

Un estudio sobre situaciones problemáticas como herramientas de aprendizaje significativo en Física

Consuelo Escudero^{1,2}, Eduardo A. Jaime¹ y Sonia B. González³

¹*Departamento de Física. Facultad de Ingeniería. UNSJ. Argentina.*

²*Departamento de Biología. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. U.N.S.J. Argentina.*

³*Departamento de Física y Química. Facultad de Filosofía Humanidades y Artes. UNSJ. Argentina.*

Fecha de recepción del manuscrito: 15/03/2017

Fecha de aceptación del manuscrito: 10/07/2017

Fecha de publicación: 15/09/2017

Resumen—En los cursos de Cálculo diferencial y Física se estudian conceptos de manera inicial vinculados tales como: función, derivada de una función, velocidad y aceleración, etc. El tratamiento primordial incorpora fórmulas de diferenciación cuya presentación, a veces poco contextualizada, no favorece una comprensión profunda de los mismos. En este trabajo se presentan los resultados de una investigación sobre concepciones y competencias específicas en estudiantes universitarios de primer curso en Física en carreras de ingeniería de la UNSJ, necesarias para abordar principalmente la temática de las relaciones entre energía e interacción.

En el análisis del aula se tuvieron en cuenta los principios del Aprendizaje Significativo en su versión humanista, y la Teoría de los Campos Conceptuales elaborada por Gerard Vergnaud.

A partir de esta mirada podemos decir que resurgen las cuestiones referidas a la conceptualización de las magnitudes y se da pie a reflexionar fundamentalmente, acerca de la enseñanza de las nociones de variación y función de variación como notables aspectos a considerar en la resolución de situaciones problemáticas, además de conceptos específicos como la energía potencial y la deformación.

Palabras clave—Aprendizaje Significativo, Campos conceptuales, Variación, Función, Energía potencial, Deformación.

Abstract—In Differential Calculus and Physics courses various concepts are analyzed such as: function, function derivatives, speed, acceleration, among others. The basic approach includes differentiation formulas, whose presentation generally lack sufficient context, hence hindering deep understanding of these concepts. This paper presents the results of a research Project focusing on the necessary concepts and specific competences related to the interrelation between energy and interaction that university students should have when attending their first Physics course of the Engineering undergraduate programs at the National University of San Juan, Argentina.

For classroom analysis, Significant Learning principles have been applied from the humanistic perspective, as well as the Theory of Conceptual Fields developed by Gerard Vergnaud.

From this perspective, it can be stated that magnitude conceptualizations arise once more, and this brings about reflection upon the teaching of the notions of variation and variation function, as key concepts to be considered in the resolution of problematic situations, as well as specific concepts such as potential energy and deformation.

Keywords—Meaningfull Learning, Conceptual Fields, Variation, Function, Potential Energy, Deformation.

INTRODUCCIÓN

La enseñanza en los cursos de Cálculo diferencial y de Física – tanto de secundario avanzado como de universitario básico – implica la introducción de conceptos muy vinculados entre sí, tales como: función, derivada de una función, velocidad y aceleración, etc. El tratamiento primordial incorpora fórmulas de diferenciación cuya presentación, a veces poco contextualizada, no favorece una comprensión profunda de los mismos. En esta dirección numerosas investigaciones han reportado que el estudiante que aprende tiene cierta disposición que lo ayuda con los procesos algorítmicos, pero sin embargo al analizar

los procesos, se revelan algunos desaciertos desde el punto de vista conceptual.

Esta investigación tiene dos propósitos: (a) describir y reflexionar sobre la complejidad progresiva, a largo y mediano plazo, de las concepciones y competencias en física y en matemática que los estudiantes desarrollan dentro y fuera de las instituciones educativas y que son necesarias para abordar la temática de las relaciones entre la energía y la interacción. (b) Establecer mejores vínculos entre las acciones sobre el conocimiento en el mundo físico y social y las expresiones lingüísticas y simbólicas de ese conocimiento e investigar si se manifiestan cambios significativos respecto de las primeras ideas.

En un análisis realizado hace algunos años (Escudero, 2005) se aportaban fuertes y claras evidencias de que el movimiento no se constituía en un primitivo conceptual sobre el cual articular y generar la construcción de

Dirección de contacto:

Consuelo Escudero, Av. Ignacio de la Roza y Meglioli, 5400. Rivadavia. San Juan, Tel: 0264 4234129, cescudero@unsj-cuim.edu.ar.

estructuras de pensamiento en el área. Estos estudios no sólo han otorgado cimientos más sólidos a la enseñanza de las ciencias (específicamente de la Física), sino que han puesto de relieve debilidades comunes de una resolución tradicional de problemas frecuentemente utilizada en cursos introductorios.

La entrada al aprendizaje en Física de las relaciones entre aspectos energéticos y de interacción requiere el uso de nociones que permitan que el estudiante pueda iniciarse en el uso de nuevos conceptos y de formas de representación a las que mayoritariamente no está habituado. Las leyes de conservación se caracterizan por el uso de la noción de interacción en un sentido amplio, así como también la de sistema, estado, conservación, entre otras, sin dejar de tener en cuenta el sustento teórico previo que se precisa para entender las anteriores ideas.

Dos de las nociones a las que se hace referencia en sus bases son variación y función de variación, relacionadas con ideas como valor absoluto y valor relativo, medida y posición.

Son conceptos trabajados durante la formación escolar, en los que no se explicita las circunstancias en las que se trata de variaciones y/o de función variación de variación, sobre todo en lo que esto significa desde una perspectiva física. De manera que esta diferenciación se transforma en un contenido a tener en cuenta como carencia en los conocimientos previos, sin olvidar que, como todo concepto, forma parte de un campo conceptual.

La energía, por su parte, es una de las más grandes metáforas de la física y como otros aspectos en las ciencias, ha estado permanentemente “en construcción”. Es expresable como suma de dos variables llamadas energía cinética y energía potencial, cuya única particularidad reseñable es que se conserva a lo largo de la evolución de un sistema aislado. Las posiciones y velocidades de las partículas que lo componen variarán de acuerdo con las fuerzas en presencia, pero la combinación de posiciones y velocidades que define la energía tendrá un valor constante. La conservación de la energía es un principio determinante en el comportamiento de cualquier sistema físico.

En la literatura se han reportado una serie de dificultades con el reconocimiento como tal de la interpretación de las interacciones en relación con los aspectos energéticos asociados (Bagno *et al.*, 2000; Escudero, 2001; Martín y Solves, 2001; Escudero y Jaime 2003, 2007, 2009), con la desvalorización de las condiciones de contorno (Costa y Moreira, 2001, 2002; Escudero y Jaime, 2002; Escudero *et al.*, 2005), con el cambio de modelo conceptual implicado (Dhillon, 1998; Escudero y Jaime, 2003, 2009; Escudero, 2009), la estructura y contexto del enunciado, la captura de la estructura del problema y el uso de analogías (Solaz-Portolés y Caballer, 2015), la reducción de dos propiedades invariables al balance de una (Escudero, 2009), desarrollo del pensamiento físico en interacción con el matemático (Escudero y Jaime, 2011), desarrollo del pensamiento variacional (Escudero *et al.*, 2014), entre otros. A lo que se suma un fenómeno didáctico que se ha dado en llamar “la desmatematización de las propuestas de enseñanza de la Física en la enseñanza secundaria” (Barbe *et al.*, 2017).

Así los primeros problemas generalmente seleccionados (o un grupo de ellos) pueden ser resueltos por procedimientos y representaciones conceptuales que no implican más que lo que podríamos denominar concepción “longitudinal” o “unidimensional” de la energía potencial como función de la posición en relación a un nivel de referencia. Es decir, una concepción en la cual las energías potenciales, por un lado, son consideradas en sí mismas y no en relación con otras magnitudes físicas, tales como, fuerza conservativa, desplazamiento, energía cinética, energía mecánica; y por otro (y sobre todo), no es vista como función variación de una variación.

Si además se acompaña con una concepción de la conservación de la energía mecánica reduccionista en que simplemente se trata de una “compensación” o “balance”, se acarrearán enormes consecuencias en la pérdida de posibilidades de conceptualización. Es decir, se pierde el sentido. Ambas variaciones, cinética y potencial, tienen un signo, precisamente porque tiene significado físico su variación.

Así cuando se trascienden estos pensamientos, el sistema conceptual se amplía notablemente. Sería interesante disturbar las propuestas didácticas para transformarlas en actitudes favorables que movilicen la buena enseñanza.

En este trabajo, se retoman resultados nuestros obtenidos en otras investigaciones referidas a representaciones mentales y modos de razonamiento que activan estudiantes universitarios de los primeros años de carreras de ingeniería y de ciencias biológicas y geológicas procedentes de un sistema educativo de rasgos heterogéneos y frágiles. Cada una de estas funciones implica la activación de subdominios de conocimientos previamente afianzados y se orientan particularmente sobre el aprendizaje, el contenido específico y el uso del lenguaje simbólico. A medida que se avanza en la investigación en resolución de problemas se pone más en evidencia la importancia de este aspecto en la formación significativa de conceptos científicos.

