

# Dificultades de alumnos de una Diplomatura en Educación Física en la resolución de problemas tipo de cinética y cinemática en una asignatura de Biomecánica

Adriana Marques Toigo<sup>1,2</sup>, Sayonara Salvador Cabral da Costa<sup>3</sup>, Marco Antonio Moreira<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Educación Física, Centro Universitario La Salle, Av. Victor Barreto, 2288, Canoas, RS, Brasil, CEP 92010-000.

<sup>2</sup>Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias, Universidad de Burgos, España.

<sup>3</sup>Instituto de Física, Universidad Federal de Río Grande del Sur, Caja Postal 15051, Porto Alegre, RS, Brasil, CEP 91501-970.

**E-mail:** adrytoigo@terra.com.br

(Recibido el 14 de Junio de 2010; aceptado el 9 de Septiembre de 2010)

## Resumen

El estudio tuvo como objetivo identificar cuáles eran las dificultades de los alumnos de dos clases de la asignatura Biomecánica del Movimiento en Deportes de la Diplomatura en Educación Física de un Centro Universitario localizado en una ciudad de la gran Porto Alegre, Brasil, en la resolución de problemas-tipo extraídos de libros de texto de Biomecánica relativos a la Cinética (dinámica) y a la Cinemática. La investigación fue realizada en el paradigma cualitativo y consistió en la observación participante con anotaciones de experiencias vividas en las clases impartiendo contenidos, auxiliando en la resolución de problemas, formulando y aplicando instrumentos de evaluación, anotando acciones e interactuando activamente con los alumnos, con posterior análisis e interpretación. Se verificó que los alumnos investigados presentaron, mayoritariamente, dificultades de orden conceptual, acompañadas de algunas dificultades de orden procedimental. Gran parte de los alumnos, al resolver problemas, *no entendieron el significado de las variables del enunciado*. Además, muchos *no comprendieron (o no consiguieron interpretar) los enunciados, es decir, no supieron de qué trataban algunas preguntas*, incluso respondiéndolas bajo otras perspectivas, diferentes de la Biomecánica. Se destaca, la necesidad de buscar otras estrategias de enseñanza que faciliten la conceptualización, favoreciendo el aprendizaje significativo de la Biomecánica.

**Palabras clave:** Resolución de problemas; Cinética y Cinemática; Biomecánica.

## Abstract

In this study we intended to identify, during one semester, which were the difficulties in solving standard problems presented by the students from two sections of the subject Biomechanics of the Movement in Sports in a Physical Education undergraduate course in a college localized in a city near Porto Alegre, RS, Brazil. The problems were extracted from Biomechanics' textbooks involving concepts from kinetics and kinematics. The investigation was done in the qualitative paradigm and was based on participant observations, classroom notes, helping in problem solving, formulating and applying tests, taking notes about actions and interacting with the students, with later analysis and interpretation. Research findings showed mainly difficulties of conceptual order followed by some of procedural order. Regarding conceptual difficulties, two of them must be emphasized: *the students didn't understand the meaning of the variables*, and besides, a lot of them *didn't understand (or didn't interpret) the statement of the problem*, that means, *didn't have an idea of what the problem was about*. It seems that we must look for other teaching strategies in order to facilitate the conceptualization in a way that would make possible to help the students to overcome their difficulties, promoting the Biomechanics meaningful learning.

**Keywords:** Problem solving; Kinetics and Kinematics; Biomechanics.

**PACS:** 01.40.Fk, 01.30.Ib 87.85.G

**ISSN 1870-9095**

## I. INTRODUCCIÓN

La Biomecánica forma parte del currículo de la carrera de Educación Física y es definida por Amadio citado por [1] como "una asignatura, entre las ciencias derivadas de las

ciencias naturales, que se ocupa de análisis físicos de sistemas biológicos; por consiguiente, de análisis físicos del cuerpo humano. Esos movimientos son estudiados por medio de leyes y modelos mecánicos en función de las características del sistema biológico humano, incluyendo

conocimientos anatómicos y fisiológicos”. Nozaki [1] entiende que, antes que el profesional de Educación Física haga cualquier corrección en los patrones de movimiento de sus alumnos, es necesario que se distingan *a priori* los tipos o formas de movimiento según los parámetros de la Biomecánica. Por esa razón, el educador físico debe apropiarse de conceptos físicos inherentes a la Cinemática (que permiten describir el movimiento) y a la Cinética, o Dinámica, (que permiten explicar los cambios en el movimiento), y una de las estrategias utilizadas para facilitar el aprendizaje significativo de esos conceptos es la resolución de problemas. Escudero y Flores [2] defienden que la resolución de problemas es un tema clásico, tanto en la investigación en enseñanza de Física como en el aprendizaje de conceptos y enseñanza de laboratorio, lo que se debe tanto a la importancia dada a la propia acción de resolver problemas como a la constatación del fracaso generalizado de los estudiantes en esta tarea. Con relación a esa cuestión del fracaso, en lo que se refiere a los alumnos de la asignatura de Biomecánica en las carreras de Educación Física, la situación no es diferente, además, tal vez sea aún peor, ya que el currículo no contempla ninguna asignatura introductoria de Física y/o Matemáticas. Frente a ese fracaso, manifestado por el alto índice de suspensos en la asignatura, lo que fue observado desde la experiencia de una de las investigadoras de ese estudio, tanto a partir de su tiempo de estudiante cuanto cómo a partir de su práctica como profesora universitaria en más de una facultad de Educación Física, o por la baja calidad de las producciones de los aprendices referentes a tareas solicitadas en clase [3, 4], es necesario investigar las dificultades de los aprendices que representan obstáculos a la comprensión de los conceptos necesarios para resolver problemas de Biomecánica.

El objetivo de ese estudio, entonces, fue verificar cuáles son las dificultades en la resolución de problemas-tipo, extraídos de libros de texto, de un grupo de alumnos de la Diplomatura en Educación Física matriculados en la asignatura *Biomecánica del Movimiento en Deportes*, en un Centro Universitario localizado en una ciudad de la gran Porto Alegre, RS, Brasil, en el primer semestre lectivo de 2007. Los diplomados serán profesionales de Educación Física que podrán actuar en cualquier ambiente distinto de escuelas de educación básica. Los integrantes son alumnos regulares de la asignatura de Biomecánica del Movimiento en Deportes que está ubicada en el cuarto semestre del curso de la Diplomatura en Educación Física (con duración de 8 semestres) y tiene como prerrequisito de ingreso la asignatura de Cinesiología. Problemas-tipo (o problemas ejemplares) son problemas relativos a un asunto particular, cuya resolución implica un grupo de conceptos relacionados, posee estrategias específicas que el solucionador debe conocer para obtener éxito [5]. Esos problemas son también conocidos como problemas de aplicación o problemas de final de capítulo, muy comunes en los libros de texto, los cuales son el principal tema de interés de esta investigación. En ese trabajo también se pretende alertar otros investigadores y/o profesores de la asignatura de Biomecánica sobre el rol de las situaciones (problemas o ejercicios) presentados en la bibliografía

didáctica (la que los alumnos utilizan como libro de texto) en la contribución (o no) para un aprendizaje significativo. A continuación será presentada una revisión de la literatura sobre resolución de problemas, seguida de la metodología de investigación. No incluiremos aquí una sección de fundamentación teórica, dado que en una investigación cualitativa no se trabaja en la línea de verificar hipótesis o corroborar teorías. La teoría surge de los datos, o son buscadas teorías para interpretarlos [6].

## II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Toigo, Moreira y Costa [7] hicieron una revisión de la literatura sobre el estado del arte de la resolución de problemas Biomecánica y actualizaron la revisión de la literatura sobre resolución de problemas en Física hecha por Costa y Moreira [8, 9, 10, 11].

### A. La enseñanza de la Biomecánica

Para Vilas-Boas [12], la Biomecánica es una asignatura de relevancia indiscutible en el plan de estudios de los cursos de la Educación Física y Deporte, sea en nivel de grado o postgrado.

Sin embargo, Amadio y Serrão [13] advierten que aunque la Biomecánica sea objeto de numerosas investigaciones científicas, este hecho no se refleja en la misma intensidad en el ámbito de la práctica profesional. Costa y Santiago [3] argumentan que esta asignatura es a menudo criticada por los estudiantes que la consideran demasiado compleja y "aplicada por menos". Por otra parte, muchos profesores siguen trabajando la asignatura "como un conjunto de fórmulas matemáticas y ecuaciones que no añaden nada a los conocimientos necesarios para la intervención profesional". Correa [4] está de acuerdo y añade que esta actitud es la razón para que los alumnos de pregrado tengan miedo de la asignatura, incluso antes de empezar el curso, debido a los informes de los compañeros que ya la habían asistido. La misma autora explica por qué los estudiantes tienen razones para temer la asignatura, en parte, de acuerdo a su formación (ya que, en general, los alumnos de Educación Física esperan nunca más tener que estudiar Física y matemáticas en su vida) y en parte predominantemente por el enfoque formal presentado por muchos profesores.

Sin embargo, todavía hay una creencia de que la Biomecánica es una rama del conocimiento científico al servicio únicamente al deporte de alto rendimiento, razón por la cual sería desechada de la Educación Física Escolar [14]. Esta visión es particularmente simplista. Aunque no es posible - ni es la intención - de negar la contribución de la Biomecánica al deporte de alto rendimiento y ser el área temática con el mayor número de investigaciones [15], esta no es la única alternativa para la aplicación de este cuerpo de conocimiento.

