

DESARROLLO DEL METACONOCIMIENTO EN LA APLICACIÓN DEL TEOREMA DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

Soler Ruiz, Joan¹, Villasevil Marco, Francesc Xavier², López Membrilla,
Manel³

1: Departament de Física i Enginyeria Nuclear
Escola Politècnica Superior de Vilanova i la Geltrú
e-mail: juan.soler@upc.edu

2: Departament d'Enginyeria Electrònica
Escola Politècnica Superior de Vilanova i la Geltrú
e-mail: francisco.javier.villasevil@upc.edu

3: Departament d'Enginyeria Gràfica
Escola Politècnica Superior de Vilanova i la Geltrú
e-mail: ml.membrilla@upc.edu

Grup de Recerca GENCAD
Universitat Politècnica de Catalunya

Resumen. *En la disciplina de la física existe una fuerte dependencia del ejercicio respecto a la fórmula. Pretendemos abandonar este tópico mediante la introducción de una metodología que permita al alumno estructurar su metac conocimiento y de este modo pueda afrontar ejercicios nuevos. El estudio lo centraremos en la aplicación del teorema de conservación de la energía. Se tratará de cambiar el procedimiento convencional de resolución y obligar a realizar un proceso previo de análisis de los elementos importantes: fuerzas, trabajos y energías. De este modo le estamos obligando a ordenar las ideas y a reforzar su modelo cognitivo.*

En general notamos que cuando el alumno aplica el teorema de conservación omite gran cantidad de elementos importantes y en general lo aplica de forma errónea en bastantes casos. Nosotros obligamos al alumno a realizar una tabla con 3 columnas: en la primera aparecen todas las fuerzas que intervienen en el proceso, en la segunda el trabajo que realiza cada fuerza y en la tercera columna la variación de energía potencial. De este modo el alumno está obligado a realizar un proceso de análisis y ordenación de ideas que repercuten en una mejor estructura mental de sus conocimientos.

Palabras clave: Rigor, orden, metac conocimiento

1. INTRODUCCIÓN

En cualquier proceso docente tenemos como norma realizar la detección de ideas previas erróneas, observando que el alumno tiene unas lagunas conceptuales importantes. Los alumnos que entran en la universidad para realizar carreras técnicas, con mucha probabilidad, han escogido la física como una de las asignaturas importantes en su desarrollo en el bachillerato. Algunos temas como la cinemática, dinámica y el

trabajo y energía han sido “compañeros de viaje” durante bastantes años, incluso se han introducido ya en la Enseñanza obligatoria. Lo que resulta sorprendente es que dichos conceptos no se han asimilado con la “contundencia” y fluidez necesarios para poder “tirar” de ellos en muchas áreas de la física. Así, cuando se plantea que una carga se mueve a lo largo de una diferencia de potencial y queremos encontrar su velocidad, observamos que el teorema correspondiente (trabajo y energía) se tambalea en la mente del alumno.

El alumno está acostumbrado a asociar cada ejercicio de física con alguna u otra fórmula y en su empeño muchas veces intenta llegar a un “acuerdo” entre los datos de los que dispone en el ejercicio con las variables que le aparecen en la fórmula y de este modo realiza una “asociación” forzada para poder llegar a un resultado, dando lugar a situaciones muy verosímiles. Es evidente que tarde o temprano en la ejecución de un ejercicio hay que usar una u otra fórmula, pero ello debería ser consecuencia de un desarrollo razonado que desemboque en la utilización de la misma. Para ello hace falta instruir al alumno de un proceso mental que le permita ordenar, analizar y reconducir todos los datos del ejercicio mediante un camino estructurado para llegar de forma natural a la aplicación final de la fórmula.

Entre los temas de discusión que aparecen en los debates entre profesores, se presentan diversas alternativas, algunos opinan que el alumno debe aprender de forma autodidáctica con el apoyo de los ejemplos que ha recibido en clase, otros opinan que se deben seguir unas pautas bien encaminadas y orientadas. Por poner una metáfora: ¿debe aprender a nadar solo o debemos enseñarle a mover los brazos y a sostenerse en el agua?. Seguramente la respuesta más sensata sería que debemos guiarle, y aquí se abre otro abanico de opciones en las que nosotros queremos aportar nuestro punto de vista. La opción más común consistiría en ofrecer una gran cantidad de ejemplos resueltos para que ello le permita afrontar los ejercicios con garantías. Sin embargo cuando consultamos las inquietudes del alumno nos manifiesta que en cada ejercicio nuevo, aunque sea de un mismo contexto, encuentra muchas dificultades para poder resolverlo y como no sea que sea casi idéntico al ejemplo realizado en clase ya piensa que es de “otra galaxia”.