Un interrogante que aparece al revisar las respuestas de algunas situaciones problemáticas propuestas, es ¿cuáles pueden ser indicios de que hay una conceptualización significativa? O dicho de otro modo, ¿cuándo podemos decir que “lo nuevo” se integró a una estructura conceptual?

Se analiza principalmente una situación problemática propuesta en una evaluación de un curso de Física I. También se muestran los resultados de la intervención didáctica ajustada al contexto del trabajo en el aula, con resultados específicos de esta investigación, en la que se pueden distinguir dos etapas.

Dentro de un campo conceptual no todos los conceptos tienen el mismo nivel de importancia. Algunos de ellos son estructurantes, los llamamos conceptos marcadores (González, 2015). Y esto se debe al tipo de función que cumplen dentro del campo: otorgan elementos para conformar un perfil diferente en el nuevo espacio y a menudo funcionan como vectores de significado entre un campo y otro. Particularmente, para la enseñanza universitaria introductoria de Física I, el de variación es un concepto fundamental, con propiedades que hacen factible la posibilidad de avanzar su construcción conceptual en este nivel, inevitable para una formación científica con vínculos

más comprometidos dentro del contexto social del siglo XXI.

MARCO TEÓRICO

La teoría cognitiva del aprendizaje verbal significativo se basa en la proposición de que la adquisición y la retención de conocimientos son el producto de un proceso activo integrador e interactivo entre el material de instrucción (la materia) y las ideas pertinentes en la estructura cognitiva del estudiante con la que las nuevas ideas se pueden enlazar de manera particular.

Según Ausubel (1983, 2002) la naturaleza del aprendizaje significativo es, en parte, responsable de un almacenamiento de información fuertemente organizado en la mente, formando una especie de jerarquía conceptual. Es decir, que este constructo conlleva a una dinámica cognitiva que se explica a través de procesos tales como la asimilación, la diferenciación progresiva, la reconciliación integradora y la obliteración que facilitarían la transferencia.

Es importante reconocer que en el aprendizaje significativo no se quiere decir que una nueva información forma, simplemente, una especie de enlace con elementos preexistentes en la estructura cognitiva. Al contrario, es solamente en el aprendizaje mecánico en el que un enlace, arbitrario y no sustantivo, se produce con la estructura cognitiva preexistente. En el aprendizaje significativo, el proceso de adquisición de información resulta de un cambio, tanto de la nueva información adquirida como del aspecto específicamente relevante de la estructura cognitiva con la cual está relacionada.

Los conceptos constituyen un aspecto importante de la teoría de la asimilación¹ porque la comprensión y la resolución significativa de problemas dependen en gran medida de la disponibilidad –en la estructura cognitiva del estudiante– de conceptos de orden superior (en la adquisición subsumidora de conceptos) y de conceptos subordinados (en la adquisición de conceptos de orden superior) (Ausubel, 2002:27).

Es decir, aprender significativamente permitiría resolver nuevas situaciones problemáticas a partir del enriquecimiento alcanzado en la estructura cognitiva del resolutor dando significado al sistema modelado; mientras enseñar significativamente posibilitaría el establecimiento de relaciones entre elementos del mundo representado y del mundo representante² facilitando el anclaje de nuevas

informaciones a la estructura cognitiva a través del discurso oral y escrito.

Una mejor comprensión de los requerimientos psicológicos para la solución de problemas puede alertar sobre las necesidades instruccionales de los estudiantes; así como, resultar de interés para la toma de decisiones acerca de cuáles son las instancias en las que una intervención didáctica puede redundar en un mayor beneficio y cuáles deberían ser las características de dicha intervención (Escudero, 2001).

Uno de los referentes más activos de esta teoría es Josep Novak, quien le ha otorgado una nueva configuración al integrarla con una visión humanista que contempla a la persona como un ser que **piensa**, tiene **sentimientos** y **actúa**, y desde esa totalidad construye los significados. Además, fundamentada epistemológicamente en gran parte por Bob Gowin (1990), los principios de la teoría se renuevan permitiendo ampliar las herramientas para explorar el campo y extender el uso a casos complejos, difíciles de abordar desde una perspectiva tradicional:

- *“El conocimiento no es un hecho absoluto e inmutable, es un proceso en construcción que involucra visiones, conceptos, modelos, teorías y metodologías con los que el sujeto enfrenta el mundo, pero donde ni el sujeto ni el objeto de conocimiento tienen una hegemonía epistemológica” (Gowin, 1990:53).*
- *“Todo ser humano es un captador de significados” (Gowin, 1990:79).*
- *“La estructura compleja de cada ser humano tiene una importancia decisiva en la construcción de su propio conocimiento” (Gowin, 1990:98).*
- *“El ser humano es transdimensional” (Gowin, 1990:143).*
- *“La educación deberá tener como objetivo la construcción de significados compartidos por los educandos” (Gowin, 1990:125).*

La adquisición de grandes corpus de conocimiento – como precisa la resolución de situaciones problemáticas en ciencias – es solo posible merced a la presencia de aprendizaje significativo. Es decir, de núcleos conceptuales firmes y a la vez flexibles frente a nuevas argumentaciones.

La resolución de problemas es considerada por Ausubel, la principal evidencia de aprendizaje significativo. Toda resolución genuina de situaciones problemáticas implica la revisión de ideas previas del aprendiz (“subsumosores”) en su estructura cognitiva y una negociación de significados consensuados científicamente. En esa instancia, la revisión de concepciones o ideas al enfrentarse a una situación problemática nueva o parcialmente nueva genera condiciones favorables para promoverlo. Se trata, por tanto, de la posibilidad de establecer relaciones entre conceptos que pueden pertenecer a campos de conocimientos distintos, todo en el marco de los procesos de enseñanza y de aprendizaje a los que está sujeto un individuo.

Este punto de vista nos conduce a poner atención en cada una de las acciones que realiza el estudiante, ya que algunas de ellas son el resultado de nuevas combinaciones de lenguajes.

¹ La asimilación es el resultado de la integración que se lleva a cabo en el aprendizaje significativo, entre el nuevo material que se va a aprender y la estructura cognitiva existente, se puede decir, que inmediatamente después, comienza un segundo estadio de asimilación: *asimilación obliteradora* donde la memoria se reduce al menor denominador común. Siendo, el olvido una continuación temporal del mismo proceso que facilita el aprendizaje y la retención de nuevas informaciones.

² Si recordamos que alguna cosa –notación, signo, símbolo– es una representación (externa) en la medida que existe *un proceso* que pueda ser usado para interpretar esa representación (Markman, 1999), sin el cual, los otros tres elementos –*mundo representado, mundo representante y reglas de representación*– crean un potencial para la representación, pero no una representación en sí.

La Teoría de los Campos Conceptuales formulada por Gerard Vergnaud no solo extiende y complementa los estudios de Piaget acerca de la generación y crecimiento de estructuras que desarrollan las personas y que les otorga la capacidad de aprender, sino que se constituye en un nuevo paradigma de alto contenido educativo al integrarla con la iluminada perspectiva de Vigotsky:

(...) “Eso se percibe, por ejemplo, en la importancia atribuida a la interacción social, al lenguaje y a la simbolización en el progresivo dominio de un campo conceptual por los alumnos. Para el profesor, la tarea más difícil es la de proveer oportunidades a los alumnos para que desarrollen sus esquemas en la zona de desarrollo próximo” (Citado por Moreira, 2004:42).

Así como es clave el concepto de esquema en Piaget, en la Teoría de los Campos Conceptuales es central la definición de **campo conceptual** y el enfoque analítico que ofrece acerca de qué es un **concepto**:

“Un campo conceptual se define como un conjunto de situaciones cuyo dominio requiere, a su vez, el manejo eficaz de varios conceptos de naturaleza distinta” (Vergnaud, 1988:141).

“Una aproximación psicológica y didáctica de la formación de conceptos matemáticos conduce a considerar un concepto como un conjunto de invariantes utilizables en la acción” (Vergnaud, 1990:155).

Según Vergnaud (1994) es infructuoso intentar reducir la complejidad conceptual, progresivamente dominada por niños y jóvenes a algún tipo de complejidad lógica general y en cambio es muy eficiente integrar los contenidos.

Bajo este referencial un concepto no puede reducirse a su definición, principalmente si nos interesamos por su aprendizaje y su enseñanza. Es a través de las situaciones y de los problemas a resolver que adquiere sentido para un estudiante. La idea es que los conceptos adquieren sentido por y para las situaciones y, por tanto se desarrollan a través de la resolución de problemas. Esto deja claro el papel de la resolución de problemas en el ámbito del proceso de conceptualización (Moreira, 2004) y el papel del profesor y del lenguaje.