En 2003, la *National Association for Sport and Physical Education* (NASPE) y la *Biomechanics Academy* han revisado las directrices para la enseñanza de pregrado de la Biomecánica, y además de establecer como pre-requisito las

habilidades para el uso básico de operaciones algebraicas para resolver problemas que envuelven palabras, fórmulas, ecuaciones y gráficos, así como los fundamentos esqueléticos, articulares, musculares y neurológicos, determinaron que los estudiantes deben tomar clases con un continuo de las técnicas de análisis del movimiento cualitativas y cuantitativas que les permita observar y describir una técnica de movimiento con precisión y determinar los factores mecánicos y anatómicos básicos de un movimiento observado; evaluar la conveniencia de la técnica de un practicante con referencia a la tarea; identificar los factores que limitan el desempeño y proponer intervenciones apropiadas [16].

Vilas-Boas [12] critica que la presentación de la asignatura se produce casi exclusivamente en una forma magistral, muy lejos de los estudiantes, convirtiéndose en "robusta", difícil, matematizada, intangible, que puede incluso conducir al estudiante de Educación Física de manera a evitarla. Esa opinión es compartida por varios otros profesores e investigadores [3, 4, 14, 17, 18, 19, 20]. Hamill [18] señala que, para resolver problemas de Biomecánica, es razonable que hubiera un curso de preparación, lo que es raro en los currículos de la Educación Física.

Vilas-Boas [12] considera que los métodos de enseñanza deben cumplir los objetivos de la asignatura científica en sí misma y debe tener en cuenta que la mayoría de los estudiantes actuarán como profesores de educación física o entrenador deportivo, importando, entonces, que el programa de enseñanza incluya habilidades como la observación, el análisis y la evaluación subjetiva de la técnica de prescribir ejercicios. Son pocos profesionales que tendrán los laboratorios o equipos sofisticados (y caros) en sus lugares de trabajo, que les permitan recoger los datos cinemáticos y/o cinéticos (dinámicos), entre otros. En este sentido, argumenta que en lugar de un cambio radical de contenido, debe haber un enfoque de enseñanza diferenciado. Las matemáticas serían introducidas de manera más sutil y sería dada más énfasis para la resolución de problemas en la medida en que vayan surgiendo, en contraposición a una imposición de problemas con baja contextualización deportiva a los estudiantes. La sugerencia sería partir de la observación y descripción de los movimientos deportivos para la explicación, eventual modelización y posterior simulación. Estas dos últimas medidas serían, incluso, remitidas a los cursos de postgrado (ibíd.).

Knudson [17] defiende un equilibrio entre los fundamentos mecánicos y biológicos aprendidos en el contexto de las cuestiones de aplicación sobre el cuerpo humano en el mundo real. En principio, habría que revisar la anatomía funcional y poco a poco introducir los conceptos mecánicos, siempre en interacción con los conceptos biológicos. El autor sugiere trabajar a través de proyectos, donde los estudiantes inicialmente revisan los aportes anteriores con el fin de resolver un problema biomecánico real, bajo la supervisión del profesor. En la metodología en forma de proyectos, más importante que la respuesta en sí es aprender a encontrar información relevante mediante la integración de bases biológicas y mecánicas del

movimiento. Knudson [17] y Hamill [18] también argumentan, basándose en las directrices NASPE [16], que los cursos de iniciación en esta asignatura, deberían adoptar un enfoque más cualitativo, aunque muchos docentes todavía ponen énfasis en la resolución de problemas cuantitativos. Respecto a este último enfoque, no hay evidencias de que se puede aplicar lo que fue aprendido en situaciones reales si los alumnos no tienen subsumidores adecuados para dar cuenta de los estudios cuantitativos de una manera significativa. Lo ideal sería que los profesores pudieran exponer ambos enfoques, pero si fuera posible dar prioridad a uno de ellos, que fuese el cualitativo, integrando la estructura general de los principios biomecánicos aplicados a los problemas reales del movimiento humano y la prevención o tratamiento de lesiones [17].

De todos modos, conviene recordar que la mayoría de los problemas que aparecen en los capítulos finales de los libros utilizados en Biomecánica clásicamente se presentan como problemas-tipo, habiendo poca o casi ninguna sugerencia de cuestiones más cualitativas que susciten la curiosidad de los estudiantes.

Independientemente del énfasis más cualitativa o más cuantitativa, los autores citados comparten la opinión que la enseñanza de la Biomecánica no puede ignorar la actividad de resolución de problemas. El apartado siguiente es una breve explicación sobre los diferentes tipos de problemas.

## **B. ¿Qué se entiende por problema?**

Antes de hablar sobre la solución de problemas, es necesario definir lo que entendemos como un problema, porque en la literatura encontramos diferentes concepciones sobre este tema.

Contreras [21] define el problema como una situación desconocida para el alumno y que requiere un tratamiento diferente de lo habitualmente utilizado, es decir, que requiere la formulación y la confirmación de hipótesis mediante la elaboración de sus propias conductas que pongan en prueba su capacidad de razonamiento autónomo. Desde el punto de vista de Dumas-Carré, citada por Perales Palacios [22], "*El problema puede entenderse en sentido amplio como cualquier situación planeada o espontánea que produce, por una parte, un cierto grado de incertidumbre y, por otra parte, una conducta en dirección de la búsqueda de soluciones*", que pueden ser clasificados de acuerdo al campo de los conocimientos involucrados con el tipo de tarea y con la naturaleza del enunciado. Esta autora distingue los objetivos de un problema en función del campo de conocimiento: en los problemas formulados en la enseñanza de las ciencias, lo que importa es el proceso utilizado en la búsqueda de la solución, mientras que en los problemas del mundo real, lo que importa es el resultado en sí.

Respecto al tipo de problema, se entiende por los problemas cualitativos los que no requieren solución numérica [22] de carácter más explicativo, interpretativo, a lo cual también se puede llamar de abiertos, o aquellos en los cuales los alumnos deben utilizar las habilidades que transformen situaciones amplias para casos cada vez más limitados, precisos y con límites y contenidos bien definidos

[23]. En cuanto a los problemas cuantitativos, son los que requieren cálculos numéricos realizados con ecuaciones que tengan en cuenta los datos presentados en el enunciado (también conocido como problemas cerrados).

Sobre la naturaleza del enunciado, los problemas pueden ser divididos en dos categorías: los abiertos y los cerrados. Los problemas abiertos son aquellos para los que no hay soluciones listas o esperadas, o sea, hay varias soluciones posibles en función de las condiciones de contorno [24, 25]. En los problemas abiertos, el solucionador nunca está seguro de que tenga llegado ni siquiera a la mejor respuesta [26]. A su vez, los problemas cerrados son aquellos para los que existe una solución "casi característica", derivada de la aplicación de los conocimientos previos de los procedimientos del individuo y de procedimientos próximamente característicos en este tipo de problema, se suele asociar con la idea de la actividad rutinaria y mecánica [22, 24]. Garret [26] añade además que el solucionador de problemas cerrados generalmente sabe cuando llegó a la respuesta y, como se sabe que hay una respuesta que debe lograrse, entonces es posible resolver estas situaciones.

Otra diferencia encontrada en la literatura tiene que ver con los conceptos de problema y ejercicio. Los ejercicios requieren el uso de los procedimientos que conducen de manera directa, inmediata, a una respuesta o solución, muchas veces se resume a la aplicación de fórmulas con el fin de fijarlas [24, 27]. Pozo et al. [28] complementan esta definición con el argumento de que en el caso del ejercicio, una persona sabe y tiene técnicas automatizadas que le llevarán a resolver la tarea de manera inexorable. Las competencias necesarias para resolver los ejercicios se consideran, de acuerdo con Tsaparlis y Angelopoulos [29], las habilidades cognitivas de orden inferior.

Por último, como ya fue citado en párrafos previos, vale la pena aclarar el concepto de problemas-tipo (problema ejemplar). En este caso, tratase de problemas de un determinado aspecto, cuya resolución envuelve un grupo de conceptos relacionados y tienen claves específicas que el solucionador debe saber para tener éxito [5]. Estos problemas también son conocidos como problemas de aplicación o problemas de final de capítulo, que son comunes en los libros de texto y que son el principal tema de interés en esta investigación.

### C. Tipos de investigación en resolución de problemas

La investigación sobre la resolución de problemas está diseñada, más frecuentemente, para verificar las diferencias de resolución entre novatos e especialistas; en las metodologías de enseñanza; en los factores que influyen en la resolución de problemas en el aula y en las estrategias para facilitar la resolución de problemas.

En la revisión de la literatura sobre resolución de problemas en Biomecánica realizada por Toigo, Moreira y Costa [7] no se ha encontrado ningún artículo respecto a las diferencias entre novatos y especialistas, así como respecto a los factores que influyen en la resolución de problemas en el aula que es el caso de esta investigación, y en estrategias específicas para facilitar la resolución de problemas.

Con respecto a las metodologías de enseñanza en la resolución de problemas, los autores encontraron sólo tres estudios [30, 31, 32]. Coincidentemente, ambos tienen el mismo enfoque metodológico para resolver los problemas de Biomecánica, que es el uso del aprendizaje basado en problemas (*problem based learning*).

