

La autorregulación metacognitiva como medio para facilitar la transferencia en mecánica

Hinojosa, Julià y Sanmartí, Neus

Departamento de Didáctica de las Matemáticas y las Ciencias Experimentales. Universidad Autónoma de Barcelona. Grupo LiEC. España.

[Recibido en julio de 2014, aceptado en noviembre de 2014]

En este trabajo se analizó una actividad de evaluación inicial, en 1º de bachillerato, en la que los alumnos debían usar el modelo de mecánica newtoniana aprendido en cursos anteriores para lanzar hipótesis, justificar predicciones y argumentar conclusiones en base a los resultados de un trabajo experimental. El análisis de estas justificaciones posibilitó identificar algunas de las dificultades que se han de superar y, por otro lado, se analizaron las valoraciones de las estrategias de enseñanza orientadas a promover en los estudiantes una reflexión de tipo metacognitivo sobre cómo aplican los conceptos. Se ha comprobado que si se promueve en los estudiantes esta reflexión, el nivel de interiorización de las ideas trabajadas es mayor y mejora la coherencia entre el pensamiento y la observación.

Palabras clave: Evaluación inicial; transferencia; mecánica; metacognición; autorregulación; educación secundaria.

Metacognitive self-regulation as a means to facilitate transference into mechanics

In this paper a pre-assessment activity of Newtonian mechanics for 17 year-old students is analyzed. In the activity, students need to use Newtonian mechanics to formulate hypothesis, justify predictions and draw conclusions based on the results of an experiment. The analysis of these justifications helps to identify some of the difficulties that the students encountered. The assessment of metacognitive reflection about how theoretical concepts are used is also analyzed. Results show that when students use metacognitive strategies, a deeper understanding of the ideas, as well as a better coherence in between the mental model and the observation, is identified.

Keywords: Pre-assessment activity; transfer; mechanics; metacognition; self-regulation; secondary education.

Introducción y objetivos

El modelo de mecánica newtoniana es útil para explicar fenómenos muy diversos y el reto de su enseñanza es que los estudiantes sean capaces de utilizarlo en situaciones y contextos diversos. Se estudia a lo largo de la secundaria, y no siempre los profesores ayudamos a construirlo teniendo en cuenta las dificultades que conlleva su aprendizaje.

Hace más de 40 años que se conocen dichas dificultades (por ejemplo, los estudios de Rosalind Driver y de Laurence Viennot son de los años 70), pero lo cierto es que las metodologías de enseñanza aplicadas no han conseguido ayudar a superarlas. En este trabajo se ha estudiado la aplicación de una actividad en la que se promueve especialmente la toma de conciencia de dichas ideas y de las dificultades para transferir los modelos teóricos trabajados en cursos anteriores que, en principio, se consideraban aprendidos.

Los objetivos de este trabajo son, en primer lugar, identificar las dificultades que tiene el alumnado cuando utiliza el modelo de mecánica newtoniana para argumentar, evaluar y revisar sus ideas al interpretar los datos de un trabajo experimental. En segundo lugar, analizar las valoraciones de los estudiantes de las intervenciones de enseñanza orientadas a promover en ellos una reflexión de tipo metacognitivo sobre cómo aplican los conceptos.

Referentes teóricos

En el marco de este trabajo se habla de transferencia para referirse a la capacidad de aplicar lo aprendido en una situación a otras. Se parte de la concepción de que para que la transferencia se produzca, cada estudiante tiene que haber construido un esquema o modelo teórico suficientemente general a partir de una o más experiencias que tengan mucho sentido para él, y ha de ser capaz de interrelacionar este modelo teórico con la representación que se hace de la nueva situación en la que ha de transferirlo (Sanmartí, Burgoa y Nuño, 2011). Pero sería erróneo pensar que la transferencia es un proceso que va del modelo a la aplicación, ya que de hecho al aplicar también se revisa el modelo. Cada nueva situación conlleva poner a prueba el modelo teórico y reformularlo.

Modelos y autorregulación metacognitiva

Se parte de la concepción de modelo de Schwarz *et al.* (2009), que lo definen como una representación abstracta y simplificada de un sistema que hace visibles sus rasgos clave y puede usarse para explicar y predecir fenómenos científicos. En nuestro caso el modelo de mecánica que consideramos básico, potente y sencillo de manejar se relaciona con ideas clave sobre las masas y los puntos que las representan, y sobre sus interacciones -las fuerzas- y las leyes que las gobiernan -las Leyes de Newton-.

Cualquier persona desarrolla y utiliza modelos explicativos sobre la realidad que le rodea. La génesis y la evolución de muchas de estas ideas se deben a un proceso natural pero complejo, en el que son fundamentales las experiencias de cada uno, las interacciones con otras personas y las propias capacidades de razonamiento. En la escuela se incide en estos tres campos para ayudar a evolucionar los modelos iniciales elaborados, pero este cambio no es fácil y a menudo las ideas alternativas y errores conceptuales se mantienen. Muchos autores, desde Piaget hasta Kuhn pasando por los teóricos del cambio conceptual (Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982), han planteado la importancia de la toma de conciencia de las propias concepciones con el fin de provocar un conflicto cognitivo que se considera necesario.