Nosotros proponemos clasificar los ejercicios en distintas tipologías y para cada una de ellas seguir un patrón rígido pero seguro. Aunque quizás este proceder pueda coartar la libertad de acción, permite como mínimo garantizar el éxito en el objetivo propuesto y de este modo mejorar la autoestima del alumno, base indispensable para una buena continuidad en la asignatura.

2. EL PLANTEAMIENTO CONVENCIONAL Y EL RIGOR

En este apartado vamos a dar nuestro punto de vista relacionado con los planteamientos convencionales a los que estamos acostumbrados a encontrar en los libros de texto, clases magistrales, internet, etc. Muchas veces, en función de la complejidad del ejercicio, se adoptan ciertas estrategias que, aunque correctas, omiten ciertos aspectos de importancia menor y que no influyen en el resultado, pero, que en otras situaciones si pueden afectar. Consideramos que extremar el rigor en los desarrollos contribuye a asimilar mejor los conceptos y redundante en un mayor beneficio para futuros ejercicios.

2.1. Tipificación convencional

Desde hace muchos años, la enseñanza de la disciplina de la física se podría resumir en la introducción de los conceptos y principios (teorema de conservación) y en la resolución de ejercicios que sirven para aplicar de forma práctica estos principios. En estos planteamientos se usan procedimientos más o menos típicos en donde el alumno adquiere unos esquemas identificativos para cada tipo de ejercicio. Si exigimos al alumno que realiza un ejercicio parecido a los ejemplos expuestos generalmente obtiene éxito y en cierto modo este es el camino que ha seguido en la Enseñanza Secundaria y Bachillerato para acceder a la Universidad. En el momento que el ejercicio propuesto se aparta del convencional con alguna variante, ya tenemos el problema presente: el alumno ve al ejercicio como algo totalmente nuevo y distinto a los ejemplos que se han hecho en clase y tiene muchas dificultades para resolverlo.

2.2. Rigor en el planteamiento

Cuando realizamos ejercicios de ejemplo para ilustrar un determinado principio o teorema, como por ejemplo, el que nos ocupa del principio de conservación hay una cierta tendencia a simplificar la resolución para que al alumno le resulte todo más simple. En cierto modo el profesor conoce a la perfección todo lo que hay que aplicar y en ese sentido, con toda la buena intención del mundo, piensa que será lo mejor para que el alumno no se asuste en detalles que no son del todo relevantes. Vamos a ilustrarlo con un ejemplo. Cuando se trata de encontrar el trabajo de las fuerzas que actúan sobre un bloque, casi siempre no consideramos el trabajo que realiza la fuerza normal, puesto que al ser perpendicular al movimiento su trabajo es nulo. Este detalle en su momento, se explica y se razona que en la circunstancia en que tanto la fuerza como el desplazamiento sean perpendiculares el trabajo será nulo. Como en la mayoría de ejemplos que se muestran ocurre de este modo, se omite este término sin darle mayor importancia. Para el alumno esta omisión lógica se convierte en un lema: posiblemente cuando exista una fuerza normal en un bloque no la va a considerar porque en su esquema mental dicha fuerza ha quedado olvidada.

Volviendo al ejemplo si el movimiento del bloque tiene lugar en la misma dirección que la fuerza normal entonces habrá que considerar el trabajo. Cuando realizamos la detección de ideas previas erróneas, en este ejemplo, la gran mayoría de alumnos omite el trabajo de dicha fuerza. Cuando les preguntamos la razón de dicha omisión nos responden sorprendidos en el sentido de que daban por hecho de que el trabajo de la normal siempre era nulo, del mismo modo que para la gran mayoría de alumnos el peso y la normal son la acción y la reacción en la tercera ley de Newton, cosa totalmente errónea.