A continuación se presenta la metodología utilizada en esta investigación y la descripción de los sujetos de la investigación.

## III. METODOLOGÍA

La investigación, realizada en el paradigma cualitativo, se dividió en dos etapas.

En la primera, durante las clases, al intentar resolver los problemas-tipo extraídos de libros de texto (ambos escogidos por la profesora, de acuerdo con los contenidos del programa de la asignatura) y organizados en una lista de ejercicios disponible en Internet, los alumnos fueron motivados a manifestar sus dudas y dificultades, tanto por escrito como a través de comentarios verbales, los cuales fueron anotados en un diario. Se realizaron dos exámenes de conocimiento que incluían tanto problemas-tipo, semejantes a los discutidos en clase, como problemas abiertos (esos últimos, demandaban mayor raciocinio conceptual).

En la segunda etapa, del análisis de todos los registros, fue posible categorizar las dificultades en dos grupos: el de las *dificultades de orden conceptual* y el de las *dificultades de orden procedimental*. Las dificultades de orden conceptual son las relacionadas con el conocimiento declarativo, que, según Sternberg [33] incluyen información acerca de los hechos y las ideas que se pueden establecer en términos de las proposiciones. Este tipo de conocimiento también puede ser descrito como "saber qué". Sin embargo, las dificultades de orden procedimental son aquellas que están relacionadas con el conocimiento procedimental, que contiene información sobre cómo realizar una secuencia de operaciones, y también se puede entender como "saber cómo" (ibid.).

En el primer semestre de 2007, la asignatura de Biomecánica del Movimiento en Deportes fue ofrecida en los turnos diurno y nocturno. En el turno diurno, la asignatura fue ofrecida los miércoles, sumando 17 encuentros de 4 horas semanales, mientras que en el turno nocturno fueron ofrecidos 16 encuentros, también de 4 horas semanales, debido a un día de fiesta. El público investigado estaba compuesto por 30 estudiantes universitarios, todos de la Diplomatura de Educación Física, la mayoría del cuarto semestre, además un alumno del primer año y otro del último. La elección de las clases se llevó a cabo de acuerdo a los horarios que se ofrecían en la universidad en este semestre. Desde el inicio del curso de Diplomatura en Educación Física, la asignatura de Biomecánica es enseñada por la misma profesora y primera autora de este trabajo, que había estado observando las dificultades encontradas en la solución de problemas similares.

El objeto de interés (en términos de contenidos) de esa investigación fueron los temas trabajados en la primera mitad de la asignatura:

Introducción a la Biomecánica (abordando el concepto de fuerza, diagramas de fuerza, tipos de fuerza); conceptos cinemáticos y cinéticos, lineales y angulares, del movimiento humano y equilibrio en el movimiento humano (abordando conceptos de distancia, desplazamiento, velocidad, rapidez, aceleración, cantidades medias e instantáneas, medida de ángulos, relaciones entre movimiento lineal y angular, leyes de Newton, comportamiento mecánico de los cuerpos en contacto - roce, momento, empuje, impacto - análogos angulares de las leyes de Newton, resistencia a la aceleración angular (momento de inercia o inercia rotacional), momento angular, centro de gravedad, condiciones de equilibrio, estabilidad y equilibrio, torque y palancas).

Para interpretar las dificultades de los alumnos con relación a la resolución de los problemas-tipo presentados en los libros de Biomecánica, se analizaron los registros hechos después de cada clase, que ayudaron a entender de qué manera la profesora-investigadora presentaba sus explicaciones y cómo se daban las interacciones con los aprendices, y las respuestas dadas a los tests aplicados a lo largo del semestre lectivo. Todas las transcripciones de manifestaciones verbales de los alumnos, dentro y fuera de la clase, fueron identificadas por un código numérico asociado al nombre del alumno y definido de forma aleatoria, para garantizar la confidencialidad de los datos. Las primeras tres clases del curso fueron dictadas de manera expositiva, utilizando como recursos didáctico-pedagógicos la pizarra y/o diapositivas presentadas en un proyector multimedia. En esos encuentros no se registró ninguna participación activa de los alumnos, ya que solamente prestaron atención a las explicaciones y realizaron sus propias anotaciones. En Internet, había a disposición de los alumnos apuntes referentes a los contenidos trabajados en clase (copia de las transparencias) y listas de ejercicios numerados.

Las cinco clases siguientes fueron clases de resolución de problemas. Los problemas-tipo fueron extraídos de libros de texto consagrados del área de Biomecánica [34, 35] y fueron reproducidos, tal y como fueron concebidos por los respectivos autores, en una lista de ejercicios; para facilitar el análisis de los datos de esa investigación, los problemas-tipo fueron clasificados en *problemas de torque* y *problemas de movimiento*.

La rutina de resolución de problemas, tanto de los problemas de torque como de los de movimiento, incluía siempre una explicación previa acompañada de la respectiva demostración realizada por la profesora, en la pizarra. La profesora les pedía a los alumnos que intentasen resolver, solos o en pareja, algunos problemas en clase y, algunas veces, proponía otros como tarea de casa, siempre pidiéndoles a los alumnos que trajesen sus dudas por escrito. Es importante destacar que los estudiantes no siempre realizaban la tarea, o anotaban sus dudas. La profesora frecuentemente les preguntaba a los alumnos en clase sobre sus dificultades y, cuando obtenía respuestas, anotaba los relatos verbales.

En la clase siguiente fue realizado un examen compuesto por problemas-tipo semejantes a los trabajados en clase, adaptados por la profesora, respecto a los mismos contenidos ya citados.

#### **IV. RESULTADOS: DIFICULTADES DE LOS ALUMNOS EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS-TIPO DE BIOMECÁNICA**

A partir de las respuestas dadas por los alumnos, tanto del análisis de los registros escritos (ejercicios resueltos en casa, en clase y preguntas de los exámenes) como de los comentarios verbales, emergieron dos categorías de dificultades, que se dividieron en otras subcategorías, las cuales se presentarán a continuación, acompañadas de ejemplos.

##### **A. Dificultades de orden conceptual**

###### *a) El enunciado es ambiguo o mal formulado*

Los problemas que se presentan a continuación son ejemplos de enunciados ambiguos o mal-formulados.

Ejemplo 1. Problema 20 de la lista de ejercicios. Dos personas empujan una puerta de vaivén. ¿Si A ejerce una fuerza de 40 N a una distancia perpendicular de 20 cm de la bisagra y B ejerce una fuerza de 30 N, ¿cuál será el torque resultante que actuará en la bisagra y en qué dirección oscilará la puerta? [34].

Fue unánime, por parte de los alumnos, la dificultad para resolver ese problema. La alumna 22 dijo que en el enunciado faltó decir si la distancia era la misma, pero que, para resolver el problema, asumió que era. La alumna 26 tampoco sabía si la distancia era la misma y no respondió. No quedó claro para los alumnos 25 y 26 si las personas estaban empujando la puerta en el mismo sentido o en sentidos opuestos. Releyendo el enunciado del problema 20 y reflexionando sobre los comentarios de los alumnos, se desprende que, de hecho, faltan algunos datos, haciendo pertinentes las dudas referidas por los alumnos 22, 25 y 26.

Ejemplo 2. Problema 26 de la lista de ejercicios. Un balón de fútbol rueda sobre un campo. Para  $t = 0$ , el balón posee una velocidad instantánea de 4 m/s. Si la aceleración del balón es constante en  $-0,3 \text{ m/s}^2$  ¿cuánto tiempo necesitará el balón para parar completamente? [34].

En ese problema, en el enunciado no está claro que se debe desprestigiar el movimiento de rotación del balón y considerar solamente el movimiento de traslación.

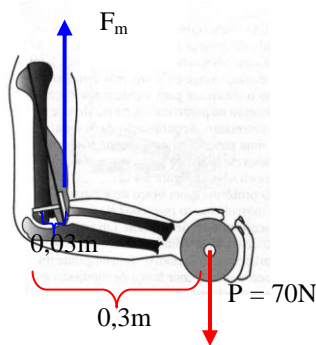
Para Oñorbe de Torre y Sánchez Jiménez [36], la interpretación del enunciado consiste en un obstáculo para la resolución de problemas. Pimentel [37] defiende que el libro de texto debe ser considerado como un importante instrumental de apoyo, tanto para profesores como para estudiantes, sin embargo, no debe ser considerado como dueño de la verdad absoluta. En ese sentido, los profesores deben saber corregir o adaptar problemas encontrados en ese tipo de material. Los enunciados deben ser formulados

de manera a no dificultar la construcción de un modelo mental [38] de trabajo de la situación problema.

*b) Alumnos no entienden el significado de las variables del enunciado*

A partir del análisis de los datos, se verificó que ése fue el tipo de dificultad más frecuente entre los alumnos investigados. A continuación se presentan algunos ejemplos. Ejemplo 1. Problema 17 de la lista de ejercicios. ¿Cuánta fuerza debe producir el bíceps braquial, que se inserta en el radio formando un ángulo de  $90^\circ$  con el cúbito y a una distancia de 3 cm del centro de rotación del codo, para mantener un peso de 70 N en la mano a una distancia de 30 cm de la articulación del codo? [34].