Lo cierto es que los modelos no cambian sólo a partir de provocar un conflicto, sino que es necesario reconstruirlos a partir de un proceso evolutivo (Oliva, 2001) que a menudo es largo y exige muchos pequeños “conflictos” y pequeñas tomas de conciencia como resultado de aplicarlos en situaciones diversas. Por ello, tal como sugiere Duit (2009), sería más apropiado hablar de “reconstrucción conceptual” que no de cambio conceptual. En este proceso de reconstrucción parece razonable pensar que el aprendizaje no sólo es el resultado de la transformación de las ideas iniciales en abstracto, sino también, y muy especialmente, de transferirlas en la interpretación de situaciones diversas, a través de procesos en los que se ven implicadas algunas habilidades o esquemas de razonamiento con un cierto nivel de generalidad (Oliva, 1999).

Estos procesos requieren poner a prueba el modelo teórico a partir de aplicarlo en situaciones reales y observables, e identificar pruebas que lo avalen (Giere, 1999). Esta práctica de evaluar modelos coordinándolos con pruebas posibilita al alumnado, si se le anima a ello aplicando estrategias de tipo metacognitivo, tomar conciencia del grado de coherencia entre el modelo y las observaciones realizadas, y revisar tanto las ideas como la forma de expresarlas. Pero una condición es que las situaciones planteadas tengan sentido para el alumnado, es decir, sean problemas que enlacen con su cotidaneidad y se los puedan representar como “auténticos” (Jiménez-Aleixandre, 2010).

A lo largo de la escolaridad los modelos teóricos básicos se van poniendo a prueba en distintas ocasiones y cursos y, poco a poco, debería aumentar su grado de complejidad y abstracción.

Por ello son importantes las actividades de evaluación diagnóstica inicial, tanto para el profesorado como para los propios estudiantes. Para el profesorado, porque la información que proporcionan estas actividades sobre las representaciones mentales y las estrategias que utilizan los alumnos para llegar a un resultado determinado y sobre su capacidad para reconocer si sus explicaciones son consistentes con las observaciones, le posibilita comprender por qué un estudiante no entiende un concepto o no sabe hacer una determinada tarea o no es consciente de sus dificultades (Sanmartí, 2007a) y así poder ayudarle a revisar su modelo explicativo.

Y para el alumnado son de interés si posibilitan reconocer aplicaciones del nuevo conocimiento y las puede utilizar para autorregularse metacognitivamente. Schraw, Crippen y Hartley (2006) señalan que el aprendizaje autorregulado tiene tres componentes principales: la cognición, la metacognición y la motivación. La cognición incluye las habilidades necesarias para codificar, relacionar, jerarquizar, memorizar y recuperar información; la metacognición integra estrategias que permiten a los estudiantes comprender y controlar sus procesos cognitivos; y la motivación incluye las creencias y actitudes que afectan el uso y desarrollo de las habilidades cognitivas y metacognitivas. Por tanto, una actividad de evaluación inicial con finalidades autorreguladoras, habría de favorecer el desarrollo en el alumnado de estos tres componentes, al mismo tiempo que estimular su disposición hacia el aprendizaje.

Muchas veces estas actividades se plantean para comprobar si los estudiantes saben repetir los conceptos y procedimientos enseñados anteriormente, pero aprender ciencias ha de incluir necesariamente la práctica del trabajo científico y uno de sus componentes es evaluar si se es capaz de aplicar adecuadamente aquello que supuestamente se ha aprendido a la interpretación de nuevas situaciones. En el aprendizaje y en la ciencia, para favorecer la evolución de los modelos teóricos es necesario partir del error, identificarlo y discutirlo explícitamente (Astolfi, 1999). Parafraseando a Bunge (2013),

“los modernos sistemas de conocimiento científico son como organismos en crecimiento: mientras están vivos cambian sin pausa. Esta es una de las razones por las cuales la ciencia es éticamente valiosa: porque nos recuerda que la corrección de errores es tan valiosa como el no cometerlos, y que probar cosas nuevas e inciertas es preferible a rendir culto a las viejas y garantizadas. La ciencia, como los organismos, cambia a la vez internamente y debido a sus contactos con sus vecinos, es decir, resolviendo sus problemas específicos y siendo útil en otros campos” (p. 40).

Concepciones alternativas sobre mecánica

Como es sabido, numerosas investigaciones (Pfundt y Duit, 2009) han mostrado que antes de enseñar sobre un tema determinado, los estudiantes poseen habitualmente un conjunto de ideas y formas de razonar muy diferentes a las de la física actual. Estas ideas son con frecuencia extremadamente resistentes al cambio por lo que se mantienen a lo largo del tiempo, incluso después de haber cursado estudios sobre el tema.

En relación al conocimiento sobre la mecánica newtoniana, el modelo del alumnado se fundamenta en diversas ideas: una fuerza produce un movimiento; una fuerza constante produce una velocidad constante y la intensidad de dicha velocidad es proporcional a la fuerza; la aceleración se debe al aumento de la fuerza; en ausencia de fuerza los objetos están en reposo o detenidos; la fuerza es algo poseído por los cuerpos y la pueden ejercer, hecho que depende únicamente del cuerpo que la ejerce y no de la interacción mutua; y la fuerza no reacciona sobre un objeto en reposo (Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; McDermott, 1998; Viennot, 2002).

Tal como indica Viennot (2002), para superar estas dificultades no nos podemos quedar con una serie de recetas que nos saquen del atolladero sino que se ha de ir más allá, con un

conjunto de propuestas que contribuyan a instalar, junto al modo de pensar natural de los estudiantes, un rival serio cuya coherencia y poder predictivo parezcan superiores. Para ello se requiere enseñar una actitud y habilidades de adaptación y atención permanente que faciliten el acercamiento entre el conocimiento que se aprende y el razonamiento natural. Nuestra hipótesis es que actividades de autorregulación como la que se ha aplicado en este trabajo pueden ser idóneas para conseguir un aprendizaje más significativo.

