hill.

KANE, J. W. y STERNHEIM M. M. (2004): *Física*. Barcelona: Reverté.

KAPANDJI, A. I. (2006): *Fisiología articular. Esquemas comentados de la mecánica humana*. (6<sup>ta</sup> Ed.). Madrid: Médica Panamericana.

LE VEAU, B. (1991): *Biomecánica del movimiento humano*. México DF: Trillas.

LUTTGENS, K. y WELLS, K. (1985): *Kinesiología. Bases científicas del movimiento humano*. (7<sup>th</sup> Ed.). Madrid: Grefol.

MUÑOZ, J. C., VALES FLORES, M. y CASSIBBA, R. (2012): Por qué es necesaria una Didáctica de la Biofísica. *Anales AFA*. 23 (1), 20-31.

PERALES PALACIOS, F. J. (1998): La resolución de problemas en la didáctica de las ciencias experimentales. *Revista Educación y Pedagogía*. 10 (21), 119-143.

PERALES PALACIOS, F. J. (1999): Didáctica de las Ciencias. Resolución de problemas y desarrollo de la creatividad. *Revista educación y pedagogía*. 11(25), 237-241.

REICH, S. A., RELA, A. M., SZTRAJMAN, J. B. y col. (2001): *Física e Introducción a la Biofísica*. Buenos Aires: UBA-CBC.

SILVERTHORN, D. U. (2009): *Fisiología Humana. Un enfoque integrado*. (4<sup>ta</sup> Ed.). Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.

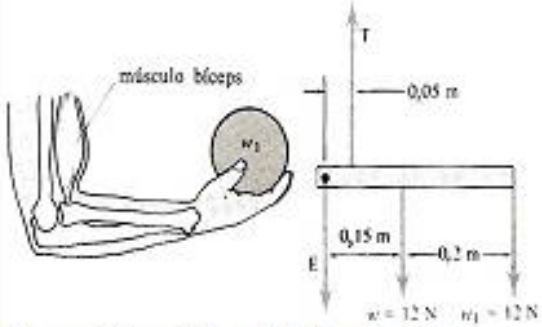
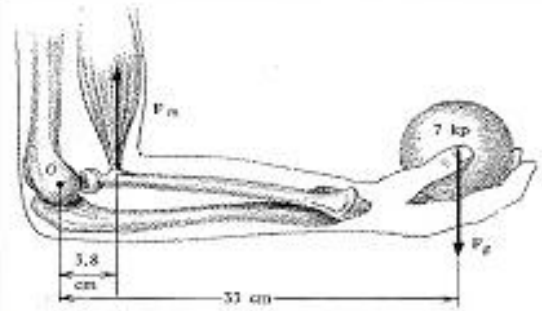
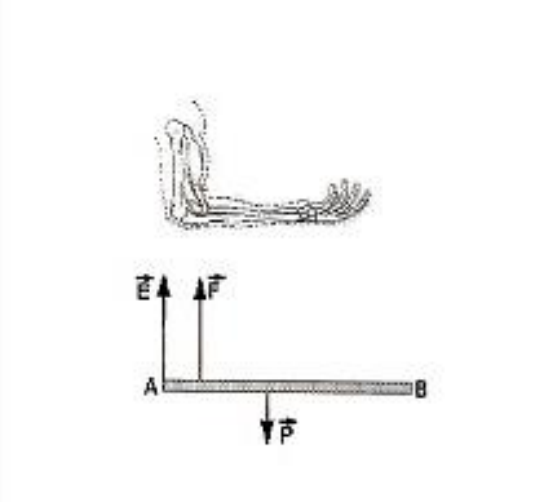
STEIMAN, J., MISIRLIS, G. y MONTERO, M. (2004): *Didáctica General, Didácticas Específicas y contextos sociohistóricos en las aulas de la Argentina*. San Martín: Univ. Nac. de San Martín.

VOLKENSHTEIN, M. V. (1985): *Biofísica*. Moscú: Editorial Mir.