A fin de facilitar la comprensión de los alumnos, la profesora reprodujo en la pizarra el dibujo representado en la Figura 1.



**FIGURA 1:** Representación pictórica del enunciado del problema 17.  $F_m$  representa la fuerza muscular resultante.

Se llamó la atención sobre la palabra *sostener*, presente en el enunciado del problema. Se reforzó que esa palabra significa una contracción muscular del tipo isométrica (tipo de contracción muscular estática en la cual la fuerza muscular se iguala a la fuerza de resistencia), es decir, existe una tendencia de la articulación a girar hacia arriba (en función de la línea de acción de las fibras musculares, cuya inserción se localiza en el radio), que es equilibrada por la tendencia a girar para abajo, generada por la fuerza peso del objeto. Se explicó que si la articulación no gira en ningún sentido, es porque esas tendencias son iguales, por tanto, las intensidades de los torques generados por el músculo y por el objeto (resistencia) son iguales.

El alumno 23 dijo:

- “Son muchas fórmulas diferentes para resolver esos problemas. Creo que no estoy entendiendo cuál debo usar porque perdí dos clases seguidas” (Alumno 23).

La profesora explicó que sólo era necesario utilizar la ecuación del torque y la trigonometría para resolver el problema. A partir del comentario del alumno 23, quedó clara la preocupación por saber identificar la ecuación para encontrar el resultado del problema, pero no quedó claro si había o no interés por el entendimiento conceptual.

Solaz-Portolés, Sanjosé-López y Vidal-Abarca [39] llaman la atención para el hecho de que el conocimiento procedimental del algoritmo es condición necesaria, pero no suficiente para la apropiada comprensión y aplicación de los

conceptos en la resolución de problemas. En ese sentido, la preocupación del alumno 23 puede ser legítima siempre que también haya interés por la comprensión conceptual. Sin embargo, Solaz-Portolés y Sanjosé-López [40] también sostienen que, por otro lado, los problemas algorítmicos pueden no requerir para su resolución la elaboración de modelo mental alguno, entonces, pueden ser resueltos simplemente a partir de una representación mental proposicional, lo que justifica el elevado número de estudiantes que lo hacen bien, sin necesidad de ayudas instruccionales específicas.

Ejemplo 2. Problema 18 de la lista de ejercicios. El tendón cuadriceps se inserta en la tibia formando un ángulo de  $30^\circ$  a 4 cm del centro articular de la rodilla. Cuando una canillera de 80 N se sujeta al tobillo a 28 cm, ¿cuánta fuerza deberá ejercer el cuádriceps para mantener la pierna en la posición horizontal? (adaptado de Hall [34]).

El esquema de la Figura 2 ilustra un dibujo semejante al que la profesora realizó en la pizarra sobre el enunciado del problema 18, para ayudarles a los alumnos a visualizar las variables del problema.



**FIGURA 2.** Representación pictórica del enunciado del problema 18.

Dificultades manifestadas por los alumnos:

- “- ¿Dónde forma ese ángulo?” (Alumno 25)
- “- Entre la inserción del músculo y el hueso.” (Profesora)
- “- ¿Es necesario ese ángulo para resolver el problema?” (Alumno 30)
- “- No.” (Profesora)
- “- ¿Dónde está sujeta la canillera?” (Alumno 25)
- “- El enunciado del problema dice que es en el tobillo.” (Profesora)
- “- ¿El peso de la pierna no es importante?” (Alumno 25)
- “- En la práctica, sí, pero en ese problema no está siendo considerado.” (Profesora)

Los comentarios del alumno 25 muestran clara dificultad para interpretar el enunciado del problema, ya que las localizaciones del ángulo y de la canillera están explícitas en el problema. Por otro lado, esos comentarios revelan una preocupación del alumno 25 con la comprensión por el hecho de mencionar el peso de la pierna y de intentar entender dónde está localizado el ángulo. Pero, en el caso de la duda del alumno 30, se percibe una falta de comprensión conceptual, ya que el mismo demostró que no había entendido el papel del ángulo en ese tipo de situación.

Ejemplo 3. Problema 23 de la lista de ejercicios. Un trabajador se inclina y levanta una caja de 90N a una distancia de 0,7 m del eje de rotación de su columna

vertebral. Ignorando el efecto del peso corporal, ¿cuánta fuerza adicional tendrán que ejercer los músculos lumbares con un brazo de momento medio (también conocido como brazo de palanca) de 6 cm para estabilizar la caja en la posición mostrada? [34].

Los alumnos 1 y 6 comentaron que no resolvieron el problema porque no entendieron el significado del término “brazo de momento medio” en el enunciado. La profesora no había explicado que ese término es usado como sinónimo de distancia perpendicular, por otro lado, los alumnos tampoco manifestaron interés en buscar el significado en la literatura.

Aunque no se niegue la importancia del libro de texto como instrumento de apoyo para los profesores, no se puede ignorar que la falta de trabajo e interés por parte de los alumnos, apuntada por Oñorbe de Torre y Sánchez Jiménez [36], también es un factor que justifica el fracaso en la tarea de resolver problemas. Además, a excepción de los educadores físicos que trabajan con Biomecánica en centros o laboratorios de investigación, la mayoría de los profesionales que trabajarán enseñando ejercicios, actividades físicas, gimnástica, deportes, etc., en clubes, parques o gimnasios (entre otros lugares) no ven el sentido en la resolución de problemas-tipo por no tener en cuenta la relación entre estos problemas y el cotidiano de la profesión.

Para tratar de minimizar este tipo de situación, se puede buscar elementos en uno de los principios del aprendizaje significativo crítico (el tipo de aprendizaje que permite al individuo ser parte de su cultura y, al mismo tiempo, estar fuera de ella) que, según Moreira [41] es el principio de la no centralidad del libro de texto, el uso de documentos, artículos y otros materiales educativos, así como la diversidad de materiales de instrucción. El autor explica que el libro de texto simboliza una especie de autoridad de donde “emana” el conocimiento, por eso, profesores y alumnos terminan confiando demasiado en ese tipo de material. Aunque admita que hay buenos libros de texto en cualquier asignatura, argumenta que adoptar un único libro de texto único, va en contra a la facilitación del aprendizaje significativo crítico. En el caso específico de los libros de texto de Biomecánica, se puede decir que la gran mayoría presenta tan sólo problemas-tipo como opción para los alumnos. Tal vez fuese más interesante proponer a los alumnos la resolución de problemas abiertos, que posiblemente aproximarían el alumno al contexto profesional, probablemente por el aumento de la motivación para resolverlos y contribuyendo más a los propósitos de la asignatura. En ese sentido, el aprendizaje basado en problemas puede constituir una alternativa más viable para solucionar problemas. Roselli y Brophy [30, 31] analizaron el efecto de esta estrategia con los estudiantes de Biomecánica y en vez de tratar los contenidos de la manera tradicional, los trataron como desafíos reales que ponen el alumno en la posición en que deben elegir por sí mismos las partes de la taxonomía que son relevantes para resolver un problema abierto. Inicialmente los estudiantes piensan que este enfoque es más laborioso, pero los autores creen que esa metodología prepara mejor a los alumnos para el cotidiano profesional y para el aprendizaje permanente.

Los alumnos 10 y 11 dijeron que no consiguieron resolver el problema porque no sabían qué fórmula utilizar. En ese caso específico, parece evidente que a esos alumnos no les importa comprender los conceptos para aplicarlos en cualquier situación evidente, contentándose sólo con encontrar un resultado numérico que responda al problema a través de una ecuación, lo que corrobora la opinión de Escudero y Flores [2], que infieren que, habiendo fórmulas para todo, los alumnos prefieren utilizarlas. Los autores atribuyen esa característica a los alumnos con menor rendimiento, para los cuales, las ecuaciones parecen, también, no tener significado. Ese comportamiento es característico de “novatos”, que tienen un conocimiento reducido con relación a los especialistas. En la Teoría del Procesamiento de Información, a eso se le llama “chunks” o “paquetes” de conocimiento.

Ejemplo 4. Problema 26, transcrito anteriormente.

Los alumnos 4 y 2 comentaron que no sabían qué hacer con la señal negativa de la aceleración y la alumna 12 dijo que pensaba que, debido a esa señal negativa, tendría que disminuir la aceleración de “algo”. La profesora explicó que la señal es una convención para indicar que el cuerpo está disminuyendo la velocidad (está frenando). El alumno 25 le pidió a la profesora que explicara nuevamente la diferencia entre velocidad vectorial y escalar. El alumno 10 puso la ecuación en el papel, pero no dio continuidad a la solución, es decir, no sustituyó los valores, probablemente por no entender el significado de los términos de la ecuación, y no llegó a la respuesta. El alumno 11 dijo que no sabía qué fórmula debía usar, ni el raciocinio que tendría que adoptar. Los alumnos 8 y 12 restaron la aceleración de la velocidad y llegaron a un resultado equivocado.

Para Carcavilla Castro y Escudero Escorza [42], la mayor parte de las dificultades de los alumnos al enfrentar problemas consiste en la falta de comprensión de los conceptos y en la falta de conocimientos procedimentales, es decir, no consiguen resolver una ecuación o usar un algoritmo.