Caracterización de la actividad aplicada

La actividad que es objeto de análisis en este escrito se llevó a cabo en una escuela concertada de Barcelona donde la mayoría de los alumnos pertenece a un status socioeconómico medio-alto. Los alumnos con los que se realizó la actividad eran de 1º de bachillerato y todos se habían iniciado en el estudio de la dinámica clásica el año anterior. En concreto se habían introducido algunas fuerzas: peso, normal, tensión (y empuje), rozamiento y elástica, y las Leyes de Newton.

Dicha actividad buscaba promover en el alumnado una actividad científica escolar (Izquierdo, Sanmartí y Espinet, 1999) en la que los jóvenes aprendieran ciencia a partir de interrelacionar el pensamiento (el modelo teórico), la acción (para recoger pruebas) y la comunicación (para hablar y escribir sobre la coherencia entre ideas y datos). Se animó a los estudiantes a hacer predicciones, a ponerlas a prueba, y a hablar y escribir sobre ellas, de forma que este hablar y escribir les posibilitara tomar conciencia de las incoherencias y autorregular y dar un mejor significado a aquellas ideas y experimentos (Sanmartí, 2007b). Para que los alumnos aprendan ciencia y sepan utilizar sus conocimientos científicos en distintos contextos y situaciones, es decir, sean competentes científicamente, es absolutamente imprescindible que “hablen y escriban” ciencia (Martín-Díaz, 2013).

La actividad (adaptada de Guidoni, 1990) se realizó en grupos de 4 personas que disponían de un bastón, una báscula y el guión de la actividad (ver [anexo 1](#)). Inicialmente se tenía que predecir el peso que marcaría la báscula situando el bastón en distintas posiciones (tarea 1) y justificar dicha predicción (tarea 2). Estas tareas se realizaron individualmente para que cada alumno o alumna activase y utilizase sus conocimientos previos y, posteriormente, pudiese autoevaluarse. Seguidamente se discutieron en pequeño grupo los distintos puntos de vista, estimulando la enseñanza entre iguales, y se consensuó una nueva justificación. Una vez llegaron al consenso se realizó la experiencia (tarea 3) y, finalmente, discutieron los resultados que confirmaban o refutaban sus previsiones y escribieron sus conclusiones (tarea 4). En la fase de trabajo en pequeños grupos, el profesor circulaba entre ellos, aclarando dudas y respondiendo a sus preguntas.

Posteriormente, días más tarde, se realizó una sesión en gran grupo, en la que el profesor compartió con los estudiantes los resultados del análisis realizado, que se discutieron y evaluaron. La principal finalidad de esta sesión fue promover la actividad de autorregulación metacognitiva de los estudiantes ya que valoramos que sólo en la medida en que el alumno se sienta comprometido, cognitiva y afectivamente, con lograr hacer evolucionar sus concepciones, podremos esperar un cierto éxito en nuestro trabajo de enseñar ciencias (Pintrich, Marx y Boyle, 1993).

En este escrito analizamos las respuestas escritas en relación a la tarea 1 (individual), y a las tareas 2 y 4 (consensuadas en pequeños grupos), que los alumnos entregaron adjuntos al guion facilitado. Por otro lado, después de haber evaluado la actividad, para que las opiniones expresadas no se vieran influidas por el temor a la calificación, se pidió a los estudiantes que valorasen por escrito, abiertamente y argumentando con ideas y ejemplos, la posible influencia

en su aprendizaje de: a) la discusión en el pequeño grupo, b) la realización del experimento, y c) la evaluación y regulación en gran grupo. También se pidieron valoraciones generales de la secuencia aplicada en la actividad que, como se ha indicado, empezaba por hacer predicciones, recoger datos que las confirmaban o no, explicar las razones por las que se sienten atraídos por sus ideas previas, identificar las limitaciones de sus puntos de vista y explicar qué les ha ayudado a cambiarlas.

Los datos que se analizan en este artículo fueron los recogidos en el curso 2012-13. A partir de ellos se ha hecho un estudio cualitativo de las dificultades que se han revelado más difíciles de superar a partir de la enseñanza recibida en el curso anterior, y de las valoraciones que hacen los estudiantes sobre el interés para su aprendizaje de las distintas estrategias aplicadas a lo largo de la actividad.

Dificultades y valoraciones del alumnado

Como se ha indicado, las respuestas del alumnado se han analizado teniendo en cuenta:

- a) Las dificultades detectadas al transferir conocimientos trabajados en el curso anterior. Estas dificultades se han clasificado en función de tres grandes categorías que se han considerado las más relevantes desde la enseñanza del contenido y son en las que más se ha incidido en las reflexiones realizadas en el marco del grupo clase orientadas a favorecer su regulación.
- b) Las ideas que refleja el alumnado al valorar cada una de las estrategias didácticas de tipo metacognitivo planteadas a lo largo de la actividad.

a) Dificultades detectadas al transferir conocimientos trabajados en el curso anterior

Presentamos la solución de las tareas 1 y 2 en el [anexo 2](#) para facilitar la comprensión de este apartado.