Nosotros proponemos que en todos los ejercicios se extreme el rigor de ejecución, aunque ello comporte una resolución más larga de lo habitual. La introducción de patrones o métodos rígidos permiten que el alumno siga paso a paso unas pautas que le sirvan para cualquier tipo de situación, siempre dentro del mismo entorno o temática. Cuando forzamos a que el alumno escriba y calcule el trabajo de la normal, aunque de
Volviendo al ejemplo si el movimiento del bloque tiene lugar en la misma dirección que la fuerza normal entonces habrá que considerar el trabajo. Cuando realizamos la detección de ideas previas erróneas, en este ejemplo, la gran mayoría de alumnos omite

el trabajo de dicha fuerza. Cuando les preguntamos la razón de dicha omisión nos responden sorprendidos en el sentido de que daban por hecho de que el trabajo de la normal siempre era nulo, del mismo modo que para la gran mayoría de alumnos el peso y la normal son la acción y la reacción en la tercera ley de Newton, cosa totalmente errónea.

Nosotros proponemos que en todos los ejercicios se extreme el rigor de ejecución, aunque ello comporte una resolución más larga de lo habitual. La introducción de patrones o métodos rígidos permiten que el alumno siga paso a paso unas pautas que le sirvan para cualquier tipo de situación, siempre dentro del mismo entorno o temática. Cuando forzamos a que el alumno escriba y calcule el trabajo de la normal, aunque de antemano sabemos que es nulo, de forma implícita en su esquema mental reforzamos la idea de que hay que evaluar el trabajo para cada una de las fuerzas implicadas.

2.3. Organización de datos y resultados

Si nos remontamos a los métodos convencionales para la resolución de ejercicios observamos que una de las tareas que se debían realizar una vez se había leído el enunciado era anotar todos los datos que aparecían para luego introducir los mismos en la ecuación o fórmula correspondiente para sí obtener los resultados esperados. En nuestro método propuesto procederemos de una manera en cierto modo similar a la que acabamos de describir. Para el caso que nos ocupa proponemos usar una matriz en donde anotaremos todos los elementos importantes: fuerzas, trabajos y energías potenciales. En cierto modo es una forma de ordenar y contabilizar todos los términos que intervienen en el teorema. Hay que decir que estas estrategias de resolución no aportan nada nuevo en cuanto a conceptos físicos se refiere pero sí permiten tener una tabla de control que permite ver de un modo más visual todo lo que concierne la resolución del ejercicio permitiendo que el alumno tenga un esquema mental más claro y conciso.

Para ello el alumno debe seguir unos pasos especificados que consisten en los siguientes puntos:

- Dibujar todas y cada una de las fuerzas que intervienen en el cuerpo, lo que también se conoce como diagrama del cuerpo libre
- Anotar en la primera columna de la tabla dichas fuerzas. De este modo aseguramos que se contabilizan todas.
- En la segunda columna se anota el trabajo que realiza cada fuerza en el trayecto considerado. En la mayoría de ejemplos que se proponen este trabajo solo consiste en el producto de la fuerza por la distancia. En este sentido cabría la posibilidad de generar una nueva columna con las distancias recorridas por cada fuerza.
- En la tercera columna se anota la variación de energía potencial que solo consiste en cambiar de signo la casilla que corresponde al trabajo. De este modo reforzamos la idea de la definición que hemos dado para la variación de energía potencial. Aquí también cabe la posibilidad de generar dos columnas más para anotar la energía potencial inicial y final de cada trayecto.

Una vez rellena la tabla ya podemos pasar a formalizar todos los términos del

principio de conservación de la energía, en donde por supuesto va a aparecer la energía cinética y que no hemos incluido en la tabla. Aunque hemos observado algunas técnicas en libros de texto donde incluyen una pequeña tabla para contabilizar las energías cinética y potencial y evidentemente todo lo que sea planificar y ordenar siempre ayuda a la mejor comprensión, este proceder no contempla la posibilidad que el alumno se deje de contabilizar fuerzas que pueden intervenir en el cómputo de los trabajos.

3. EJEMPLOS DE APLICACIÓN

De todo lo expuesto anteriormente vamos a exponer un ejemplo práctico para una mayor comprensión de toda la problemática planteada. Para ello usaremos dos ejemplos extremos: el sencillo y el complicado. Cuando hablamos de sencillo y complicado siempre se entiende desde el punto de vista del alumno. Observaremos que los dos ejemplos obedecen a un mismo comportamiento de aplicación pero desde el punto de vista del alumno representan dos empresas totalmente distintas. El objetivo del método propuesto es que el alumno vea los dos ejemplos igual de fáciles o igual de difíciles y obtenga éxito en las dos “aventuras”.