Ejemplo 5. Problema 4 de la lista de ejercicios. ¿Cuánto torque es producido en el codo por el bíceps braquial que se inserta en el radio formando un ángulo de  $60^\circ$  cuando la tensión en el músculo es de 400N? (Admitir que la inserción muscular en el radio tiene lugar a 3cm del centro de rotación en la articulación del codo) [34].

La alumna 26 demostró que tenía dudas a respecto de la descomposición de la fuerza muscular en un componente perpendicular y otro compresivo, lo que motivó que la profesora retomara el asunto. Después de nueva explicación, esa misma alumna comentó:

- “Viendo tu explicación, lo entendí, solo no sé si voy a recordarlo cuando esté sola en casa” (Alumna 26).

Kempa [43] considera como dificultad de aprendizaje la deficiencia en la estructura de conocimiento en la memoria de larga duración de los estudiantes o en sus capacidades de manejar informaciones de acuerdo con las limitaciones en la memoria de corta duración. Ésa parece ser la preocupación manifestada por la alumna 26, al admitir que quizá no sea capaz de reproducir la explicación de la profesora. Además, la situación lleva a pensar en una falta de atribución de

significado a los conceptos involucrados en el problema por parte de esa alumna.

Ejemplo 6. *Pregunta de examen.* Enuncie los conceptos de equilibrio estable, inestable e indiferente. Observe la figura abajo y diga en qué situación de equilibrio se encuentra la niña que está saltando.



FIGURA 3. Ilustración usada para responder la pregunta del Ejemplo 6.

De 28 alumnos que estuvieron presentes en esa evaluación, 13 probablemente no entendieron el significado de los conceptos mencionados en el enunciado, pues respondieron la pregunta simplemente reproduciendo literalmente las definiciones de los tipos de equilibrio, pero no respondieron a la pregunta. Al no conseguir interpretar los significados de los conceptos, confundieron el tipo de equilibrio ilustrado en la figura. Ese tipo de respuesta parece un indicativo de aprendizaje mecánico. Un alumno escogió aleatoriamente una respuesta y no presentó argumentación, es decir, no enunció los conceptos.

Ejemplo 7. *Pregunta de prueba.* Las figuras abajo representan maneras diferentes de transportar una caja. Una de ellas será más favorable para la persona, disminuyendo la posibilidad de que sienta dolor en la espalda. Diga cuál de esas figuras representa la forma más adecuada de cargar la caja y justifique su respuesta teniendo en cuenta el concepto de torque.

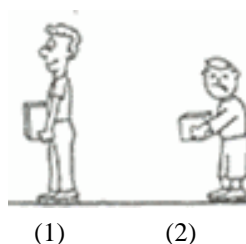


FIGURA 4. Ilustración usada para responder la pregunta del Ejemplo 7.

Nuevamente aparecieron problemas en la conceptualización. En ese caso, los alumnos presentaron dificultades en la comprensión del concepto de torque. Como se pedía que escogiesen una figura, algunos alumnos marcaban una opción, pero no justificaban su respuesta, dando a entender que no comprendieron el concepto, lo cual puede ser atribuido a la falta de atención o a la no comprensión de la situación.

A lo largo del semestre, ocho alumnos justificaron que no habían resuelto algunos problemas por no saber cuál era

la fórmula que se debía utilizar. Escudero y Flores [2] afirman que los estudiantes con menor rendimiento suelen utilizar “cuentas” para resolver problemas, por tanto, no saber cuál es la fórmula adecuada es un obstáculo. Es decir, los alumnos no ven el problema como una oportunidad para dar significado a los conceptos.

Por otro lado, veinte alumnos afirmaron que no entendían qué debían hacer con las variables presentadas en los enunciados de los problemas. Se piensa, en esa situación, que la raíz de esa dificultad es un fallo en la conceptualización. Alumnos que no saben qué hacer con las variables presentadas en los enunciados de los problemas, en realidad, probablemente no entienden el significado de los conceptos discutidos en las clases teóricas. Coleoni, Gangoso y Hamity [44] refieren que cuando un estudiante supera un mínimo de conocimiento conceptual, la resolución de problemas tiene éxito si consiguen manejar los conocimientos procedimentales (es decir, los que se refieren a la secuencia de operaciones matemáticas respecto a la resolución del problema). Boufaoude, Salloum y Abd-El-Khalck [45] destacan que los estudiantes tienen que ser pensadores conceptuales bajo pena de perder tiempo aprendiendo cosas que no utilizarán en el día a día. Para Costa y Moreira [46] el individuo sólo puede construir explicaciones si posee la comprensión de la teoría de dominio, lo que significa que posee un modelo mental compatible con el modelo consensual científico. Los modelos mentales son representaciones de alto nivel que son la base de la comprensión psicológica, y que son considerados como análogos estructurales del mundo que los seres humanos construyen en la mente para entender el mundo [47]. Para Moreira, Greca y Palmero [48], entender un sistema físico o un fenómeno natural, por ejemplo, implica tener un modelo mental del sistema que le permite a la persona que lo construye explicarlo y hacer previsiones con respecto a él. Así, estos modelos tienen profundas implicaciones desde el punto de vista de la instrucción ya que para aprender es necesario construir modelos mentales de lo que está siendo enseñado, al mismo tiempo que enseñar es facilitar la construcción y la revisión de los modelos mentales. Cuando se trata de enseñar a los modelos conceptuales (representaciones precisas, coherentes y completas del área de interés, proyectados por científicos, ingenieros, profesores para facilitar la comprensión y la enseñanza de sistemas físicos o de fenómenos naturales) el profesor espera que el alumno construya modelos mentales de acuerdo a los modelos conceptuales, pero debe considerar que los modelos que los estudiantes ya traen a la situación de instrucción influyen en la enseñanza y en el aprendizaje, por lo que hay que tenerlos en cuenta [47, 48].

#### *c) Alumnos no comprenden (o no interpretan) el enunciado*

Esa dificultad puede parecer semejante a la anterior, sin embargo, en el apartado anterior los alumnos conseguían identificar de qué trataba el problema, al contrario de los seis alumnos que confesaron que no entendían el enunciado, es decir, ni siquiera consiguieron identificar de qué trataba el problema. Esa dificultad fue encontrada en estudios anteriores por Oñorbe de Torre y Sánchez Jiménez [36, 49].



Peduzzi [50] pondera que esa dificultad puede, también, ser resultado de una apatía ante el desinterés por la asignatura.

Ejemplo 1. Problema 9. Se le da a un balón con una fuerza de 40N. La masa del balón es 0,5 kg. ¿Cuál es la aceleración resultante del balón? [34].

La alumna 4 no supo qué hacer con los datos. Cuando los alumnos relatan que ni siquiera imaginan qué se puede hacer con los datos presentados en el enunciado del problema, se puede pensar en una total falta de comprensión a respecto del significado de los conceptos cinemáticos del problema.

Problemas como ése son definidos como cerrados, pues consisten en ejercicios en que la solución es “casi característica”, estando asociados a la idea de actividad mecánica y rutinaria, es decir, en el enunciado aparecen todas las variables necesarias para calcular el resultado a partir de la aplicación de una ecuación [22, 24]. Es un hecho preocupante que los alumnos presenten dificultades al solucionar ese tipo de problema, que parece no tener un nivel sofisticado de solución. De hecho, esta dificultad presenta una superposición con la parte conceptual. Por otro lado, es obvio que dificultades en trigonometría afecta el desempeño en la resolución de problemas. Sin embargo, aunque pueda parecer obvia es una realidad.

## B. Dificultades de orden procedimental

En algunas situaciones, los alumnos fueron capaces de interpretar los problemas, pero enfrentaron dificultades procedimentales, que fueron categorizadas como se describe a continuación.

### a) Alumnos presentan dificultades con el procedimiento matemático

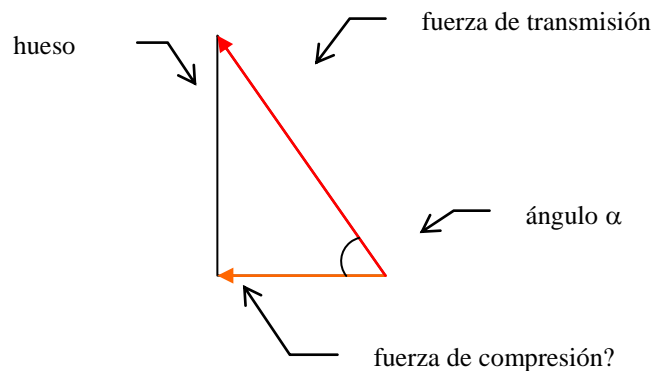
La falta de conocimientos previos sobre trigonometría afecta directamente a la resolución de problemas de torque y de movimiento en Biomecánica. Hubo en el semestre investigado, por lo menos, dos alumnos que dijeron que no recordaban cómo calcular seno y coseno, aunque es posible que ese problema sea mucho más frecuente. El asunto fue retomado diversas veces en la clase, siempre que lo pedían los alumnos.