Destacamos las tres dificultades siguientes como las más relevantes:

a.1) No se identifica cada masa con un punto

Un 70% de los estudiantes no activaron su conocimiento de que las masas se representan mediante puntos. Situaron el punto de aplicación de las fuerzas siguiendo una lógica cotidiana más cerca de un modelo más real, el sólido rígido, pero más complejo de forma que no les ayudó a interpretar lo que sucedía. Las fuerzas quedaban diseminadas por el cuerpo del hombre y al intentar aplicar las Leyes de Newton, esta diseminación, se convierte en una fuente de errores, ya que parecen no estar aplicadas sobre un mismo punto según el modelo. Al no simplificar y abstraer bien la situación real no podían relacionar el modelo de la situación con el modelo físico-matemático (Gómez, Solaz y Sanjosé, 2013).

a.2) Concepción del peso como fuerza de contacto

Más de la mitad alumnos (55%) se referían al peso como una fuerza de contacto que hacen las personas sobre los objetos con los que interactúan. En el caso de nuestra actividad sobre el bastón y la báscula indicaban: “Disminuirá el peso en la báscula, ya que el peso se distribuye entre la báscula y el bastón” o “Parte del peso pasará al suelo a través del bastón y por tanto el peso que recibe la báscula es menor” (caso a). Es conocido que los estudiantes tienen más dificultades para identificar las fuerzas a distancia que las de contacto, ya que el concepto de fuerza comienza desarrollándose a partir de sensaciones relacionadas con el esfuerzo físico (Varela, 2002). El profesor, a lo largo de la actividad, hizo hincapié en que la fuerza no es una característica del objeto sino el medio para describir una interacción entre dos objetos.

a.3) Aplicación no idónea de las Leyes de Newton

Un 74% de los estudiantes, en alguna ocasión, confundían quien realizaba la fuerza y quien la recibía, es decir, mezclaban acciones y reacciones de manera que se podría afirmar que no habían construido un modelo teórico de referencia adecuado (Leyes de Newton). Algunos sumaban acciones y reacciones sobre el mismo cuerpo y otros, aunque intuían las fuerzas que actuaban, no las identificaban como reacciones. Por ejemplo, en el caso de la reacción de la fuerza que hacía la persona sobre el bastón un alumno explicita: “La fuerza con que presionamos la perdemos del peso” (caso a). Otras veces ni las identificaban: “Marcará mayor el peso (la báscula), ya que le estás haciendo una fuerza con el bastón” (caso c).

Al realizar el análisis de la situación real los estudiantes abandonaban los modelos de física escolar y se refugiaban en una lógica difusa (una amalgama de intuiciones y conocimientos alternativos). En unos casos, intuían los resultados pero no eran capaces de encontrar una justificación a través del modelo: “Hemos intuido que marcaría la báscula. Lo que no hemos sabido es explicarlo con las fórmulas”.

En otras ocasiones su lógica les indicaba una solución que no concordaba con los resultados extraídos de la aplicación deficiente del modelo y entonces adaptaban su explicación para ajustar los resultados del modelo teórico a los de su lógica. Por ejemplo, en el caso a) situaban la fuerza que hace la persona sobre el bastón hacia abajo pero luego la sumaban hacia arriba, ya que no identificaban la reacción que es lo que hubieran tenido que sumar.

El profesor, a partir de este análisis que le llevó a priorizar y comprender las posibles causas de las ideas alternativas de los estudiantes, incidió en promover su toma de conciencia y regulación, ya sea cuando interactuaba con los distintos grupos o en la última sesión de evaluación-regulación. Es decir, su actividad docente se centró en ayudarles a “entender porque no entienden” y no tanto en “transmitirles la solución verdadera”, sabiendo que afrontar la superación de dichas dificultades no es algo fácil.

b) Valoración de las estrategias didácticas de tipo metacognitivo aplicadas

En este apartado se recogen reflexiones de los estudiantes sobre las principales estrategias aplicadas para promover la toma de conciencia sobre las posibles consistencias e inconsistencias en cómo aplican sus conocimientos y estimular el recuerdo de sus concepciones y creencias asociadas a las experiencias cotidianas. Estas reflexiones las expresaron por escrito a partir de un cuestionario con preguntas abiertas del tipo ¿Cómo te ha ayudado la discusión en grupo?, ¿Qué beneficios comporta la experimentación en la actividad?, ¿Qué dificultades has tenido? Valora la actividad.

b.1) La discusión en el grupo

La discusión en el grupo pretendía promover la valoración de la consistencia de los razonamientos expresados por cada miembro del equipo al intentar aplicar sus conocimientos previos para interpretar las observaciones realizadas, ya que tenían que defender su posición frente a la de los otros componentes. Al contrastar puntos de vista e intentar consensuarlos, los estudiantes activaban habilidades y estrategias metacognitivas que les posibilitaban tomar conciencia de las incoherencias y autorregularse (Schraw *et al.*, 2006). Muchos de ellos y ellas, en línea con lo indicado, entre otros, por Zion, Michalsky y Mevarech (2005), confirmaban con sus comentarios la ayuda y los beneficios que la discusión en grupo había supuesto para esclarecer sus ideas:

“Hacer la actividad en grupo ayuda, ya que discutes y te planteas preguntas”

“Mis dudas han quedado despejadas en la discusión del grupo”

“Trabajar en grupo me ha parecido útil ya que me ha servido para reflexionar”

Por otra parte su conocimiento evolucionaba en la medida que habían de consensuar una respuesta y, además, se corregían errores menores debidos a descuidos.