“Los conceptos adquieren sentido por y para las situaciones problemáticas, es la capacidad de operatividad que generan” (Escudero y Jaime, 2013:143).

Entre los individuos lo que se desarrolla son formas de organización de la actividad. El problema de la enseñanza suele ser en gran parte el de llevar al aprendiz a desarrollar sus competencias. Por tanto, para desarrollar dicha noción Vergnaud ha utilizado el concepto de esquema:

“Llamamos esquema a la organización invariante de actuación para una clase de situación dada. Es en los esquemas que se deben investigar los conocimientos-en-acción del sujeto, es decir, los elementos cognitivos que hacen que la acción sea operatoria” (Vergnaud, 1993:2).

Una cuestión a la que frecuentemente se hace referencia en la Teoría de los Campos Conceptuales, es a la necesidad de plantear situaciones a fin de permitir poner en acción sus esquemas porque siempre la evaluación será enriquecedora. Si pudo resolver correctamente, es una prueba de que se está recorriendo adecuadamente un camino. Y si no pudo

resolver, otorga la posibilidad de explicitar los aspectos en los que se hace necesario continuar trabajando.

“Al resolver un problema un estudiante no necesariamente <comprende> en sentido estricto, puede actuar con esquemas o algoritmos automatizados (y no advertir el error o el éxito). Pero depende de lo que imponga o sugiera el problema en un dado nivel educativo. Lo que nos lleva en cierto modo a situaciones parcialmente nuevas, donde un tipo son las integrativas. Lo mismo podría decirse de las preguntas conocidas como conceptuales. La respuesta puede ser <memorizada> y también va a ser susceptible de depender de lo que demande: una respuesta de tipo reproductiva es distinta de una explicativa o de una argumentativa” (Escudero, 2005:167).

Cada vez que se procura enfocar los análisis con los elementos que nos proveen las teorías brevemente descritas, nuevas posibilidades se van abriendo hacia un conocimiento más profundo acerca de las acciones que realizan los estudiantes a medida que se desarrollan los procesos cognitivos.

MARCO METODOLÓGICO

Este estudio se desprende de un trabajo de investigación cuyos objetivos se relacionan con la búsqueda de invariantes operatorios que forman parte de los esquemas construidos por los estudiantes a lo largo de su formación escolar y son de interés para el aprendizaje de tópicos de física clásica de relativo nivel de abstracción.

La intervención se ha llevado a cabo en dos aulas de Física I de la Facultad de Ingeniería de la UNSJ, con un número de setenta alumnos, en dos etapas: en la primera se exploraron algunas de las posibles dificultades que tuvieron los estudiantes para iniciarse en el estudio de específicos modelos físicos; en la segunda se investigó si se manifiestan cambios significativos respecto de las primeras ideas. En una y otra se emplearon guías con variadas situaciones problemáticas manteniendo el eje conceptual. En ambas fases los docentes-investigadores desplegaron los contenidos referidos a dinámica rotacional cumpliendo, a su vez, el papel de observadores participantes.

Después de aplicada la propuesta 2005 se examinaron las resoluciones escritas de 29 estudiantes y se realizaron las primeras reflexiones que fueron consignadas en una comunicación parcial (Jaime et al., 2006). A partir de dicho estudio preliminar los logros y dificultades, identificados permitieron el diseño de una nueva propuesta áulica que los tuviera en cuenta en un corto y mediano plazo. La misma fue registrada y documentada en un grupo equivalente de estudiantes perteneciente a la cohorte 2010.

Los criterios de equivalencia (o similitud) para los cursos son los que se describen a continuación: proporción de alumnos recursantes, establecimientos educativos de origen en nivel medio, edades, grupo de docentes universitarios, examen de ingreso.

Se hace notar que cuando se trabajó en clase teórico-práctica en el curso 2010 se hizo hincapié en apuntar a la conceptualización de deformación y longitud libre en forma integral; es decir, desde la geometría analítica con conceptos como los de valor absoluto y relativo. Esto

contribuiría, bajo hipótesis, en el mejoramiento del aprendizaje de los conceptos de energía potencial y energía cinética como variación y función de variación.

Como en todo estudio que involucra la actividad de personas que interactúan, se tendrán en cuenta los lineamientos generales de las investigaciones que implican prácticas sociales.

Este trabajo se enmarca bajo las denominadas investigaciones interpretativas, donde se utilizan como criterio básico de validez los significados locales de las acciones desde el punto de vista de los actores. En las investigaciones educativas, en particular las psicogenéticas, el material empírico está constituido en primera instancia, por las acciones del niño (o del joven) y luego su lenguaje. El objetivo de la investigación es hallar y analizar el tipo de organización que presentan tales acciones y los esquemas subyacentes.

Se analiza en profundidad, principalmente, la resolución escrita de un problema de dinámica del cuerpo rígido, en ocasión de la tercera evaluación parcial³.

La intervención didáctica en ambos grupos destaca –en líneas generales– la instrucción en métodos de resolución fundamentados en su marco teórico. Los dos grupos puede decirse que conforman desde un punto de vista conceptual un estudio longitudinal. El primero ha servido de base para capturar el núcleo de las dificultades en la temática, observadas año tras año y no documentadas, ni analizadas en profundidad.

“Analizar protocolos verbales derivados de la práctica educativa es una tarea que requiere mucho más que reunir lo que se ha dicho en un conjunto de elementos codificables. Es, fundamentalmente, la construcción de procesos inferenciales que permitan completar lo que se ha hecho explícito con aquello que parecería estar rondando (o relevando) en el ámbito que acontece el discurso. Y todo esto, claro está, a la luz de unos determinados referentes teóricos con los que se están mirando esos protocolos. La tarea del analista es la de re-significar eso que ha sido enunciado” (Escudero y Stipcich, 2008:81).

Afirmarse en una postura cualitativa significa, además de posicionarse en una actitud interpretativa, basarse en datos contextualizados, sensibles al ámbito en que se producen y también comprometerse con una mirada que advierta los detalles. Acordamos con la importancia que se le otorga al significado y a la interpretación, al contexto, al comportamiento humano en toda su complejidad y al alcance asignado al estudio del lenguaje de los actores, a sus prácticas, a sus diferentes conocimientos, a sus distintos puntos de vista.

La propuesta principal consistió en desplegar desde el inicio un esquema en el que se expuso el modelo de cuerpo rígido como el resultado de fundamentales contribuciones desde la física newtoniana y las consideraciones energéticas asociadas. A partir de estos dos nodos conceptuales se

discriminaron los aportes más significativos, de los que ya habían estudiado movimiento de traslación, masa, fuerza, momentum lineal, energía cinética, energía potencial, y una introducción a las nociones que tienen un vínculo directo con el tema central abordado: movimiento rotacional, cuerpo rígido, torca o momento de una fuerza, inercia rotacional, momentum angular, deformación, elementos de cuerpo deformable.

Por otro lado cabe destacar que continuamos poniendo énfasis en las investigaciones localizadas en el aula, donde consideramos que se encuentra la esencia de nuestras búsquedas.

“Estudiar las estructuras de intercambio en el aula y en la resolución individual de problemas en situación de evaluación ha permitido recoger lo que creemos son algunas invariantes operatorias en un campo conceptual, a través de la profundización en la comprensión de las situaciones y de las dificultades conceptuales encontradas por los estudiantes al resolver. (...) Es en esa perspectiva de complejidad, progresividad y continuidad/ruptura que se considera que deben ser encarados aprendizaje y enseñanza de ciertas áreas de la Física” (Escudero, 2005:211).

En el marco descripto se diseñó un trabajo práctico y la evaluación del tema, cuyas respuestas (sobre todo de ésta última) constituyen parte del corpus principal del estudio.

En la mecánica clásica habitualmente se analiza el movimiento de objetos sólidos bajo la hipótesis implícita de que no cambian de forma ni de tamaño. Sin embargo, los objetos construidos por materiales siempre pueden deformarse, al menos ligeramente, e incluso pueden romperse con la aplicación de fuerzas; o bien, de torcas.

Con frecuencia el estudio de las propiedades elásticas se lleva a cabo en cursos de Física Básica Universitaria en carreras de Ciencias e Ingeniería. A nivel de principios teóricos, por una parte, se pueden establecer algunas relaciones entre los esfuerzos y las deformaciones que, por ejemplo, los resortes producen (ley de Hooke, módulo de Young, etc.). Y por otra, se estudia un caso fundamental de oscilador armónico, como es el de una masa m sometida a la acción de un resorte; o bien, desde la dinámica del cuerpo rígido, como es el de un cuerpo con inercia rotacional I sometido a la acción de un resorte en una situación bidimensional como la que se analiza en profundidad aquí (ver Fig. 1):

Un cilindro macizo homogéneo de 90 kg rueda sin deslizar sobre un plano horizontal y está en reposo en la posición representada en la figura. La constante del resorte es de 450 N/m y su longitud sin tensión es de 600 mm . (a) Determinar la velocidad del centro de masa cuando éste se haya desplazado 500 mm hacia la derecha. (b) ¿Cuál es el significado de la dependencia dominante entre magnitudes?