Los estudiantes también dicen frecuentemente que no saben qué hacer con signos negativos o qué deben hacer cuando manejan fracciones. Oñorbe de Torre y Sánchez Jiménez [36, 49] ya habían detectado que la falta de conocimientos procedimentales, aplicación de la teoría y estrategia o camino en la resolución representan obstáculos para la resolución de problemas, que, en la perspectiva de Carcavilla Castro y Escudero Escorza [42], es considerado como una de las principales razones para el fracaso, pero concuerdan con Solaz-Portolés, Sanjosé-López y Vidal-Abarca [40] cuando defienden que el conocimiento procedimental es condición necesaria pero no suficiente para la apropiada comprensión y aplicación de los conceptos. Además, para Carcavilla Castro y Escudero Escorza [42], la mayor parte de las dificultades de los alumnos al enfrentar problemas está basada en la falta de

comprensión de los conocimientos, tanto conceptuales como procedimentales. Es relevante saber que no existe en el currículo del curso de Diplomatura en Educación Física de la institución investigada ninguna asignatura introductoria de Matemáticas o de Física, sin embargo, la referida institución ofrece, a bajo coste, una asignatura de nivelación en Matemáticas, la cual no contabiliza créditos curriculares, para estudiantes de cualquier carrera interesados en recordar o sanar carencias de conocimiento en esa área. Sin embargo, los alumnos en general no demuestran interés en cursarla y normalmente dicen que ni siquiera imaginaron que, para estudiar Educación Física, tendrían necesidad de retomar conocimientos adquiridos en la Física y las Matemáticas del colegio.

Ejemplo 1. Problema 1 de la lista de ejercicios. ¿Cuánta compresión es ejercida sobre el radio en la articulación del codo cuando el bíceps braquial, orientado en un ángulo de  $30^\circ$  con relación al radio, ejerce una fuerza de transmisión de 200N? [34].

La profesora hizo un dibujo en la pizarra (Figura 5).



**FIGURA 5.** Diagrama esquemático propuesto por la profesora en la pizarra para auxiliar en la resolución del problema 1.

El alumno 29 informó que había entendido qué fuerza (o vector) tenía que encontrar, pero ya no recordaba qué era cateto opuesto, cateto adyacente e hipotenusa, por tanto, estaba “patinando” en la parte matemática. Sin una noción básica de trigonometría, es muy difícil que los alumnos consigan encontrar solución para ese tipo de problema. En ese sentido, identificando la carencia de ese subsunior, o subsumidor, (que es un conocimiento previo que funcionaría como idea-ancla para nuevos conocimientos), los profesores deben dar subsidios para que los alumnos superen ese tipo de obstáculo para la resolución de los problemas.

Ejemplo 2. Problema 16 de la lista de ejercicios. Dos niños están sentados en los extremos opuestos de un columpio. Susi está a 1,6 m del eje del columpio y pesa 190N mientras que Juan está a 1,6 m del eje y pesa 200 N, ¿para qué lado se inclinará el columpio? [34].

Los alumnos 15, 20, 4 y 21 encontraron la respuesta correcta a pesar de haberse equivocado en el cálculo, es decir, afirmaron que el columpio se inclinará para el lado de Juan, pero no consiguieron llegar al resultado numérico por no saber cómo insertar los datos en la ecuación del torque. En esa situación, se puede pensar que tal vez los

alumnos hayan entendido conceptualmente la relación del torque con la distancia y con la fuerza, pero les faltó conocimiento procedimental para resolver la ecuación.

*b) Alumnos no comprenden el significado de las unidades de medida o no saben convertirlas*

A lo largo del semestre, catorce alumnos dijeron que habían tenido dificultades para manejar las unidades de medida cinética y cinemática estudiadas. Algunos no sabían cuál era la unidad en el sistema internacional de medidas para realizar los cálculos pedidos en los enunciados de los problemas; otros, no sabían cómo realizar la conversión de unidades. El asunto fue retomado siempre que fue solicitado, pero no quedó claro si los alumnos entendieron el procedimiento o no. Muchos libros de texto de Biomecánica abordan el tema en sus apéndices, por otro lado, los alumnos, normalmente, utilizan como única fuente de consulta los apuntes que la profesora da al inicio del semestre, pero en ese material no hay ninguna información al respecto de unidades y de procedimientos de conversión.

*c) Los alumnos prestan poca atención al buscar la solución del problema*

Durante el período de observación y recogida de datos de esa investigación, cuatro alumnos dijeron que no acertaron el resultado del problema por falta de atención. En la investigación conducida por Oñorbe de Torre y Sánchez Jiménez [49], los alumnos también atribuyeron a la falta de atención la dificultad para resolver problemas, admitiendo falta de trabajo e interés y falta de confianza en sí mismos al interpretar el enunciado.

*d) Alumnos no interpretan el resultado del problema*

A lo largo del semestre investigado, se constató que cinco alumnos demostraron gran preocupación en encontrar un resultado numérico para los problemas resolviendo ecuaciones. Sin embargo, ese resultado numérico no siempre representaba lo que se pedía en el enunciado del problema. Peduzzi [51] llamó la atención para el hecho de que los estudiantes no suelen cuestionar ni los problemas, ni los resultados. En el transcurso de las clases, la profesora les pidió insistentemente a los alumnos que reflexionasen sobre el resultado encontrado para verificar si el mismo correspondía a lo que se pedía en el enunciado del problema.

Ejemplo 1. Problema 10 de la lista de ejercicios. Dos atletas participan en una carrera de 15 km. El atleta 1 adopta una velocidad media de 4,4 m/s durante la primera mitad de la carrera y, a continuación, corre con una velocidad media de 4,2 m/s hasta los últimos 200m, que él corre a 4,5 m/s. ¿Con qué velocidad media debe correr el atleta 2 para superar el atleta 1? (adaptado de [34]).

El alumno 25 no respondió que la velocidad media del atleta 2 debía ser superior a la velocidad media del atleta 1. Ése es un hecho relativamente vulgar en la resolución de problemas, es decir, los alumnos se preocupan por encontrar un resultado numérico aunque el valor encontrado no

siempre represente por sí solo la respuesta al problema. Bajo el punto de vista de la profesora, esa actitud parece indicar que, al encontrar un resultado numérico, no se tiene el cuidado de rever el enunciado y pensar en el significado de ese resultado con relación a lo que se estaba pidiendo.

El alumno 30 dijo que hizo varias cuentas y acabó encontrando un valor numérico igual al del problema, pero afirmó que no sabe qué es lo que hizo. Calculó los tiempos para cada velocidad del atleta 1 y halló un valor numérico igual al resultado del problema, pero no transformó las distancias de kilómetros para metros y trabajó con los datos de velocidad en m/s.

Ejemplo 2. *Cuestión de examen.* Dos personas están echándose un pulso. El competidor A está aplicando una fuerza de 1000N a una distancia de 20 cm del eje. Considerando que la distancia del punto de aplicación de fuerza al eje del competidor B es de 16 cm, ¿cuánta fuerza tendrá que hacer el competidor B para ganar?



**FIGURA 6.** Ilustración usada para responder la pregunta del Ejemplo 2.

En esa pregunta, además de que algunos alumnos presentaron dificultades con el procedimiento matemático (cinco se equivocaron en el cálculo), diez alumnos no interpretaron el resultado del problema. Esos alumnos encontraron un valor numérico para el equilibrio de torques, pero no respondieron a lo que se pedía en el enunciado.

## V. SÍNTESIS DE LAS OBSERVACIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

El objetivo de ese estudio fue verificar – a través de la observación participante, de registros de comentarios verbales y de registros escritos de problemas resueltos en clase y en exámenes con problemas-tipo y problemas abiertos conceptuales – las dificultades de alumnos del curso de Diplomatura en Educación Física en la resolución de problemas-tipo, extraídos de libros de texto referentes a los contenidos trabajados en la asignatura Biomecánica del Movimiento Humano, durante un semestre lectivo. A partir del análisis de esos registros, fue posible categorizar las dificultades en dos grupos: el de las dificultades de orden conceptual y el de las dificultades de orden procedimental, ya presentados y discutidos.

A partir de la categoría de las dificultades de orden conceptual, que emergió del análisis de los datos, dos

merecieron nuestra atención. Gran parte de los alumnos, tanto en las clases como en los dos exámenes, *no entendieron el significado de las variables del enunciado*. Además, muchos de ellos *no comprendieron (o no consiguieron interpretar) los enunciados, es decir, no supieron de qué trataban algunas preguntas*, incluso las respondieron bajo otras perspectivas diferentes de la Biomecánica (por ejemplo, dando respuestas desde el punto de vista de la Fisiología del Ejercicio o del Entrenamiento Deportivo, que nada tenían que ver con el enunciado de la cuestión).