“No sabía cómo representar las fuerzas que hace la persona con el palo para marcar la diferencia entre los dos, y el grupo me lo ha dejado claro”

“En un primer momento me he equivocado y, gracias al grupo me he dado cuenta que la fuerza que se hacía al suelo (caso a) no la valorábamos ya que no afecta a la báscula sino al suelo, y sólo se tenía que valorar su reacción”

“No tenía claro como actuaban las acciones y reacciones en el caso c) pero el grupo me lo ha justificado y aclarado”

b.2) La contrastación de las ideas con las pruebas experimentales

La mayoría de los alumnos reconocía los datos experimentales como pruebas confirmadoras o refutadoras, aunque no siempre encontrasen justificación formal. Cuando no había confirmación experimental activaban su espíritu autocrítico y a menudo explicitaban dónde y porqué estaban fallando.

“Al realizar el experimento nos hemos dado cuenta que la N=P y era debido a que nos hemos dejado de considerar una reacción”

“En el segundo caso (caso c) nos hemos equivocado porque creímos que la fuerza que hacíamos hacia abajo se sumaría al peso, pero hemos visto que el peso que pierde el cuerpo es el mismo que la fuerza que hacemos”

Muchos alumnos confirmaban con sus comentarios la ayuda que había significado la experimentación sobre un fenómeno real: “Al ser una práctica visual, ha sido mucho más sencillo entenderlo”, y remarcan que les ha obligado a relacionar las predicciones con su interpretación: “Creo que esta actividad sirve para poder, primero de todo, hacer predicciones de lo que nosotros creemos y después comprobar si lo que suponemos corresponde con la realidad”.

Sin embargo, cuando al realizar el experimento cometían errores que les conducían a los mismos resultados (cualitativos) que habían previsto, no se activaba este tipo de reflexión. En gran parte se debía a que buscaban confirmar su predicción y creían que las diferencias entre su predicción y su observación eran debidas a errores en la forma de realizar el experimento y no a sus ideas. Por ello, en algunos casos, la contrastación entre predicción y experimentación no era suficiente para ayudar a revisar el modelo explicativo inicial.

b.3) La corrección en el marco del grupo clase

Los estudiantes valoraron que la corrección que el profesor promovió, al analizar y discutir las distintas ideas expresadas en los trabajos escritos, les proporcionó un buen instrumento para acabar de aclarar sus ideas y autorregular su aprendizaje, incluso en aquellos casos en los que no avanzaron a partir de contrastar los datos obtenidos con sus ideas previas:

“La discusión en clase aclara las dudas planteadas en un principio”

“He visto claros los errores cometidos...”

“Esta actividad la he encontrado difícil para ser una actividad de principio de tema, pero la corrección me ha ayudado a mejorar”.

Como se aprecia en esta última cita había alumnos que creían que la actividad habría sido más provechosa como actividad de aplicación al final del tema, ya que estaban acostumbrados a que primero el profesor explicase la “teoría” para luego aplicarla de forma más o menos reproductiva a casos concretos. Pero también había alumnos que valoraban el hecho de que la actividad fuese de exploración:

“La actividad me parece muy buena, ya que cómo aun no sabíamos mucho sobre el tema tuvimos que pensar”.

El profesor, y también los alumnos, no sólo identificaban los errores y cómo no volver a cometerlos, sino que se analizaban sus posibles causas, es decir, buscaban entender por qué el razonamiento inicial no era idóneo. Así un alumno que había asociado fuerza y movimiento explicitaba “Me he equivocado (caso c) porque me he dejado la reacción del palo” y el profesor incidió en que “tendemos a no tenerlo en cuenta, ya que nos cuesta reconocer que una superficie inmóvil pueda ejercer una fuerza, por ejemplo, que la mesa haga una fuerza sobre un libro que está encima de ella...”. Y promovió que los alumnos se pusieran el libro sobre la mano como ejemplo de situación que posibilita intuir mejor la fuerza de reacción.

Este tipo de interacción comporta autorregular, al mismo tiempo, las ideas, las observaciones y la forma de comunicar unas y otras, componentes básicos de toda actividad científica escolar (Izquierdo, Sanmartí y Espinet, 1999). Todo ello sin que se generen emociones negativas, sino más bien aquellas que son fruto de reconocer que ahora se es capaz de entender y explicar algo mucho mejor que antes.

Reflexiones finales

Es sabido que uno de los problemas didácticos más difíciles que hemos de afrontar el profesorado es el de la regresión a las ideas originales alternativas pasado un corto periodo de tiempo después del estudio de un contenido (Driver, 1988; McDermott, 1998; Georghiades, 2000). De hecho, la mayoría de los estudios muestra que las viejas ideas permanecen vivas cuando se interpretan situaciones contextualizadas particulares (Duit y Treagust, 2003).

En este estudio se ha podido comprobar que si se dan a los estudiantes oportunidades para pensar en sus ideas iniciales sobre cómo explicar un fenómeno que observan, para hablar sobre ellas y compararlas con las de los compañeros y, al mismo tiempo, con las de la ciencia, a partir de ir promoviendo procesos metaconceptuales, su percepción es la de que entienden mejor los conceptos y principios científicos. Como indica uno de los estudiantes: “En esta actividad me he planteado cuestiones sobre las fuerzas que nunca antes se me habían ocurrido y he comprendido mejor el comportamiento de las fuerzas entre diferentes cuerpos”.