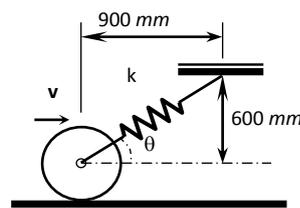


Fig. 1: Problema adaptado de un texto de Física Básica Universitaria.

³ Esta es la primera evaluación del curso en el tema cuerpo rígido y es la segunda oportunidad en que trata el método energético. La primera fue al desarrollar el movimiento de traslación.

El problema exige la elección de al menos un método de resolución acorde con los conocimientos de los estudiantes (limitados en sí mismos por la ubicación de la asignatura *Física I* en el plan de estudios en las carreras de Ingeniería) y las condiciones impuestas por el problema.

El objetivo del planteo es que los alumnos identifiquen el tipo de variación conceptual en los distintos casos, además de que ensayen alguna solución. El dibujo esquemático incluido en el enunciado ofrece pistas que deben ser capaces de advertir y tener en cuenta a la hora de resolver. Por un lado, el cilindro rueda sin deslizar a lo largo de una trayectoria rectilínea desde un “estado inicial” hasta un “estado final”. Por otro, el resorte se deforma a lo largo de la recta que une el punto fijo con el centro del cilindro. Es una situación poco convencional que permite diferenciar entre el movimiento del cuerpo y la deformación del resorte, todo en un plano vertical. Se precisa de una fuerza recuperadora y su momento que, junto con el momento de la fuerza de fricción estática, son responsables de dicho movimiento. Sin embargo, el uso prioritario de estos conceptos no resulta ser el método más sencillo de resolución que el problema permite a este nivel ni el que abordan los estudiantes por elección. Ellos, mayoritariamente, ofrecen una solución desde la perspectiva energética.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las categorías construidas tras la primera etapa, y luego cotejadas y ampliadas en la segunda, han permitido examinar las concepciones implícitas de los estudiantes, más precisamente los aspectos ignorados por ellos, u objeto de imprecisiones. La valoración de aspectos como espacio euclidiano, configuración del sistema, condiciones de contorno, cuerpo rígido, el uso de diferentes lenguajes, ha permitido diferenciar seis grandes agrupaciones (o categorías) en base a limitaciones al movimiento físico y a condiciones de borde advertidas por los estudiantes e interpretadas desde el referencial teórico asumido.

A fin de organizar el estudio en etapas, en primer lugar se realizó una clasificación muy básica de respuestas, para definir el corpus de la investigación. Así, se diferenciaron los grupos y las frecuencias de los dos ciclos lectivos analizados de la siguiente manera:

Tabla 1. Agrupamientos y frecuencias de respuestas dadas en 2005 y 2010.

Grupo	Características	Frecuencia 2005	Frecuencia 2010
0	Respuestas similares a las esperadas	0	10
1		1	5
2	Las respuestas pueden ser parcialmente correctas	15	13
3	Respuestas confusas en distinto grado	4	3
4		3	5
5		6	5
Totales		29	41

Se seleccionaron soluciones representativas de las categorías que se encontraron en el estudio completo. A

continuación se presentan las respuestas de los estudiantes, agrupadas según los criterios señalados:

Grupo 1

El papel del lenguaje y de las formas simbólicas en las soluciones ofrecidas por los alumnos caracterizados en el Grupo 1 ha permitido advertir que en particular:

- Ubican el movimiento del sistema cilindro-resorte en el espacio bidimensional.

- Reconocen la variación de longitud del resorte (discriminando entre longitud libre y deformación), así como también, la variación de energía potencial elástica. Sin embargo, “sostener” toda la información provista se ha tornado difícil. Por cierto, el dato: “500 mm hacia la derecha” se ha interpretado en forma alterna. Tras una impecable álgebra, parecen concebir la posición final midiéndola desde la posición de equilibrio, confundiendo posición y desplazamiento. Es decir, usan un sistema de referencia “privilegiado” (absoluto) desde el que miden todas las posiciones. No utilizan variación de posición. Es decir, resuelven otro tipo de problema.

- Interpretan parcialmente el discurso escrito y el esquema gráfico sobre la configuración del sistema al ejecutarse el movimiento.

- Utilizan distintos lenguajes para apoyar una solución permitiendo articular conocimientos provenientes de distintos contextos.

- Con respecto al concepto de cuerpo rígido no se han encontrado casos donde figure en forma incorrecta.

Un alumno resuelve de la siguiente forma:

Marcelo - Grupo 1

$$\begin{aligned} \text{tg } \theta &= \text{op} / \text{hip} \quad \therefore \text{tg } \theta = 600 \text{ mm} / 500 \text{ mm} \\ \theta &= 50^\circ 11' \\ \text{tg } \theta &= \text{sen } \theta / \text{cos } \theta \quad \therefore \text{tg } \theta = 600 \text{ mm} / 900 \text{ mm} = 33^\circ 41' \\ \text{sen } \theta &= \text{op} / \text{hip} \quad \therefore \text{hip} = \text{op} / \text{sen } \theta \\ \text{hip} &= 600 \text{ mm} / \text{sen } 33^\circ 41' \\ \text{hip} &= 1081,6 \text{ mm} \\ \Delta x_i &= 1081,6 \text{ mm} - 600 \text{ mm} = 481,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta E_c + \Delta E_{pc} &= 0 \\ \frac{1}{2} I \omega^2 + \frac{1}{2} K d^2 - \frac{1}{2} K d_0^2 &= 0 \\ \frac{1}{2} (I_{cm} + MR^2) \omega^2 + \frac{1}{2} K d^2 - \frac{1}{2} K d_0^2 &= 0 \\ \frac{1}{2} I_{cm} \omega^2 + \frac{1}{2} MR^2 \omega^2 + \frac{1}{2} K d^2 - \frac{1}{2} K d_0^2 &= 0 \\ \frac{1}{2} MR^2 v_{cm}^2 / R^2 + \frac{1}{2} MR^2 v_{cm}^2 / R^2 + \frac{1}{2} K d^2 - \frac{1}{2} K d_0^2 &= 0 \\ \frac{1}{4} 90 \text{ kg} \cdot v_{cm}^2 + \frac{1}{4} 90 \text{ kg} \cdot v_{cm}^2 + \frac{1}{2} 450 \text{ N/m} \cdot (0,181 \text{ m})^2 - \frac{1}{2} 450 \text{ N/m} \cdot (0,4816 \text{ m})^2 &= 0 \\ v_{cm}^2 (22,5 \text{ kg} + 45 \text{ kg}) + 7,371 \text{ J} - 52,18 \text{ J} &= 0 \\ v_{cm}^2 (22,5 \text{ kg} + 45 \text{ kg}) - 44,81 \text{ J} &= 0 \\ v_{cm} &= \sqrt{[44,81 \text{ J} / (22,5 \text{ kg} + 45 \text{ kg})]} = 0 \\ v_{cm} &= 0,82 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Fig. 2: Solución propuesta por alumno Marcelo – (Grupo 1)

La singularidad de la Fig. 2 resulta en la interpretación del desplazamiento del cilindro en la línea horizontal, para la configuración final se invierte y se toma desde la derecha. Si bien discrimina configuraciones final e inicial no así, las condiciones de borde. El proceso de modelado no se ha completado, aunque entendemos que sí el proceso de *explicitación del conocimiento* en el alumno. Con frecuencia en el ámbito educacional se sobreestima el conocimiento explícito y se subestima, o incluso se desvaloriza, el conocimiento implícito de los estudiantes. Sin embargo, gran parte de nuestra actividad física y mental, está constituida por esquemas, y éstos tienen como componentes esenciales los invariantes operatorios (conceptos y teoremas-en-acción) que constituyen los

conocimientos contenidos en los esquemas, que son profundamente implícitos. Los alumnos, en general, son incapaces de identificar y explicar sus teoremas-en-acción, a pesar de resolver correctamente ciertas tareas. Según Vergnaud (1990), el conocimiento conceptual de los distintos campos del saber es necesariamente explícito y en este proceso de explicitación del conocimiento tiene una tarea esencial el docente.

Parecen hacerse representaciones que contradicen el enunciado, sin tomar acabadamente conciencia de ello. Luego reemplazan los valores calculados:

$$x_0 = \sqrt{0,6^2 + 0,9^2} \quad \text{y} \quad x_f = \sqrt{0,5^2 + 0,6^2}$$

en la velocidad: v_{CM} ; acorde con el dibujo esquemático ofrecido.