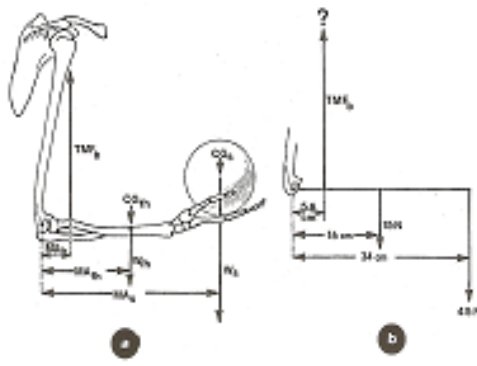
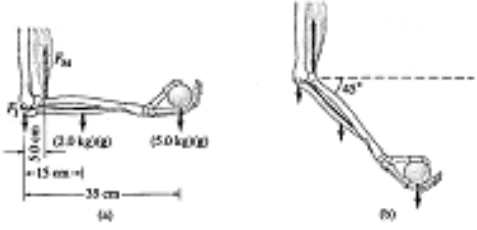
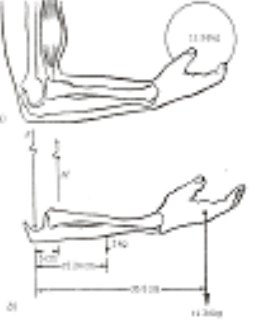
VILADOT VOEGELI, A. (2001): *Lecciones básicas de biomecánica del aparato locomotor*. Barcelona: Springer.

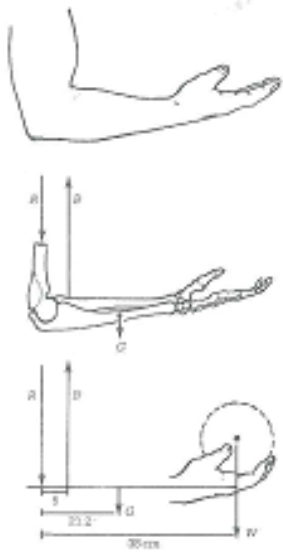


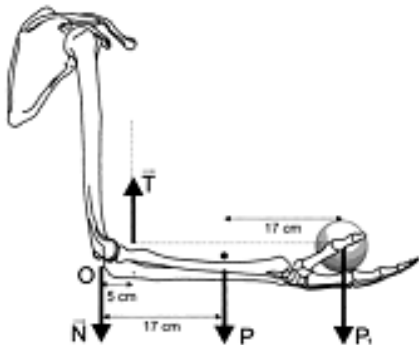

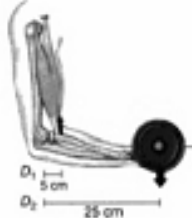
**Anexo. Problema de palanca según diversos autores**

IMAGEN Y AUTOR	ENUNCIADO
 <p>Kane y Sternheim, 2004; pág. 85.</p>	<p>La figura muestra un antebrazo cuando la persona sostiene un peso de 12 N (<math>w_1</math>) en la mano (<math>w</math> es el peso del antebrazo). (a) Hallar la fuerza <math>T</math> ejercida por el músculo bíceps y la fuerza <math>E</math> ejercida por la articulación del codo. (b) En el ejemplo 4.4, con <math>w_1=0</math>, encontramos <math>T=36</math> N y <math>E=24</math> N. ¿Por qué estas fuerzas valen aquí más del doble?</p>
 <p>Cromer, 1998; pág. 61.</p>	<p>El antebrazo de la figura está, con respecto al antebrazo, a <math>90^\circ</math> y sostiene en la mano un peso de 7 kp. Despréciase el peso del antebrazo. a) ¿Cuál es el momento producido por el peso de 7 kp alrededor de la articulación del codo (punto <math>O</math>)? b) ¿Cuál es el momento alrededor de <math>O</math> producido por la fuerza <math>F_m</math> ejercida sobre el antebrazo por el bíceps? (utilizarla condición del momento) c) ¿Cuál es el módulo de <math>F_m</math>?</p>
<p>Cromer, 1998; pág. 61.</p>	<p>Repetir el problema anterior suponiendo que el antebrazo y la mano juntos pesan 3,5 kp y que su centro de gravedad está a 15 cm de <math>O</math>.</p>
 <p>Reich, Rela, Sztrajman y col, 2001; pág. 37.</p>	<p>Una persona mantiene su brazo y su antebrazo en la posición indicada. (a) Hallar los esfuerzos que realizan sobre el antebrazo el músculo bíceps y la articulación del codo en la situación indicada en la figura. La barra AB de la figura es un modelo del antebrazo de longitud 35 cm. Al ser el brazo no homogéneo, su centro de gravedad se encuentra a 15 cm de la articulación del codo (A). Allí se ubica el peso del antebrazo <math>P</math>, cuyo módulo es de aproximadamente 1,2 kgf. El músculo bíceps sostiene al antebrazo con una fuerza <math>F</math> y se encuentra insertado a 5 cm de la articulación A. La fuerza <math>E</math> representa la fuerza de vínculo (el sentido lo ponemos hacia arriba dado que aún no lo conocemos). (b) Consideremos ahora que se sostiene una pelota de 0,8 kgf de peso. ¿Cuáles serán los nuevos valores de <math>E</math> y <math>F</math>?</p>