A igual que en los trabajos de Blank (2000) y Yuruk, Beeth y Andersen (2009), se podría afirmar que el nivel de interiorización de las ideas trabajadas es mayor y se mantienen más en el tiempo si se tiene un metaconocimiento sobre el cambio de sus puntos de vista iniciales hacia las perspectivas más acordes con los de la ciencia actual (Duit y Treagust, 2003). Aunque no se ha realizado un estudio sobre la persistencia de las nuevas ideas a lo largo del tiempo, sí que se ha podido comprobar en otros momentos del curso, cuando se trataban otros contenidos más o menos relacionados, que los estudiantes no sólo mejoran sus calificaciones sino que, sobre todo, muestran una mayor madurez en sus justificaciones.

Las estrategias aplicadas en el marco de la realización de la actividad se han demostrado productivas, ya que han posibilitado que los estudiantes reconozcan que no habían interiorizado adecuadamente las ideas trabajadas en cursos anteriores y que se planteen la necesidad de revisarlas. La contradicción entre sus observaciones y sus ideas, y la constatación de que a pesar de haber aprendido sobre el tema no son capaces de explicar los datos, les crea la necesidad de comprender. No toda la literatura está de acuerdo en la importancia de partir de esta insatisfacción (Potvin, Mercier, Charland y Riopel, 2011), pero nuestra posición es que para transferir es necesario esta toma de conciencia, siempre que se ayude a aceptar emocionalmente que los errores son algo normal en todo proceso de aprendizaje y que aprendemos a partir de ellos. Las personas que son conscientes de los cambios en sus ideas son menos propensas a usar sus concepciones previas, ya que este proceso de seguimiento tiene una capacidad para generar información acerca de la validez de sus ideas actuales y anteriores, así como sus justificaciones de los cambios en ellas (Yuruk *et al.*, 2009).

Algunas veces las ideas de los estudiantes son consistentes con su percepción de la realidad, ya que aplican razonamientos propios del “sentido común”, pero como hemos visto pueden ser al mismo tiempo inconsistentes con los datos y explicaciones científicas. En la actividad aplicada, la necesidad de utilizar sus modelos de mecánica para hacer predicciones, les brinda la posibilidad tanto de reflexionar y discutir sobre la experiencia y sobre las evidencias que puedan obtener, como de relacionar esta experiencia con posibles mecanismos explicativos. De esta forma, pueden transitar gradualmente hacia niveles explicativos más sofisticados y aventurar predicciones sobre el comportamiento de fenómenos naturales que buscan interpretar (Acher, 2012).

Pero al mismo tiempo, el esfuerzo que debe realizar el profesor para comprender las razones de las ideas que expresa el alumnado y de las inconsistencias, le ayuda a planificar su acción docente para poder tener en cuenta de una forma más eficaz las necesidades de los que aprenden (Schwarz *et al.*, 2009). A menudo consideramos poco estas dificultades ya que las suponemos triviales, que lo son para expertos pero no para los aprendices, y no enfatizamos suficientemente trabajar una a una dichas ideas en clase y, muy especialmente, secuenciar la metareflexión sobre ellas de forma que se favorezca una buena progresión en el aprendizaje (Couso, 2013).

En la enseñanza de las ciencias son muchas las investigaciones que reconocen el papel de la metacognición en los procesos de cambio conceptual de los estudiantes (Hennessey, 1999; Vosniadou y Ioannides, 1998; Zion *et al.*, 2005). En este estudio, de acuerdo con Acher, Arcá y Sanmartí (2007) y Schwarz *et al.* (2009), abogamos por la importancia de combinar la experimentación con la construcción de los modelos teóricos en el marco de una actividad científica escolar y superar la tradicional separación entre teoría y práctica, o la consideración de la experimentación como comprobación de la teoría.

En distintos trabajos (Hinojosa y Sanmartí, 2012) hemos podido comprobar que trabajar los procesos metacognitivos con los alumnos, ayudándolos a tomar conciencia de su conocimiento y de sus estructuras conceptuales, mejora tanto su implicación con el aprendizaje como los resultados metodológicos y conceptuales. El ambiente de enseñanza-aprendizaje creado en el aula a través de la implementación de dichos procesos metacognitivos marca un contraste directo con las prácticas pedagógicas que simplemente requieren escuchar y memorizar fórmulas y explicaciones sobre hechos del mundo físico, tal y como ya destacaban Hewson y Beeth (1995). A nivel afectivo el alumno interpreta estas estrategias metacognitivas como un acto de compromiso del profesorado por su educación. Pero este funcionamiento solo se puede lograr cuando las ideas, presuposiciones y sentimientos de los estudiantes se convierten en una parte integral del quehacer diario del aula, es decir, se pasa de una enseñanza centrada en el profesor a otra centrada en el alumno (Potvin, Riopel, Masson y Fournier, 2010).

No hay duda que falta mucha más investigación para poder dar respuesta al problema del cambio o reconstrucción conceptual en el aprendizaje de las ciencias. Pero de esta experiencia y otras muchas que se están llevando a cabo (Schraw *et al.*, 2006; García-Carmona, 2012) se puede deducir que la implementación de estrategias orientadas a la autorregulación de tipo metacognitivo son un buen camino para mejorar la capacidad de transferir los modelos teóricos de la ciencia a la explicación de hechos y fenómenos, tanto cotidianos como los más propios del contexto académico.

Agradecimientos

Investigación realizada en el marco del grupo LiEC (Llenguatge i Ensenyament de les Ciències), grupo de investigación consolidado (referencia 2014SGR1492) por AGAUR (Agència de Gestió d’Ajuts Universitaris i de

Recerca) y financiada por el Ministerio de Educación y Ciencia (referencia EDU-2012-38022-C02-02). A la Escola Pia Sarrià-Calassanç.