Dichas expresiones al conectarse con la capacidad simbólica se vincularían con el álgebra. Los datos empíricos así aportan selecta evidencia acerca de la alta capacidad de operación que demanda mantener en “mente” durante el tiempo de resolución las representaciones necesarias. Se ha podido advertir que la representación provista por el enunciado no ha sido copiada y que la información se ha reconstruido en una solución plausible.

Grupo 2

- Ubican el movimiento del sistema cilindro-resorte en el espacio bidimensional.

- Hacen representaciones que contradicen el enunciado, sin tomar conciencia de ello. Además, cuesta diferenciar longitud libre del resorte y deformación del mismo. Si lo hacen, es desde un sistema absoluto. Trabajan incipientemente con una noción de variación de energía potencial⁴ elástica: cambian los límites o no tienen en cuenta el cuadrado de la deformación $E_p = \frac{1}{2}kx$. No consolidaron mecanismos internos de control de significados.

- Interpretan parcialmente el discurso escrito y el esquema gráfico sobre la configuración del sistema al ejecutarse el movimiento.

- Es escasa la utilización de distintos lenguajes para armar una solución.

- Con respecto al concepto de cuerpo rígido hay algunos casos con formas no consensuadas científicamente.

Un estudiante resuelve de la siguiente manera:

⁴ “Más que atribuir a los alumnos que suelen trabajar con proposiciones aisladas de manera arbitraria y literal, interpretamos que el “dato” dado en el enunciado, se obtiene como: “ $x = 500mm$ ” porque para ellos es “evidente” que el símbolo “ x ” representa “posición (absoluta)” en la energía potencial elástica como “ h ” representa “posición (absoluta)” en la energía potencial gravitatoria. No tienen en cuenta que se acostumbra hacer $E_p = 0$ en $x = 0$, de modo que la constante de integración $C = 0$. Esta situación problemática posibilita separar, en cada instante, la posición del cilindro y la configuración del sistema. No se miden con el mismo parámetro x (desplazamiento del extremo libre). Esta confusión fue frecuente” (Jaime et al., 2006).

Jorge - Grupo 2

1 m = 1000 mm
900 mm = 0,9 m
600 mm = 0,6 m
 $\Delta E_M = 0$
 $\Delta E_C + \Delta E_{Eg} + \Delta E_{Ee} = 0$

$\frac{1}{2} I_{CM} \omega^2 - 0 + \frac{1}{2} m v_{cm}^2 + \frac{1}{2} K x_f - \frac{1}{2} K x_0 - \frac{1}{2} K x_0 = 0$
 $\frac{1}{2} I v_f^2 / r^2 + \frac{1}{2} m v_f^2 + \frac{1}{2} K x_f - \frac{1}{2} K x_0 = 0$
 $v_f^2 (\frac{1}{2} I / r^2 + \frac{1}{2} m) + \frac{1}{2} K x_f - \frac{1}{2} K x_0 = 0$
 $v_f^2 (\frac{1}{2} I / r^2 + \frac{1}{2} m) + \frac{1}{2} K (0,78 - r) - \frac{1}{2} K (1,08 - r) = 0$
 $v_f^2 (\frac{1}{2} I / r^2 + \frac{1}{2} m) + \frac{1}{2} K 0,78 - \frac{1}{2} K r - \frac{1}{2} K 1,08 + \frac{1}{2} K r = 0$
 $v_f^2 (\frac{1}{2} I / r^2 + \frac{1}{2} m) + \frac{1}{2} K 0,78 - \frac{1}{2} K 1,08 = 0$
 $v_f^2 (\frac{1}{2} m + \frac{1}{2} m) + \frac{1}{2} K 0,78 - \frac{1}{2} K 1,08 = 0$

$v_f^2 = \frac{-\frac{1}{2} K 0,78 + \frac{1}{2} K 1,08}{\frac{1}{2} m} = \sqrt{\frac{-\frac{1}{2} 450 \frac{N}{m} \cdot 0,78 m + \frac{1}{2} 450 \frac{N}{m} \cdot 1,08 m}{\frac{1}{2} 90 kg}}$

$v_f = 1 \text{ m/s}$

Fig. 3: Solución propuesta por alumno Jorge – (Grupo 2).

En la Fig. 3 se aprecia la misma regularidad en los estados de configuración inicial y final que en el grupo anterior. Sin embargo, cuando un individuo pone en juego el concepto de energía potencial elástica y omite el exponente cuadrático, puede “simplificar” la longitud libre del resorte. Desconoce que un resorte real tiene una longitud propia finita, L , cuya deformación vale en la zona elástica del material usado en su construcción; es decir, probablemente considera el resorte como ideal: “estirable” indefinidamente y de longitud nula.

Grupo 3

- No logran establecer el movimiento del sistema cilindro-resorte en el espacio, lo reducen a la dirección horizontal del movimiento del cilindro. Al parecer la idea de vector puesta en juego es muy elemental.

- No discriminan entre los conceptos de longitud y deformación. Cambian los límites en la variación de energía potencial elástica. Suele ser indistinto utilizar las expresiones analíticas: $x_f - x_0$, $x_f^2 - x_0^2$ ó $(x_f - x_0)^2$. No trascienden el contenido representacional.

- Interpretan parcialmente el discurso escrito y el esquema gráfico sobre la configuración del sistema al ejecutarse el movimiento.

- No utilizan distintos lenguajes para apoyar su solución.

- Con respecto al concepto de cuerpo rígido hay casos incorrectos de utilización.

Una resolución que refleja cómo los estudiantes entienden estas nociones es:

Mauro - Grupo 3

$m_C = 90 \text{ kg}$
 $k_R = 450 \text{ N/m}$
 $h = 600 \text{ mm}$
 $L_{res} = 500 \text{ mm}$
 $v_{cm}^2 = ?$ $s = \theta \cdot r$
 $\text{sen } \theta = 600 \text{ mm} / 900 \text{ mm}$
 $\theta = 41^\circ 48' 37''$
 $v = \omega \cdot r$

$\omega = v / r$

$E_C = 1/2 I_{EIR} \omega^2$
 $\Delta E_C + \Delta E_{Ee} = 0$
 $E_C = \frac{1}{2} I_{CM} \omega^2 \pm \frac{1}{2} M_B v_{cm}^2$
 $\Delta E_{Ee} = \frac{1}{2} K x_f^2 - \frac{1}{2} K x_0^2$
 $\frac{1}{2} I_{CM} \omega^2 + \frac{1}{2} M_B v_{cm}^2 + \frac{1}{2} K x_f^2 - \frac{1}{2} K x_0^2 = 0$
 $\frac{1}{2} M \frac{v^2}{r^2} / 2 + \frac{1}{2} M_B v^2 + \frac{1}{2} K x_f^2 - \frac{1}{2} K x_0^2 = 0$
 $M v^2 / 4 + \frac{1}{2} M_B v^2 + \frac{1}{2} K x_f^2 - \frac{1}{2} K x_0^2 = 0$
 $v^2 (M/4 + M/2) = -\frac{1}{2} K x_f^2 + \frac{1}{2} K x_0^2$

$v = \sqrt{\frac{-\frac{1}{2} K x_f^2 + \frac{1}{2} K x_0^2}{\frac{3}{4} M}}$

$I_{CM} = M r^2 / 2$
 $\text{sen } \theta = h / x'$

$v = \sqrt{\frac{4 \left[-\frac{1}{2} 450 \frac{N}{m} (0,4m)^2 + \frac{1}{2} 450 \frac{N}{m} (0,9m)^2 \right]}{3 \cdot 90 \text{ kg}}}$

$v = 1,47 \text{ m/s}$

Fig. 4: Solución propuesta por alumno Mauro – (Grupo 3).

“Considera la deformación final del resorte con un valor de 0,4 m y la inicial de 0,9 m; reduciendo las configuraciones del resorte al movimiento en la línea horizontal del cilindro” (Jaime et al., 2006:118). Se aprecia

también que recurren al tanteo (sacando ángulos) pero no utilizan estos cálculos en ningún momento. Hay una preocupación importante por la utilización de una “esmerada” álgebra, dejando al costado el hecho físico. Decididamente, resuelven otro problema.

Una representación externa que podría reflejar cómo estos estudiantes están “entendiendo” es la siguiente (Fig. 5):

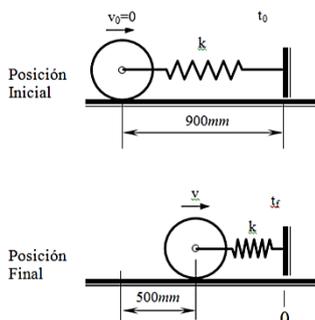


Fig. 5: Representación externa de la situación “visualizada”.

Una vez más se advierte la presencia fuerte de un conocimiento general como es la noción “posición de equilibrio” como sistema único desde donde describir el movimiento –ahora recuperado desde una situación lineal– al parecer inhibiendo lo que el enunciado (texto + gráfico) provee.