 <p>Gowitzke y Milner, 1999; pág. 114.</p>	<p>Se desea calcular la fuerza muscular total (TMF) del bíceps y la fuerza del extremo distal del húmero cuando la mano extendida de una persona está aguantando un proyectil de 45 N como en la figura. El peso combinado del antebrazo y la mano es de 15 N y el centro de gravedad está a 16 cm del eje del codo; la línea de gravedad del proyectil cae a 34 cm del eje del codo. El brazo de impulso del bíceps no se conoce, ni se puede medir con exactitud in vivo. Se puede estimar en un sujeto vivo que flexiona el codo hasta el ángulo deseado midiendo la distancia perpendicular del tendón del bíceps hasta el epicóndilo humeral; se puede medir con un grado considerable de exactitud en un cadáver o esqueleto. En este caso se considerará que el brazo de impulso del codo es 5,6 cm.</p>
 <p>Giancoli, 1997; pág. 236.</p>	<p>¿Cuánta fuerza debe ejercer el bíceps cuando se sostiene una masa de 5.0 kg en la mano (a) con el brazo horizontal, como en la figura a, y (b) con un brazo en un ángulo de 45°, como en la figura b? Suponga que la masa del antebrazo y la mano juntos es de 2.0 kg y que su centro de gravedad está donde se indica en la figura.</p>
<p>Gutiérrez Dávila, 1999; pág. 317.</p>	<p>¿Cuánta fuerza debe generar el músculo bíceps para sostener una bola de 83 N, teniendo en cuenta que la articulación tiene una angulación de 90° y que la distancia de la inserción del bíceps al centro articular es de 4 cm y que la bola se encuentra a 30 cm del mismo? (Obviar el peso del antebrazo y la mano, y la posible acción de otros músculos).</p>
 <p>Le Veau, 1991; pág. 150.</p>	<p>Suponga que un hombre sostiene un peso de 11.34 kg en su mano a 35 cm de la articulación del codo. El peso del antebrazo y la mano, centrado a 15.24 cm del codo, es de 2 kg. El codo está flexionado en ángulo recto con el antebrazo horizontal. El músculo flexor se inserta a 90° con respecto al antebrazo a 5 cm de la articulación del codo ¿Cuál es la fuerza requerida en los flexores principales del codo para soportar la carga, además del peso del antebrazo?</p>

 <p>Le Veau, 1991; pág. 64.</p>	<p>Supóngase que el antebrazo pesa 2.25 kg y su centro de masa está a 15.2 cm de la articulación del codo. El músculo bíceps, supuestamente, tiene un brazo de palanca de 5cm y el músculo, por tanto, debe jalar con una fuerza de 6.8kg con el fin de que el momento en el sentido de las manecillas del reloj iguale al momento en sentido contrario a las manecillas del reloj. Un peso (W) de 4.5 kg en la mano a 38 cm del codo se agrega todavía otra fuerza paralela al sistema y la fuerza de reacción (R) sobre la parte distal del húmero también debe incluirse en nuestro problema. La figura muestra el efecto giratorio agregado o el momento del peso en la mano alrededor del codo. Con el aumento de un segundo momento en el sentido de las manecillas del reloj, aumenta la fuerza muscular que actúa en el ejemplo anterior. ¿Cuánta fuerza muscular es necesaria para mantener la posición del antebrazo?, ¿cuál es la fuerza de reacción del codo?</p>
<p>Le Veau, 1991, pág. 157.</p>	<p>Asuma que el antebrazo pesa 1,8 kg y su centro de masa está localizado a 12,7 cm del codo; el músculo bíceps braquial jala en un ángulo de 90° y se inserta a 5 cm distales del codo.</p> <p>a) Encuentre la fuerza muscular requerida para mantener el antebrazo en posición horizontal, ¿Qué porcentaje de la fuerza es rotatoria?, ¿Qué porcentaje de la fuerza se dirige hacia la articulación del codo?</p> <p>b) En la situación antes mencionada, ¿Cuál sería la fuerza muscular si agregáramos 9 kg a la mano a 38 cm del codo?</p> <p>c) Calcule la fuerza muscular y sus componentes, rotatorio y lineal, así como la fuerza de reacción articular para las siguientes situaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El miembro está horizontal y el ángulo de tracción muscular es de 60°</li> <li>- El miembro está horizontal y el ángulo de tracción muscular es de 15°</li> <li>- El antebrazo se mantiene a 30° por debajo de la horizontal y el músculo se inserta a 45°</li> <li>- El antebrazo se mantiene a 30° por arriba de la horizontal y el músculo se inserta a 45°</li> </ul> <p>d) ¿Qué cambios se presentan en la fuerza muscular al cambiar el ángulo de inserción?</p> <p>e) ¿Qué importancia tiene la posición del brazo con respecto a la horizontal?</p> <p>f) ¿Existen otros factores que influyen sobre la fuerza muscular ejercida?</p>