Referencias bibliográficas

- Acher, A. (2012). Como facilitar la modelización científica en el aula. En J.M. Domínguez Castiñeiras (Ed). *XXV Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 15-20.
- Acher, A., Arca, M. y Sanmartí, N. (2007). Modeling as a teaching learning process for understanding materials: A case study in primary education. *Science Education*, 91, 398-418.
- Astolfi, J. P. (1999). *El error un medio para enseñar*. Sevilla: Diada Editora.
- Blank, L. M. (2000). A metacognitive learning cycle: A better warranty for student understanding? *Science Education*, 84, 486-506.
- Bunge, M. (2013). *La Ciencia: su método y su filosofía*. Pamplona: Editorial Laetoli.
- Couso, D. (2013). La elaboración de unidades didácticas competenciales. *Alambique*, 74, 12-24.
- Duit, R. (2009). Conceptual Change Still a Powerful Framework for Improving the Practice of Science Instruction. International Science Education Conference, Singapore.
- Duit, R. y Treagust, D. (2003). Conceptual Change: A Powerful Framework for Improving Science Teaching and Learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671-688.
- Driver, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 109-120.
- Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. (1985). Las ideas de los niños y el aprendizaje de las ciencias. En R. Driver, E. Guesne, y A. Tiberghien (Eds): *Las Ideas científicas en la infancia y en la Adolescencia*. Madrid: Morata/MEC.
- García-Carmona, A. (2012). ¿Qué he comprendido? ¿Qué sigo sin entender?: promoviendo la autorreflexión en clase de ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(2), 231-240.
- Georghiades, P. (2000). Beyond conceptual change learning in science education: Focusing on transfer, durability, and metacognition. *Educational Research*, 42, 119-139.
- Giere, R. N. (1999). Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico. *Enseñanza de las Ciencias, número extra*, 63-70.
- Gómez, C., Solaz, J.J. y Sanjosé, V. (2013). Efectos de la similitud superficial y estructural sobre la transferencia a partir de análogos en problemas de alta y baja familiaridad: primeros resultados. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(1), 135-151.
- Hennessey, M. G. (1999). Probing the dimensions of metacognition: Implications for conceptual change teaching-learning. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Boston, MA.
- Hewson, P. W. y Beeth, M.E. (1995). Enseñanza para un cambio conceptual: Ejemplos de fuerza y movimiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), 25-35.
- Hinojosa, J. y Sanmartí, N. (2012). La autoevaluación en la resolución de problemas de física. En J.M. Domínguez Castiñeiras (Ed). *XXV Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales* (Santiago de Compostela), 59-66.

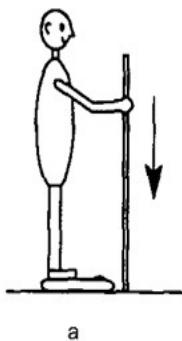
- Izquierdo, M., Sanmartí, N. y Espinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de Las Ciencias*, 17(1), 45-59.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2010). *Competencias en argumentación y uso de pruebas. 10 ideas clave*. Barcelona: Graó.
- Martín-Díaz, M. J. (2013). Hablar ciencia: si no lo puedo explicar, no lo entiendo. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10(3), 291-306.
- McDermott, L. C. (1998). Concepciones de los alumnos y resolución de problemas en mecánica. En A. Tiberghien, E. Leonard Jossem, y J. Barojas (Eds.) *Resultados de Investigaciones en Didáctica de la Física en la Formación de Docentes*. Obtenido de <http://icar.univ-lyon2.fr/Equipe2/coast/ressources/ICPE/espagnol/toc.asp>
- Oliva, J. M. (1999). Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 93-107.
- Oliva, J. M. (2001). Distintos niveles de análisis para el estudio del cambio conceptual en el dominio de la mecánica. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), 89-102.
- Pfundt, H. y Duit, R. (2009). *Students' and Teachers' Conceptions and Science Education*. Obtenido de <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/>
- Pintrich, P. R., Marx, R. W. y Boyle, R. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63(2), 167-199.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. y Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Potvin, P., Riopel, M., Masson, S. y Fournier, F. (2010). Problem-centered learning vs teaching-centered learning in science at the secondary level: an analysis of the dynamics of doubt. *Journal of Applied Research on Learning*, 3, 1-24.
- Potvin, P., Mercier, J., Charland, M. y Riopel, M. (2011). Does Classroom Explication of Initial Conceptions Favour Conceptual Change or is it Counter-Productive? *Research in Science Education*, 42, 401-414.
- Sanmartí, N. (2007a). *Evaluar para aprender. 10 ideas clave*. Barcelona: Graó.
- Sanmartí, N. (2007b). Hablar, leer y escribir para aprender ciencia. Universidad Autónoma de Barcelona. En P. Fernández, (coodra.). *La competencia en comunicación lingüística en las áreas del currículo*. Colección Aulas de Verano. Madrid: MEC
- Sanmartí, N., Burgoa, B. y Nuño, T. (2011). ¿Por qué el alumnado tiene dificultad para utilizar sus conocimientos científicos escolares en situaciones cotidianas? *Alambique*, 67, 62-69.
- Schraw, G., Crippen, K. J. y Hartley, K. (2006). Promoting Self-Regulation in Science Education: Metacognition as Part of a Broader Perspective on Learning. *Research in Science Education* 36, 111-139.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B. y Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- Varela, P. (2002). La resolución de problemas en la enseñanza de las ciencias: *aspectos didácticos y cognitivos*. Memoria presentada para optar al grado de Doctor, Departamento de