3.1. Ejemplo convencional

Consideremos un caso típico donde dos bloques están sujetos por una cuerda: uno de ellos se mueve por el plano horizontal y el segundo se desliza por el plano inclinado. Existen muchas variantes del mismo pero generalmente no nos apartamos demasiado de este esquema inicial. En estos ejemplos las fuerzas normales no realizan trabajo, cuando consideramos al sistema de los dos bloques las tensiones son fuerzas internas donde su trabajo se compensa. Cuando aplicamos el teorema de conservación al conjunto solamente interviene el peso y si cabe alguna fuerza de rozamiento.

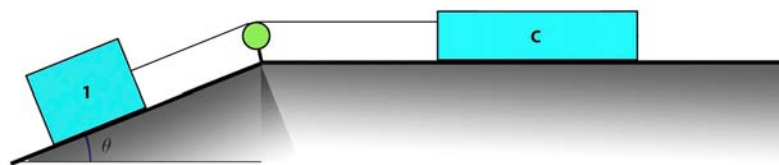


Figura 1. Dos cuerpos sujetos por una cuerda.

La conclusión que sacará el alumno de forma implícita en sus esquemas mentales es que cuando haya fuerzas normales no las va a considerar y si hay tensiones tampoco. Evidentemente esta conclusión funcionará en los casos que tengan un perfil similar al ejemplo y por tanto obtendrá con éxito los ejercicios que se le propongan y que mantengan esta estructura similar.

3.2. Ejemplo modificado

Si partimos del ejemplo anterior y añadimos más cuerpos modificando de forma sustancial el mismo, es muy probable que el alumno tenga varias opciones: o bien desistir en el intento o, en el caso de intentar buscar una solución, se deje un montón de

términos por las razones que hemos expuesto en el apartado anterior. En el ejemplo hemos añadido dos bloques más encima del bloque C y otro bloque junto al bloque 1: de este modo tendremos fuerzas normales tanto en la dirección perpendicular al movimiento como en la dirección paralela al mismo.

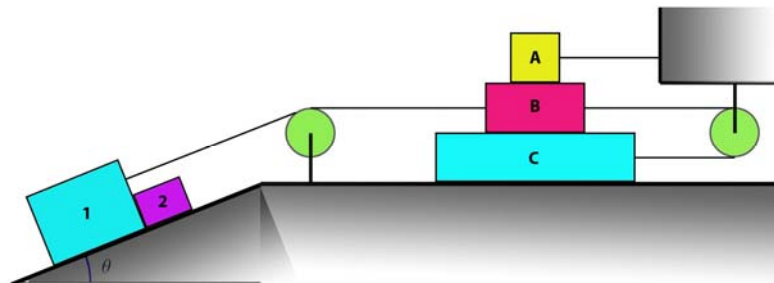


Figura 2. Conjunto de bloques y cuerdas

Lo que pretendemos es que el alumno analice todos los ejercicios por un igual y los trate con la misma metodología de planteamiento y resolución. Cabe decir que este tipo de ejercicio como está ubicado en el tema de trabajo y energía es posterior al tema de dinámica de la partícula y conlleva por supuesto dos niveles de actuación: en un primer lugar hace falta indicar las fuerzas que reciben los cuerpos y en un segundo lugar aplicar el teorema de conservación, una vez disponemos de las fuerzas que intervienen. Para el primer punto también tenemos una metodología específica que permite que el alumno indique correctamente todas las fuerzas que recibe cada bloque.

Consideremos pues que este análisis ya se ha realizado y partiremos del diagrama del cuerpo libre para los cuerpos 1 y 2 y a partir de aquí aplicaremos el teorema de conservación para el cuerpo 2. El objetivo consiste en que el alumno aplique de forma correcta este teorema a todos los cuerpos del enunciado. En particular expondremos la metodología para el caso del cuerpo 2.