La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud atribuye a la conceptualización el punto esencial del desarrollo cognitivo [52]. La conceptualización, a su vez, depende de dominar situaciones-problema. Ya que los alumnos investigados dieron fuertes indicativos de no dominar ese proceso, es difícil imaginar que pueda haber éxito en el dominio del campo conceptual de la Biomecánica, que es una de las condiciones necesarias para el éxito en la resolución de problemas. Por otro lado, dialécticamente, cuantos más problemas resuelven los alumnos, mayor es la probabilidad de que dominen un determinado campo conceptual. El error en el proceso de conceptualización puede ser un reflejo de la escuela comportamentalista que, según Gangoso [53, 54], aún perdura en los días de hoy. En esa perspectiva, la dificultad básica no está solamente en la transferencia de soluciones, sino en el reconocimiento del estímulo que, en el caso de los problemas-tipo abordados en esa investigación, también tiene que ver con la elección de la fórmula que resuelve el problema. Además, como ya se mencionó, habiendo fórmulas para todo, los alumnos prefieren usarlas [2], especialmente los que se encuadran en la clasificación de novatos. Los novatos presentan un conocimiento más fragmentado, desvinculado entre sí y atentan para características superficiales en la resolución de los problemas, al contrario de los especialistas, que son capaces de hacer una representación de las situaciones de manera más abstracta [44], utilizando el conocimiento que poseen sobre los conceptos supuestos en los problemas. La conclusión a respecto de las dificultades de orden conceptual evidenciadas por los aprendices se basa en el presupuesto de que les faltan subsunores para conseguir la resolución de problemas (no sólo de orden conceptual, sino también de orden procedimental). La falta de subsunores es un obstáculo para la resolución de problemas al considerar la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel, ya que, para ese autor, la ausencia de subsunores disminuye la capacidad de anclar nuevas informaciones a la estructura cognitiva del aprendiz de manera más significativa [55, 56]. En ese sentido, Gangoso [53] argumenta que las variables que más influyen en la resolución de problemas en la perspectiva de la teoría del aprendizaje significativo son la disponibilidad de conceptos y principios en la estructura cognitiva pertinentes a las demandas del problema, lo que corrobora la idea central de la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud.

Por otro lado, la misma autora critica los problemas-tipo por creer que llevan los alumnos tan sólo al aprendizaje mecánico y los compara a recetas culinarias, argumentando

que, para Ausubel, solamente hay aprendizaje significativo cuando los problemas son fundamentados en conceptos y principios claramente comprendidos y cuando las operaciones constitutivas sean significativas por sí mismas. Para Greca y Moreira [57], los problemas de final de capítulo tienden a llevar al aprendizaje mecánico; por otro lado sugieren que los problemas abiertos no necesariamente llevarán a la conceptualización. De cualquier forma, los problemas utilizados en el presente estudio, retirados de los libros de texto utilizados en la asignatura de Biomecánica del Movimiento en Deporte, se encuadran en la categoría de problemas-tipo, y de acuerdo con los datos obtenidos, no se mostraron muy útiles como auxiliares en el proceso de conceptualización, fundamental en la visión de Vergnaud, ni como material potencialmente significativo, de acuerdo con Ausubel. Además, los datos permitieron inferir que muchos de esos problemas presentan ambigüedades en sus enunciados o, simplemente, están mal formulados, lo cual, por sí solo, ya representa un obstáculo para la resolución coherente; lo cual, para Moreira y Costa [24], dificulta el proceso de construcción de modelos mentales. Si por un lado los alumnos son carentes de subsunores, por otro, los problemas mal formulados y/o ambiguos tampoco les ayudan en la dirección de la evolución conceptual. Sin embargo, en el caso de problemas-tipo bien formulados, se puede pensar en la posibilidad de que auxilien en la identificación de lo que el aprendiz ya sabe, para que, según Ausubel, se le pueda enseñar de acuerdo con esos conocimientos previos [56].

Cuando se admite el profesor como un especialista en la resolución de problemas, se supone que es capaz de notar detalles que pasan desapercibidos para los novatos (en ese caso, los alumnos), por tanto, es posible que contorne las ambigüedades y que éstas pasen inadvertidas. Sin embargo, debido a la incapacidad de los novatos para entender los enunciados ambiguos o mal formulados, evidenciada por el fracaso en encontrar una solución apropiada, es de responsabilidad del profesor, al detectar esos obstáculos, tratar de encontrar estrategias que faciliten la resolución de problemas en la búsqueda del aprendizaje significativo. Si el profesor considera fundamental trabajar con problemas-tipo, entonces debe reformularlos, eliminando indeterminaciones y ambigüedades, para facilitar su interpretación.

Durante el semestre investigado, algunos alumnos mencionaron dificultad en buscar informaciones en libros de texto debido a que no dominan el lenguaje técnico. Costa y Moreira [9] ya habían afirmado que los libros de texto normalmente no consiguen sanar las dudas de los alumnos, por tanto, es necesario que el profesor busque alternativas para auxiliarlos en la comprensión de los conceptos, a través de una planificación de su acción pedagógica de modo comprometido con la formación científica de los alumnos, como destacan Escudero y Flores [2].

El proceso de conceptualización, según Vergnaud, tiene lugar a través del creciente dominio del campo conceptual, que es un proceso lento y gradual, lleno de rupturas y continuidades [52]. La detección de las dificultades, tanto de orden conceptual como procedimental, presentadas por los estudiantes que integraron esa investigación, posibilitó una reflexión a respecto de los problemas-tipo sugeridos en los

libros de texto (los cuales carecen de reformulación, caso continúen integrando el currículo de la asignatura). Fueron raros los problemas propuestos a los alumnos que obtuvieron una solución. La gran mayoría de las veces, los alumnos tuvieron algún tipo de dificultad que les impidió llegar a una respuesta, siendo necesaria la constante intervención de la profesora en el sentido de auxiliarlos a representar enunciados y comprender conceptos.

Costa y Santiago [3] creen que la comprensión del movimiento no termina cuando se llega a un resultado cuantitativo de la estructura, pero comienza en ese momento, por lo que el analista no puede simplemente ejecutar medidas sofisticadas para describir los movimientos debido a que esas medidas son insuficientes para comprenderlos a la luz de los conceptos y principios biomecánicos. Los autores también defienden la necesidad de que los estudiantes adquieran los conocimientos previos de Física y matemáticas a fin de no representaren un obstáculo a la comprensión de los principios de la Biomecánica.

Corrêa [4] propone una metodología de enseñanza basada en el análisis cualitativo del movimiento<sup>1</sup>. El proceso comienza con la elección de un movimiento que debe ser analizado por los alumnos (en grupos). Son producidos videos de esos movimientos en dos situaciones: consistente con los patrones esperados y con errores de ejecución. Más tarde, los estudiantes analizan los videos y presentan los resultados en seminarios. Se enfatiza la aplicación práctica de conceptos, aunque las fórmulas de los principios pertinentes sean presentadas y discutidas. Esta autora sostiene que la estrategia ha dado resultados positivos, incluso en los estudiantes que inicialmente fueron resistentes a la propuesta. Aunque la asignatura exija un gran esfuerzo para obtener grado de aprobación, los alumnos dijeron sentirse victoriosos por consiguieren realizar una aplicación práctica.

Resolución de problemas es un tema muy investigado en enseñanza de la Física. Sin embargo, la resolución de problemas de Física aplicados en otro campo de conocimientos no es lo mismo. En ese sentido creemos que este trabajo puede ser una contribución a la investigación en resolución de problemas.

Se destaca, a modo de conclusión, la necesidad de buscar otras estrategias de enseñanza que faciliten la conceptualización, de manera que sea posible sanar las dificultades de los aprendices, favoreciendo el aprendizaje significativo de la Biomecánica. La sugerencia de Corrêa [4] resulta interesante si el docente involucrado interviene con preguntas que orienten a los estudiantes a establecer posibles correspondencias entre el movimiento del músculo de un atleta, por ejemplo, y un esquema que muestre las fuerzas que actúan en ese caso. De manera análoga, interviniendo durante la lectura del enunciado de un problema, podría contribuir con preguntas especialmente diseñadas para una mejor comprensión de los enunciados. Otra posible alternativa sería aumentar y/o variar la presentación de situaciones, tanto teóricas como prácticas, que contemplen los conceptos de interés en el dominio del

campo conceptual de la Biomecánica desde la perspectiva de la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud. De esa manera, los futuros profesores de Educación Física finalmente podrán incorporar esos conocimientos (tan importantes) en el cotidiano de su práctica profesional.