Aparecen amalgamados los conceptos de desplazamiento del cilindro y la variación de la longitud del resorte. Parecen proyectar la longitud del resorte en la dirección del movimiento del cilindro. Otro concepto incorporado a esa matriz es el de energía potencial como energía asociada a la posición –dada por el símbolo: “x”– y guiada por el único dato plausible de ocupar su lugar directamente (0,5 m) sin mediar consideraciones geométricas ni físicas.

Grupo 4

- No logran determinar el movimiento del sistema cilindro-resorte en el espacio.
- No diferencian entre los conceptos de longitud y deformación. Utilizan energía potencial elástica concibiéndola como magnitud absoluta⁵ ($\Delta E_p = \frac{1}{2}kx^2$), tomando como cero la deformación del resorte inicial aunque al calcular x , en algunos casos, lo realizan en el plano.
- Interpretan parcialmente el discurso escrito y el esquema gráfico sobre la configuración del sistema al ejecutarse el movimiento.
- No utilizan distintos lenguajes para sostener su solución.
- Con respecto al concepto de cuerpo rígido hay casos en que lo utilizan en forma incorrecta.

La resolución de uno de los estudiantes es, por ejemplo, la que sigue.

⁵ La energía potencial elástica es “visualizada” como una energía desde una posición de referencia tomada como absoluta -dada por el símbolo: “x”- y no a partir de la posición relativa u orientación de las partes del sistema (Escudero, 2002).

Fig. 6: Solución propuesta por alumno Luis Edu – (Grupo 4).

En este ejemplo, como muestra la Fig. 6, se destaca que cuando considera la “variación” de energía potencial elástica, directamente toma el valor en la configuración inicial como igual a cero y en la configuración final lo reemplaza por 0,50 m. Resueltamente no diferencia longitud y deformación además de reducir todo a un espacio unidimensional o “longitudinal”.

Grupo 5

- Se evidencia un escaso uso de conceptos relacionados con el modelo de cuerpo rígido y de cuerpo deformable. Si bien “identifican” un marco teórico, no avanzan, se detiene la solución.

Fig. 7: Solución propuesta por alumno Miguel – (Grupo 5).

- Hacen un uso muy limitado de diferentes lenguajes en apoyo de la solución.

¿Qué ideas están en juego?

Las respuestas dadas para las cinco categorías recién ilustradas se limitan a consignar una caracterización relativamente simplificada. Si bien algunos indican que se puede hablar de variación “proporcional”, el pensamiento apenas supera la abstracción empírica. Aparecen amalgamados, desde las primeras categorías, el desplazamiento del cilindro y el cambio de la longitud del resorte.

Además, al tratar de explicar qué puede haber sucedido con la deformación, la variación de energía potencial y de energía cinética, mayormente piensan en una variación como diferencia (o resta) numérica, y no conceptual. Es decir, no descontextualizan. Al encarar la resolución, enfocan su atención en las expresiones algebraicas, no le dan lugar al hecho físico, que es el que impone las restricciones. Un indicio clave vino de parte de un estudiante quien pregunta luego de la evaluación: “¿Por qué hay que restar 0,6 a la longitud del resorte?”.

¿Será que haberse dado cuenta de “restar 0,6 m” implica haber asociado la elasticidad de un material, así como de la energía potencial elástica al cambio total instantáneo de la longitud del resorte? ¿Cómo se podría explicar la alta frecuencia de este “olvido”?

Este estudiante pregunta por una resta que no comprende, pero que confirma la afirmación de Vergnaud (1990:24) acerca de la construcción del número: “*El número se constituye en las operaciones de adición y sustracción*”. Por lo que también es una invitación a seguir buscando señales de aprendizaje significativo.

Al parecer, el estudiante simboliza la clásica “ Δx ” –o “ x ” directamente– en la expresión de la energía potencial elástica con “ L ”, cuya notación se usa con más frecuencia para expresar la longitud total de un resorte. El resorte nunca tendría una longitud libre o relajada donde esta capacidad fuese cero⁶.

En análisis previos (Escudero, 2000; Jaime et al., 2006) e, incluso, desde otro referencial teórico se concluía que a un importante porcentaje de alumnos al presentárseles el tema por primera vez, les daba lo mismo los símbolos y los significados atribuidos a

$$F = kx \quad y \quad E_p = 1/2kx^2$$

$$\text{que a } F = kL \quad y \quad E_p = 1/2kL^2$$

donde “ x ” (“ Δx ”, en el fondo) se puede entender como una variación de la forma: $x = L - L^0$.

Advertimos que al hacer consideraciones energéticas se reflejan más nítidamente las confusiones, particularmente al emplear la variación de la energía potencial: $\Delta E_p = E_{pf} - E_{pi}$ (una función variación de una variación lineal; o bien, cuadrática para la interacción elástica). Muchas veces los docentes solemos creer que el concepto deformación (o cambio total instantáneo de la longitud del resorte) forma parte de la estructura cognitiva de la mayoría de los alumnos.

El problema matemático –con frecuencia– enmascara al problema físico aseverábamos en Escudero (2005). Muchas veces actuamos como meros “utilizadores” de la matemática desconociendo u opacando sus raíces y fundamentos. También se hipotetiza que la noción de vector está en vías de logro, específicamente su transferencia a las configuraciones del sistema.

Cabe señalar que las categorías construidas tras la implementación de la primera etapa en 2005 fueron cinco. La implementación de una propuesta didáctica ajustada y su análisis arrojaron una categoría más que designamos como “Grupo 0” con importante presencia de respuestas similares a las esperadas y que describimos a continuación.

Grupo 0

- Ubican el movimiento del sistema cilindro-resorte en el espacio de dos dimensiones.

- Utilizan la variación de la longitud del resorte (diferenciando longitud natural de deformación) y la variación de energía potencial elástica como $\Delta E_{pe} = 1/2kx_f^2 - 1/2kx_i^2$, discriminando configuraciones: inicial y final⁷ y condiciones de borde imperantes.

⁶ La propiedad que caracteriza a un resorte por tener longitud natural, por cambiar esa longitud según las fuerzas que se le apliquen y por recuperar la longitud original cuando se lo deja libre se llama *elasticidad*.

⁷ *Epe*: energía potencial elástica, *k*: constante de elasticidad, *x*: deformación respecto a la longitud libre de fuerzas.

- Interpretan tanto el discurso escrito como la información contenida en el esquema gráfico sobre cómo varía la configuración del sistema al ejecutarse el movimiento.

- Utilizan distintos lenguajes para sustentar una solución.

- Manejan un concepto de cuerpo rígido que incluso les ha permitido reconocer que para un mismo cuerpo: $I_{CM} \neq I_{EIR}$ y es más, que $I_{CM} < I_{EIR}$.

Un ejemplo de solución es:

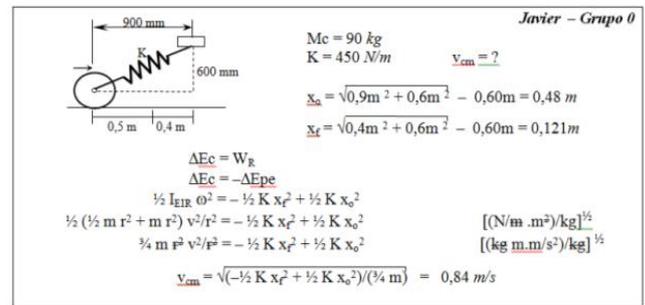


Fig. 8: Solución propuesta por alumno Javier – (Grupo 0).

Conjugan en forma pertinente representaciones: algebraica, gráfica y física. Al explicitar las cotas y al construir la expresión que determina la deformación del resorte están “separando” la línea de movimiento del cilindro y las de las deformaciones en los estados: inicial y final del resorte (Δx_f y Δx_i no se evalúan en la misma línea), re-significando la variación de la energía potencial elástica. En la energía cinética se aprecia también cómo están empleando el concepto de cuerpo rígido y las relaciones entre variables lineales y angulares. Al parecer, se ha realizado un análisis dimensional como verificación de unidades y ecuación final con fines de autorregulación.

¿Qué aprendizaje promueve la resolución de problemas?

Una mirada totalizadora de los resultados se muestra en la Fig. 9 donde se presentan las frecuencias y el porcentaje respectivo de alumnos en las distintas agrupaciones construidas para ambos ciclos lectivos.

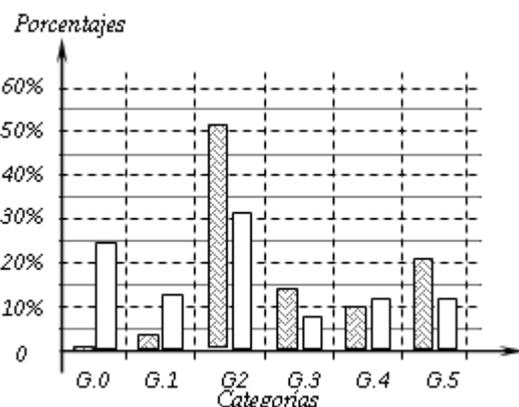


Fig. 9: Grupos para ciclos 2005 y 2010 e histograma de porcentajes. La barra incolora representa los valores correspondientes al año 2010.