<p>Le Veau, 1991; pág. 78.</p>	<p>El codo de un paciente está flexionado a <math>90^\circ</math> con el antebrazo horizontal. Estime el peso del antebrazo y la mano, así como la distancia desde su centro de masa hasta el eje del codo. a) ¿Cuál es el momento de la fuerza de gravedad que tiende a extender el antebrazo? b) Si el tendón del bíceps está a 5 cm del eje del codo, ¿cuánta fuerza debe ejercer este músculo, insertado a <math>90^\circ</math>, para mantener el antebrazo en posición horizontal?</p>
 <p>Viladot Voegeli, 2001, pág. 11.</p>	<p>En la figura representamos el brazo y el antebrazo. En O tenemos la articulación del codo. Suponemos que en la mano aguantamos un objeto de peso <math>P_1 = 3 \text{ kp}</math>. Consideramos el centro de gravedad del antebrazo equidistante (17 cm) del codo y del objeto de 3 kp. El bíceps se inserta a una distancia de 5 cm del codo. Debemos calcular la fuerza ejercida por el bíceps (T) y la fuerza que se produce en la articulación brazo-antebrazo (N) si el sistema está en equilibrio.</p>
<p>(b)</p>  <p>La contracción del bíceps crea una fuerza ascendente <math>F_1</math>.      El bíceps se inserta en la palanca a 5 cm del punto de apoyo.      Fuerza rotacional<sub>bíceps</sub> <math>\propto</math> fuerza del bíceps <math>F_1 \times 5 \text{ cm}</math> del punto de apoyo.      El peso del antebrazo ejerce una fuerza hacia abajo de 2 kg en su centro de gravedad, que se encuentra a 15 cm del punto de apoyo.      Fuerza rotacional<sub>peso</sub> <math>\propto</math> carga <math>F_2 \times 15 \text{ cm}</math>  <math>\propto 2 \text{ kg} \times 15 \text{ cm}</math></p> <p>(c)</p> <p><b>PREGUNTA</b>      ¿Cuánta fuerza adicional debe ejercer el bíceps para evitar dejar caer el peso?</p>  <p>Se agrega una carga de 7 kg a la mano, a 25 cm del codo.</p> <p>Silverthorn, 2009, pág.433.</p>	<p>Utilice el brazo de la figura b para responder las siguientes preguntas:      a) ¿Qué grado de fuerza debería ejercer el músculo bíceps insertado a 4 cm del punto de apoyo para mantener el brazo estacionario en un ángulo de <math>90^\circ</math>? ¿Cómo es esta fuerza en comparación con la fuerza necesaria cuando el punto de inserción está a 5 cm del punto de apoyo?      b) Si se colocan 7 kg de peso alrededor de la muñeca a 20 cm del punto de apoyo, ¿cuánta fuerza debe ejercer el bíceps insertado a 5 cm del punto de apoyo para mantener el brazo estacionario en un ángulo de <math>90^\circ</math>? ¿Cómo es esta fuerza en comparación con la necesaria para mantener el brazo horizontal en la situación que se muestra en la figura c, con el mismo peso en la mano (a 25 cm del punto de apoyo)?</p>