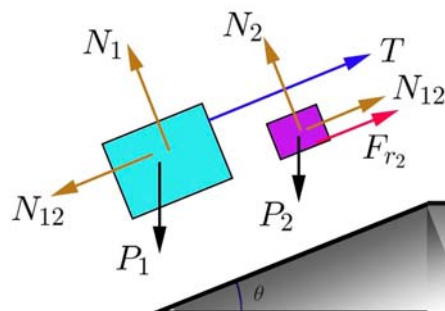


Figura 3. Diagrama del cuerpo libre

Podemos observar que en el cuerpo 2 existen dos fuerzas normales: la que tiene lugar entre el cuerpo 2 y el plano inclinado, que ya sabemos que no realizará trabajo, y la fuerza de contacto con el cuerpo 1, que sí realizará trabajo, al igual que la fuerza de rozamiento. Para ello anotaremos en la tabla las fuerzas, los trabajos y las variaciones de energía potencial. En el gráfico de hemos omitido aspectos menos relevantes para el propósito que se trata como por ejemplo la distancia d recorrida por el bloque, así como

la altura h que ha descendido, para poder expresar el trabajo correspondiente. Es importante también reseñar que en la tabla en lo que se refiere a trabajo y variación de energía potencial existe únicamente la diferencia del signo menos, consecuencia de la propia definición de energía potencial.

<i>Fuerza</i>	<i>Trabajo</i>	ΔE_p
N_2	0	–
N_{12}	$-N_{12} \cdot d$	–
F_{r2}	$-F_{r2} \cdot d$	–
P_2	$+P \cdot h$	$-P \cdot h$

Tabla1. Matriz de fuerzas, trabajos y energías potenciales

Así podemos escribir el teorema de conservación del siguiente modo:

$$\Delta E_c + \Delta E_p = W(F)$$

$$\frac{1}{2}mv^2 - 0 + (-P \cdot h) = 0 - N_{12} \cdot d - F_{r2} \cdot d$$

donde observamos que solo hace falta poner todos los términos anotados previamente en la matriz de control para que no se nos “escape” ninguno. En la medida en que el alumno adquiere destreza en el uso de esta tabla o matriz puede ir suprimiendo este protocolo para simplificar un poco el proceso. Si recordamos cuando aprendimos a sumar en nuestra etapa escolar, en el momento que la suma de dos dígitos superaba el valor de 10 poníamos un número 1 en pequeño y decíamos “me llevo 1”. En el momento en el que teníamos mayor agilidad lo suprimíamos porque en nuestro esquema mental estaba ya muy claro. Podemos decir que, salvando las distancias, lo que hacemos con esto es algo parecido. No deja de ser una forma de reforzar la aplicación del principio con una disciplina rígida que ayuda al alumno a potenciar sus esquemas mentales.

4. CONCLUSIONES

Después de la experiencia desarrollada podemos enumerar diversas conclusiones positivas que el alumno adquiere, fruto de la metodología aplicada:

- Se abandona la dependencia de la fórmula en beneficio del método.
- Aumenta su capacidad de análisis y consigue estructurar mejor los ejercicios desde los más simples hasta los más complejos.
- Crece su autoestima ya que consigue vencer los ejercicios que antes le resultaban difíciles.
- Adquiere un modelo cognitivo y refuerza su metaconocimiento.

REFERENCIAS

- Ausubel, D. (2002). Adquisición y retención del conocimiento. *Una perspectiva cognitiva*. Barcelona: Paidós.
- Ausubel, D., Novak J. D., y Hanesian, H. (1986). *Educational psychology: a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Flavell, J. y Wellman, H. M. (1977). Metamemory en R. V. Kail y J. W. Hagen, *Perspectives on the Development of Memory and Cognition*, Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Hirschfeld, L.A. y Gelman, S.A. (2002). Hacia una topografía de la mente: una introducción a la especificidad de dominio. En: L.A. Hirschfeld y S.A. Gelman (Eds). *Cartografía de la mente. La especificidad de dominio en la cognición de la cultura (Vol. I. Orígenes, procesos y conceptos, (23-67)*. España: Gedisa.
- Soler, J., Villasevil, F. X., (2008). Análisis de los ejercicios de física mediante bloques funcionales con entradas y salidas de variables. *XVI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas, Cádiz*. ISBN: 978-84-608-0805-3
- Villasevil, F. X., López, A. M. y Rosado, L. (2001). Cognitive and meta-cognitive model in electronics engineering teaching. *31th ASEE / IEEE Frontiers in Education Conference, Reno, NV*.