## REFERENCIAS

- [1] Nozaki, H. T., *Biomecânica e Educação Física*. In: Faria Jr., A.G.; Cunha Jr., C.F.F.; Nozaki, H.T.; Rocha Jr., C. P. *Uma introdução à Educação Física* (Corpus, Niterói, 1999).
- [2] Escudero, C.; Flores, S.G., *Resolución de problemas en nivel medio: un cambio cognitivo y social*, *Investigações em Ensino de Ciências* **1**, 155-175 (1996).
- [3] Costa, P. H. L., Santiago, P. R. P., *Fundamentos de Biomecânica: uma experiência de ensino na licenciatura em Educação Física*, *Revista Mackenzie de Educação Física e Esporte* **6**, 121-131 (2007).
- [4] Corrêa, S. C., *Biomecânica na graduação: resultados da aplicação prática dos princípios mínimos*, *Revista Mackenzie de Educação Física e Esporte* **6**, 171-177 (2007).
- [5] Guisasola Arazanbal, J., Garete, M. C., García, J. M. A., Zubimendi Herranz, J. L., La enseñanza de problemas-tipo en el primer curso de Ingeniería y el aprendizaje significativo de los conceptos y principios fundamentales de la Física, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **19**, 7-28 (2002).
- [6] Husén, T., Research paradigms in education. In: Keves, J.P. *Educational research methodology and measurement: an international handbook* (Pergamon Press, Oregon, 1988).
- [7] Toigo, A. M., Moreira, M. A., Costa, S. S. C., *Revisão de literatura sobre o estado da arte na resolução de problemas em Biomecânica*, *Actas del PIDEDEC* **10**, 3-79. (2008).
- [8] Costa, S. S. C., Moreira, M. A., *Resolução de problemas I: diferenças entre novatos e especialistas*, *Investigações em Ensino de Ciências* **1**, 176-192. (1996).
- [9] Costa, S. S. C.; Moreira, M. A., *Resolução de problemas II: propostas de metodologias didáticas*, *Investigações em Ensino de Ciências* **2**, 5-26 (1997).
- [10] Costa, S. S. C., Moreira, M. A., *Resolução de problemas III: fatores que influenciam na resolução de problemas em sala de aula*, *Investigações em Ensino de Ciências* **2**, 65-104 (1997).
- [11] Costa, S. S. C., Moreira, M. A., *Resolução de problemas IV: estratégias para a resolução de problemas*, *Investigações em Ensino de Ciências* **2**, 153-184 (1997).
- [12] Vilas-Boas, J. P., *Biomecânica hoje: enquadramento, perspectivas didáticas e facilidades laboratoriais*, *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto* **1**, 48-56 (2001).
- [13] Amadio, A. C., Serrão, J. C., *Biomecânica: trajetória e consolidação de uma asignatura acadêmica*, *Revista Paulista de Educação Física* **18**, 45-54 (2004).
- [14] Batista, L. A., *A Biomecânica em Educação Física escolar*, *Perspectivas em Educação Física Escolar* **2**, 36-49 (2001).
- [15] Strohmeyer, H.S., *Biomechanics in the post secondary population. Are we taking our best shot?*, *Journal of Physical Education, Recreation and Dance* **76**, 31-33 (2005).

<sup>1</sup> Para una descripción completa de esta metodología, ver [58].

- [16] National Association for Sport and Physical Education, *Guidelines for undergraduate Biomechanics* (Approved by the Biomechanics Academy and The National Association for Sport and Physical Education, Reston, 2003).
- [17] Knudson, D., *An integrated approach to the introductory Biomechanics course*, *The Physical Educator* **60**, 122-133 (2003).
- [18] Hamill, J., *Biomechanics curriculum: its content and relevance to movement sciences*, *Quest* **59**, 25-33 (2007).
- [19] Corrêa, S. C., Freire, E. S., *Biomecânica e Educação Física escolar: possibilidades de aproximação*, *Revista Mackenzie de Educação Física e Esporte* **3**, 107-123 (2004).
- [20] Toigo, A. M., *Ensinando Biomecânica nas séries iniciais do ensino fundamental: um relato de experiência*, *Experiências em Ensino de Ciências* **1**, 58-66 (2006).
- [21] Contreras, L. C., *La resolución de problemas, ¿una panacea metodológica?*, *Enseñanza de las Ciencias* **5**, 49-52 (1987).
- [22] Perales Palacios, F. J., *La resolución de problemas: una revisión estructurada*, *Enseñanza de las Ciencias* **11**, 170-178 (1993).
- [23] Lopes, B., Costa, N., *Modelo de enseñanza-aprendizaje en la resolución de problemas: fundamentación, presentación e implicaciones educativas*, *Enseñanza de las Ciencias* **14**, 45-61 (1996).
- [24] Moreira, M. A., Costa, S. S. C., *Pesquisa em resolução de problemas em Física: uma visão contemporânea*, *Actas del PIDECE* **1**, 39-66. (1999).
- [25] Vásquez, S., Bustos, P., Núñez, G.; Mazzitelli, C., <<http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen3/Numero1/Art4.pdf>>. Consultado en 07 de febrero de 2008.
- [26] Garret, R. M., *Resolución de problemas y creatividad: implicaciones para el currículo de ciencias*, *Enseñanza de las Ciencias* **6**, 224-230 (1988).
- [27] Pomés Ruiz, J., *La metodología de resolución de problemas y el desarrollo cognitivo: un punto de vista postpiagetiano*, *Enseñanza de las Ciencias* **9**, 78-82 (1991).
- [28] Pozo, J.I.; Pérez Echeverría, M.P.; Domínguez Castillo, J.; Gómez Crespo, M.A.; Postigo Angón, Y., *La solución de problemas* (Santillana, Madrid, 1994).
- [29] Tsapralis, G., Angelopoulos, V., *A model of problem solving: its operation, validity, and usefulness in the case of Organic-Synthesis Problems*, *Science Education* **84**, 229-253 (2000).
- [30] Roselli, R. J., Brophy, S. P., *Movement from a taxonomy-driven strategy of instruction to a challenge-driven strategy in teaching introductory biomechanics*, *Proceedings of the 2001 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*. (2001).
- [31] Roselli, R. J., Brophy, S. P., *Effectiveness of challenge-based instruction in biomechanics*, *Journal of Engineering Education* **95**, 311-324 (2006).
- [32] Duncan, M., Lyons, M., AL-Nakeeb, Y., "You have to do it rather than being in a class and just listening." *The impact of problem-based learning on the student experience in sports and exercise biomechanics*, *Journal of Hospitality, Leisure, Sport & Tourism Education* **6**, 71-80 (2007).
- [33] Sternberg, R. J., *Psicología cognitiva* (Artmed, Porto Alegre, 2000).
- [34] Hall, S. J., *Biomecânica básica* (Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 2000).
- [35] McGinnis, P. M., *Biomecânica do esporte e exercício* (Artmed, Porto Alegre, 2002).
- [36] Oñorbe De Torre, A., Sánchez Jiménez, J. M., *Dificultades en la enseñanza-aprendizaje de los problemas de Física y Química. II. Opiniones del profesor*, *Enseñanza de las Ciencias* **14**, 251-260 (1996).
- [37] Pimentel, J. R., *Livros didáticos de ciências: a Física e alguns problemas*, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **15**, 308-318 (1998).
- [38] Johnson-Laird, P., *Mental models* (Harvard University Press, Cambridge, 1983).
- [39] Solaz-Portolés, J. J., Sanjosé-López, V., Vidal-Abarca, E., *Influencia del conocimiento previo y de la estructura conceptual de los estudiantes de BUP en la resolución de problemas*, *Revista de Enseñanza de la Física* **8**, 21-28 (1995).
- [40] Solaz-Portolés, J. J., Sanjosé-López, V., *Resolución de problemas, modelos mentales e instrucción*, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* **6**, 70-89 (2007).
- [41] Moreira, M. A., *Aprendizagem significativa crítica* (Ed. do Autor, Porto Alegre, 2005).
- [42] Carcavilla Castro, A., Escudero Escorza, T., *Los conceptos en la resolución de problemas de Física "bien estructurados": aspectos identificativos y aspectos formales*, *Enseñanza de las Ciencias* **22**, 213-228 (2004).
- [43] Kempa, R. F., *Students' learning difficulties in science. Causes and possible remedies*, *Enseñanza de las Ciencias* **9**, 119-128 (1991).
- [44] Coleoni, E. A., Gangoso, Z. A., Hamity, V. H., *Novatos exitosos: un análisis de resoluciones de un problema de olimpiada de Física*, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* **6**, 457-470 (2007).
- [45] Boufaoude, S., Salloum, S., Abd-El-Khalick, F., *Relationships between selective cognitive variables and students' ability to solve chemistry problems*, *International Journal of Science Education* **26**, 63-84 (2004).
- [46] Costa, S. S. C., Moreira, M. A., *A resolução de problemas como um tipo especial de aprendizagem significativa*, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **18**, 278-297 (2001).
- [47] Moreira, M. A., *Teorias de aprendizagem*, (E.P.U., São Paulo, 1999).
- [48] Moreira, M. A., Greca, I. M., Palmero, M. L. R., *Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza de las ciencias*, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* **2**, 36-56 (2002).
- [49] Oñorbe De Torre, A., Sánchez Jiménez, J. M., *Dificultades en la enseñanza-aprendizaje de los problemas de Física y Química. I. Opiniones del alumno*, *Enseñanza de las Ciencias* **14**, 165-170 (1996).
- [50] Peduzzi, L. O. Q., *Sobre a resolução de problemas no ensino da Física*, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **14**, 229-253 (1997).
- [51] Peduzzi, L. O. Q., *Solução de problemas e conceitos intuitivos*, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **4**, 17-24 (1987).

[52] Moreira, M. A., *A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a investigação nessa área*, (Edição do Autor, Porto Alegre, 2004).

[53] Gangoso, Z., *Investigaciones en resolución de problemas en ciencias*, *Investigações em Ensino de Ciências* **4**, 7-50 (1999)

[54] Gangoso, Z., *Resolución de problemas en Física y aprendizaje significativo. Primera parte: revisión de estudios y fundamentos*, *Revista de Enseñanza de la Física* **12**, 5-21 (1999).

[55] Moreira, M. A., *Aprendizagem significativa* (Editora da UnB, Brasília, 1999).

[56] Moreira, M. A., *Aprendizaje significativo: teoría y práctica* (Visor, Madrid, 2000).

[57] Greca, I. M., Moreira, M. A., *Do saber fazer ao saber dizer: uma análise do papel da resolução de problemas na aprendizagem conceitual de Física*, *Ensaio. Pesquisa em Educação em Ciências* **5**, 1-16 (2003).

[58] Knudson, D., Morrisson, C. S., *Análise qualitativa do movimento humano* (Manole, São Paulo, 2001).