En general, no es usual que un estudiante tenga una mirada crítica frente a las situaciones. Lo que puede suceder en/con ellas es plausible, y por tanto ambiguo. La desatención por las condiciones de borde formaría parte de los esquemas de aprendizaje, a la hora de pretender una integración con el mundo, resulta complejo de desarrollar.

La ausencia de la categoría denominada “Grupo 0” en el año 2005 logró transformarse en 2010, constituyendo la cuarta parte de la muestra.

Parece además desprenderse, del análisis comparativo, que buena parte de los alumnos del segundo y tercer grupo (en el estudio piloto tras la implementación de una discusión profunda acerca de la noción de variación así como del modelado físico, como la efectuada en la cohorte 2010) parecen poder reunir los conceptos para mostrar evidencias de aprendizaje significativo, al ubicarse ahora en las primeras categorías. Con respecto a los tres últimos grupos se observa que si bien hay una pequeña redistribución del porcentaje, sus dificultades son más básicas y profundas.

Cuando se trabajó por primera vez el tópico de energía en el curso, no se atendió –conscientemente– a la clase de magnitud a la que pertenece. La temática de las cantidades absolutas o relativas, de la variación y función variación debería tratarse en forma contextual.

Situaciones problemáticas como ésta permiten sacar a la luz intuiciones y/o confusiones ligados a la conceptualización y modelización en distintos campos.

En relación al aprendizaje que promueve la resolución de situaciones y de problemas, la respuesta es depende. Si la utilización y transferencia de lo aprendido se hace autónomamente, se está promoviendo aprendizaje significativo.

Algunas hipótesis parciales

Las representaciones algebraicas, gráficas y expresiones verbales aun conteniendo la misma información ponen en juego diferentes procesos cognitivos relacionados. Las representaciones gráficas conectan con las potencialidades de la visualización y se relacionarían con la geometría y la topología. Mientras que las expresiones analíticas o algebraicas conectan con la capacidad simbólica y se vincularían con el álgebra. A su vez la representación verbal enlaza con la capacidad lingüística y se constituye en básica para interpretar y relacionar las anteriores.

Aun cuando el individuo esté pensando en el concepto de variación como diferencia se advierte que, en gran medida, aparecen como indistintas las variaciones lineal, cuadrática y/o cúbica y, la diferencia de cuadrados. Los alumnos suelen preguntar, sobre todo, en relación a los dos primeros: “*Pero, ¿no son iguales? O ¿no es más de lo mismo?*” La opacidad de lo simbólico se muestra crucial.

Este énfasis en el discurso deja muchas veces escapar la importancia de toda una serie de mediadores semióticos no lingüísticos (desde los gestos hasta la naturaleza de los “artefactos” utilizados) que desempeñan un papel muy importante en las situaciones de aprendizaje y que son decisivos para entender el cambio psicológico. Dicho énfasis ignora formas de actuación que, desde el punto de

vista del sujeto, se sitúan a un nivel menos consciente, que no se articulan mediante el lenguaje. Es decir, la mediación semiótica es anterior al lenguaje.

Además, se hipotetiza una importante carencia en la conceptualización de la noción de función, así como en la de vector. Éstas se necesitan para solucionar tareas en diferentes campos de la Física.

Su aprendizaje desde una perspectiva que lleve asociada en forma estructural la conceptualización matemática favorece la conceptualización de modelos físicos. Es una hipótesis central en nuestros trabajos. De ahí también la importancia de hacer frecuentemente relaciones.

Consideramos la modelización física como uno de los elementos que contribuye a la conceptualización en el campo.

Acordamos con Franchi (1999) que son los conocimientos implícitos los que orientan las acciones de las personas para hacer frente a una nueva situación. El solo hecho de que se trate de magnitudes no problematizadas hasta ese momento (tales como, deformación, energía potencial en relación a las nociones de función, variación, vector, estado, posición, sistema) hace que se activen modos de operar descontextualizados, propios de la Matemática, que es uno de los referentes más cercanos a su experiencia escolar.

A MODO DE CONCLUSIÓN

A lo largo del trabajo se han utilizado herramientas teóricas que pretenden modelar un proceso que se pone en acción con la lectura del enunciado de un problema, en el cual se generan una o más representaciones que guían u orientan la resolución de un problema.

Podríamos preguntarnos: ¿Se construye conocimiento físico siguiendo una prolija línea metodológica que va articulando relaciones lógicas?

Se advierte que, tras la intervención didáctica ajustada con resultados de investigación, un grupo importante de estudiantes, pasó a ofrecer respuestas similares a las esperadas.

Surge así que las predicciones que los sujetos son capaces de hacer sobre la base de sus concepciones personales actúan como significados de control de un sistema formal (álgebra, por ejemplo). Aunque “disponibles”, no son todavía –en general– suficientemente autónomos para ser capaces de aplicar los significados como control interno del sistema formalizado.

Vale recordar uno de los presupuestos básicos del constructivismo: el conocimiento se constituye y se desarrolla en un tiempo, en interacción adaptativa del individuo, con las situaciones que experimenta.

“El funcionamiento cognitivo del sujeto en situación reposa sobre los conocimientos anteriormente formados, al mismo tiempo, el sujeto incorpora nuevos aspectos a esos conocimientos desarrollando capacidades cada vez más complejas” (Franchi, 1999:157).

No basta con “reconocer” variaciones numéricas y conceptuales; los alumnos tienen que coadyuvar en la construcción de significados, participando en la resolución de problemas.

Reconocemos que en las soluciones agrupadas bajo las categorías “0 y 1”, hay trazas importantes de aprendizaje significativo. De modo que éste es un incentivo mayúsculo para continuar en esta línea de trabajo.

También hay que atender a las respuestas agrupadas según la categoría 3 y 4 donde emerge con fuerza la noción de *posición de equilibrio* apoyada en la de *cantidad absoluta*. Al efectuar la comparación entre los dos estados, enfocan su atención en los números, no le dan lugar acabadamente al hecho físico, que es el que impone las limitaciones.

Esto nos recuerda algunas conclusiones a las que arribamos en trabajos anteriores, referidas al empleo de las unidades en la resolución de problemas.

(...) “Por otro lado, es muy frecuente que no escriban las unidades durante el proceso de un cálculo, pero sí que continúen operando con los **números**. Otorgando de esta manera una importancia fundamental al valor numérico aunque no se sepa qué es lo que se obtiene” (González y Escudero, 2009:470).

El proceso por el cual se expande el saber preexistente no es el de la mera generalización, sino por extrapolaciones y juicios comparativos. El desarrollo de trabajos prácticos de laboratorio en el campo conceptual tratado, y su problematización, se constituye en una asignatura pendiente en este tipo de cursos. Por lo que también es una invitación a seguir buscando señales de aprendizaje significativo.

Con esta clase de estudio, que apunta a discernir de manera minuciosa las acciones que pone en juego el estudiante en un escenario complejo – no solo en el sentido del volumen de conceptos involucrados, sino en el tipo de operaciones cognitivas que deben activarse – es que se catalizan en forma positiva las indagaciones acerca de una línea de investigación tan tradicional como es la resolución de problemas, que corre el serio riesgo de estancarse en posturas unidimensionales, seguras pero carentes de proyección, y en un contexto pluridimensional ávido de categorías que permitan concebir nuevas combinaciones teóricas y empíricas.

Gran parte de la responsabilidad en la formación de esquemas de acción relacionados con los contenidos de Física corresponde a los docentes. Somos quienes seguimos sosteniendo de manera esperanzada que lo que proponemos en el aula sirve para mejorar la calidad y la cantidad de herramientas cognitivas y metacognitivas de los estudiantes independientemente de su elección profesional.

APÉNDICE

Una solución del problema:

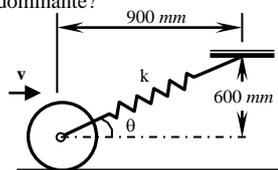
Un cilindro macizo homogéneo de 90 kg rueda sin deslizar sobre un plano horizontal y está en reposo en la posición representada en la figura. La constante del resorte es 450 N/m y su longitud sin tensión es de 600 mm. (a) Determinar la velocidad del centro de masa cuando éste se haya desplazado 500 mm hacia la derecha. (b) ¿Cuál es el significado de la dependencia dominante?

(a)

$$\Delta E_M = W_{FNC}$$

$$\Delta E_M = 0$$

$$\Delta E_C + \Delta E_P = 0$$



$$\frac{1}{2} m v_f^2 + \frac{1}{2} I \omega^2 + \frac{1}{2} k (x_f^2 - x_o^2) = 0$$

$$\omega = v_f \cdot r$$

$$x_o = \left[\sqrt{0,6^2 + 0,9^2} - 0,6 \right] m = 0,58 m$$

$$x_f = \left[\sqrt{0,6^2 + 0,4^2} - 0,6 \right] m = 0,12 m$$

$$\frac{1}{2} m v_f^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} m r^2 \right) \frac{v_f^2}{r^2} + \frac{1}{2} k (x_f^2 - x_o^2) = 0$$

$$v_f^2 = \frac{2k(x_o^2 - x_f^2)}{3m} \Rightarrow v_f = 0,85 \frac{m}{s}$$

(b) Notar que la velocidad del centro de masa (v_{CM}) corresponde al cuadrado de “x”: $v_{CM}^2 = f(x^2)$. Entonces, la interacción que permite el inter-juego energético – en este caso – es de naturaleza exclusivamente elástica.

AGRADECIMIENTOS

Parcialmente financiado por CICITCA (UNSJ, Argentina).

REFERENCIAS

- [1] Ausubel, D. P. (1983), *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. Ed. Trillas (2º edición), México.
- [2] Ausubel, D. P. (2002), *Adquisición y retención del conocimiento. Una perspectiva cognitiva*. Ed. Paidós, Barcelona.
- [3] Bagno, E.; Eylon, B. y Ganiel, U. (2000), “From fragmented knowledge to a Knowledge structure: linking the domains of mechanics and electromagnetism”. *Physics Education Research American Journal of Physics Supplement*, 68 (7).
- [4] Barbe, J.; Espinoza, L. y Gellert, U. (2017), “El empobrecimiento matemático de las propuestas de enseñanza de Física en los textos oficiales de secundaria.” *Enseñanza de las Ciencias*, 35 (1): 75-88.
- [5] Costa, S. y Moreira, M. A. (2001), “A resolução de problemas como um tipo especial de aprendizagem significativa”. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 18 (3): 263-277.
- [6] Costa, S. y Moreira, M. A. (2002), “O papel da modelagem mental dos enunciados na resolução de problemas em Física”. *Revista Brasileira de Ensino em Física*, São Paulo, 24 (1): 61-74.
- [7] Dhillon, A. S. (1998), “Individual differences within problem-solving strategies used in Physics”. *Science Education*, 82: 379-405.
- [8] Escudero, C. (2001), “Representaciones, Modelos Mentales y su relación con omisiones, aciertos y errores de actuación al resolver un problema de Física”. *Enseñanza de las Ciencias, Número Extra, VI Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias*, Barcelona (España).
- [9] Escudero, C. (2002), “El concepto de Energía Potencial: representaciones y modelos mentales al resolver un problema universitario”. *Publicación interna: Informe final de Proyecto de investigación I21/117 (CICITCA, UNSJ)*.
- [10] Escudero, C. (2005), Tesis doctoral: *Inferencias y modelos mentales: un estudio de resolución de problemas acerca de los primeros contenidos de Física abordados en el aula por estudiantes de nivel medio*. Universidad de Burgos-Universidad Federal de Rio Grande do Sul. Disponible en repositorio Universidad de Burgos.
- [11] Escudero, C. (2009), “Leyes de conservación en el mundo físico: un estudio de caso desde la teoría de los campos conceptuales”. *Enseñanza de las Ciencias, Número Extra*: 2239-2245.
- [12] Escudero, C. y Jaime, E. (2002), “La comprensión de la situación física en la resolución de un problema integrativo”. *Memorias VI Simposio de Investigadores en Educación en Física (VI SIEF)*, Corrientes (Argentina).
- [13] Escudero, C. y Jaime, E. (2003), “Elementos para una conceptualización de la noción de cuerpo rígido en la resolución de un problema integrativo”. *Memorias XIII Reunión Nacional de Educación en Física (REF XIII)*, Río Cuarto (Córdoba, Argentina).

- [14] Escudero, C. y Moreira, M. A. (2004), "La investigación en resolución de problemas: una visión contemporánea". En: *Texto de Apoio para PIDEDEC. Texto N° 23, Vol. 6, 41-90*. Instituto de Física. UFRGS, Porto Alegre, Brasil.
- [15] Escudero, C.; González, S. y Jaime, E. (2005), "El análisis de conceptos básicos de física en la resolución de problemas como fuente generadora de nuevas perspectivas. Un estudio en dinámica del movimiento circular." *Revista de Educación y Pedagogía de la Universidad de Antioquia* (Medellín, Colombia), Vol. XVII (43): 63-78.
- [16] Escudero, C. y Jaime, E. (2007), "La comprensión de la situación física en la resolución de problemas: Un estudio en dinámica de las rotaciones". *REEC*, 6 (1): 1-19.
- [17] Escudero, C. y Stípcich, S. (2008), "Análisis de protocolos verbales". En: *Texto de Apoio para PIDEDEC. Texto N° 33, vol. 10: 81-122*. Instituto de Física. UFRGS, Porto Alegre, Brasil.
- [18] Escudero, C. y Jaime, E. (2009), "Conocimientos-en-acción: un estudio acerca de la integración de las fuerzas y la energía en cuerpo rígido". *Investigações em Ensino de Ciências*; 14 (1): 115-133.
- [19] Escudero, C.; Moreira, M. A. y Caballero, C. (2009), "A research on undergraduate students' conceptualizations of physics notions related to non-sliding rotational motion". *Lat. Am. J. Phys. Educ. (LAJPE)*, 3 (1), 1-8.
- [20] Escudero, C. y Jaime, E. (2011), "Investigate the Physical Thought in the Resolution of Problems on the Laws of Conservation in Classical Mechanics". *Internacional Conference on Physics Education ICPE 2011 Mexico City*, 15-19 August.
- [21] Escudero, C. y Jaime, E. (2013), "Los docentes frente al aprendizaje. El caso de la interacción de la luz con la material". *1er. Workshop Enseñanza de la Física en Argentina*. Tandil. Bs. As. May; 141-152. <https://sites.google.com/site/wefenseñanzadelafisica/envio-de-trabajos/actas-wef>
- [22] Escudero, C.; Jaime, E. y González, S. (2014), "Un estudio sobre ideas variacionales a través de la resolución de problemas. El caso de la intensidad Sonora". *Revista de Enseñanza de la Física*, Vol. 26, Número Extra: 109-119.
- [23] Franchi, A. (1999), "Considerações sobre a teoria dos campos conceituais". En: *Educação Matemática: uma introdução*, pp. 155-195, Alcântara Machado, S. D. et al.
- [24] González, S. (2015), Tesis de Doctorado 'La enseñanza de conceptos básicos de física cuántica para un aprendizaje significativo del modelo atómico actual'. Disponible en: www.ridaa.unicen.edu.ar/xmlui/handle/123456789/772.
- [25] González, S. y Escudero, C. (2009), "Las unidades en problemas de Física para Escuela Secundaria". *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. 26 (3): 460-477.
- [26] Gowin, B. (1990), *Educating*. Cornell University Press, Ithaca, N.Y.
- [27] Jaime, E.; Escudero, C. y González, S. (2006), "Barreras a superar en el proceso de significación de conceptos como energía potencial elástica". *VI Simposio de Investigadores en Educación en Física (VI SIEF)*, 110-121.
- [28] Markman, H. (1999), *Knowledge representation*. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ.
- [29] Martín, J. y Solves, J. (2001), "Diseño y evaluación de una propuesta para la enseñanza del concepto de campo en física". *Enseñanza de las Ciencias*, 19(3): 393-404.
- [30] Moreira, M.A. Comp. (2004), *La Teoría de los campos Conceptuales de Vergnaud, la enseñanza de las ciencias y la investigación en el área*. Brasil. Instituto de Física. UFRGS.
- [31] Solaz-Portolés, J. J. y Caballer, A. (2015), "Contexto, estructura y analogías en la resolución de problemas verbales algebraicos por maestros de primaria en formación". *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 17(3): 94-108.
- [32] Vergnaud, G. (1988), "Multiplicative structures". In: *Research Agenda in Mathematics Education. Number Concepts and Operations in the Middle Grades*. Lawrence Erlbaum, Hillsdale, N.J.
- [33] Vergnaud, G. (1990), "La théorie des champs conceptuels". *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10 (23): 133-170.
- [34] Vergnaud, G. (1990), "Epistemology and Psychology of Mathematics Education". In: *A research synthesis by the International Group of Psychology of Mathematics Education*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [35] Vergnaud, G. (1993), "Teoria dos campos conceituais". *Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro*, pp. 1-26.
- [36] Vergnaud, G. (1994), "Multiplicative conceptual field: what and why?" In: *The development of multiplicative reasoning in the learning of Mathematics*. pp. 41-59. State University of New York Press. Albany, N.Y.