- Didáctica y Organización Escolar, Facultad de Ciencias de la Educacion - Centro de Formación del Profesorado, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
- Viennot, L. (2002). *Razonar en física: La contribución del sentido común*. Madrid: A. Machado Libros.
- Vosniadou, S. y Ioannides, C. (1998). From conceptual change to science education: A psychological point of view. *International Journal of Science Education*, 20, 1213-1230.
- Yuruk, N., Beeth, M. E. y Andersen, C. (2009). Analyzing the Effect of Metaconceptual Teaching Practices on Students' Understanding of Force and Motion Concepts. *Research in Science Education*, 39, 449-475.
- Zion, M., Michalsky, T. y Mevarech, Z. R. (2005). The effects of metacognitive instruction embedded within an asynchronous learning network on scientific inquiry skills. *International Journal of Science Education*, 27(8), 957-983.

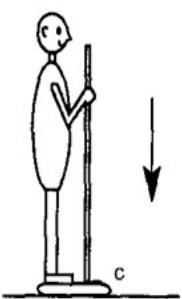
ANEXO 1

Guión subministrado al alumnado. Fuente: Paolo Guidoni (adaptación de Jordi Martínez), en: *Enseñar Ciencia*. Barcelona: Paidós, 1990: 40 y 128.

Explorando las Leyes de Newton



a



c

Tarea 1 (análisis de la situación)

Analizad las siguientes imágenes y dibujad todas las fuerzas que actúan sobre el hombre, el bastón y la báscula. Apuntad, también, quien o que es el agente.

Tarea 2 (justificación a través del modelo)

Determinad las ecuaciones dinámicas según la 2a ley de Newton. Seguidamente despejad el valor de lo que marca la báscula y pronosticad si la báscula marcará más o menos peso del que en realidad pesa el hombre.

Tarea 3 (realización de la experiencia)

En primer lugar pesad y anotad el peso de cada componente del grupo. En segundo lugar realizad las experiencias que se muestran en las imágenes rigurosamente y recoged los valores que marca la báscula en los dos experimentos. Realizad cada medida más de una vez.

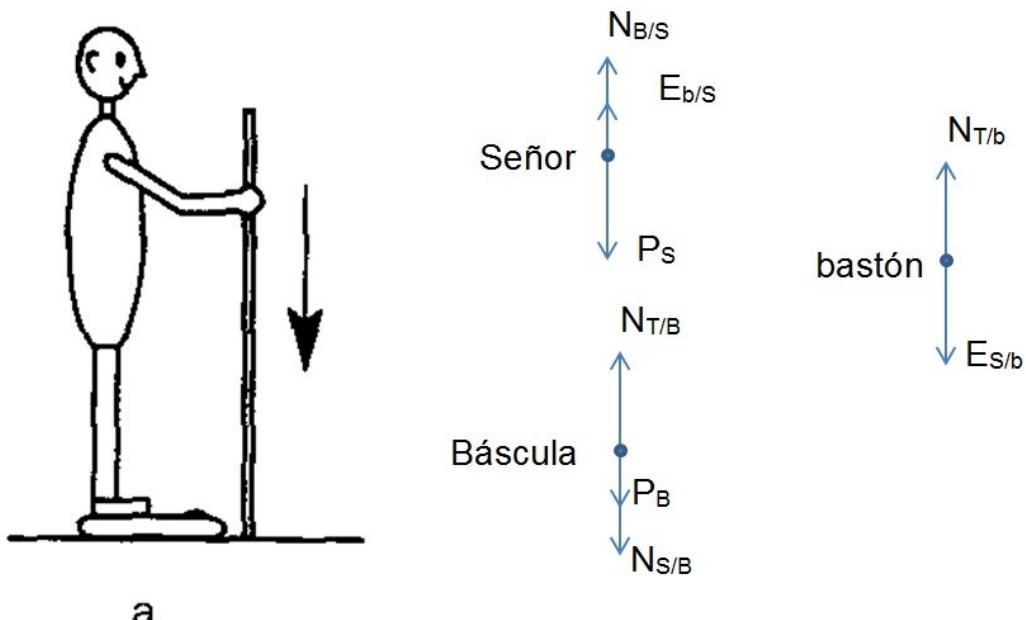
Tarea 4 (discusión de los resultados)

¿Confirman los resultados vuestras previsiones? Si los resultados no se ajustan a lo que esperabais, discutid las posibles causas y argumentad vuestras conclusiones.

ANEXO 2

Se ha de tener en cuenta que se trata un problema de mecánica estática ($\sum F = 0$) para todos los cuerpos y que la báscula marca la normal que realiza. Se desprecia el peso del bastón.

Solución del caso a)



Donde $N_{B/S}$ es la fuerza normal que hace la báscula sobre la persona (Señor) y $N_{S/B}$ su reacción, $N_{T/B}$ es la fuerza normal que hace el suelo (Tierra) sobre la báscula y $N_{T/b}$ sobre el bastón, $E_{S/b}$ es el empuje que realiza la persona sobre el bastón y $E_{b/S}$ su reacción y P_s y P_B son respectivamente el peso de la persona y de la báscula.

Análisis de las fuerzas

$$\text{Sobre la persona: } N_{B/S} + E_{b/S} = P_s$$

$$\text{Sobre la báscula: } N_{T/B} = P_B + N_{S/B}$$

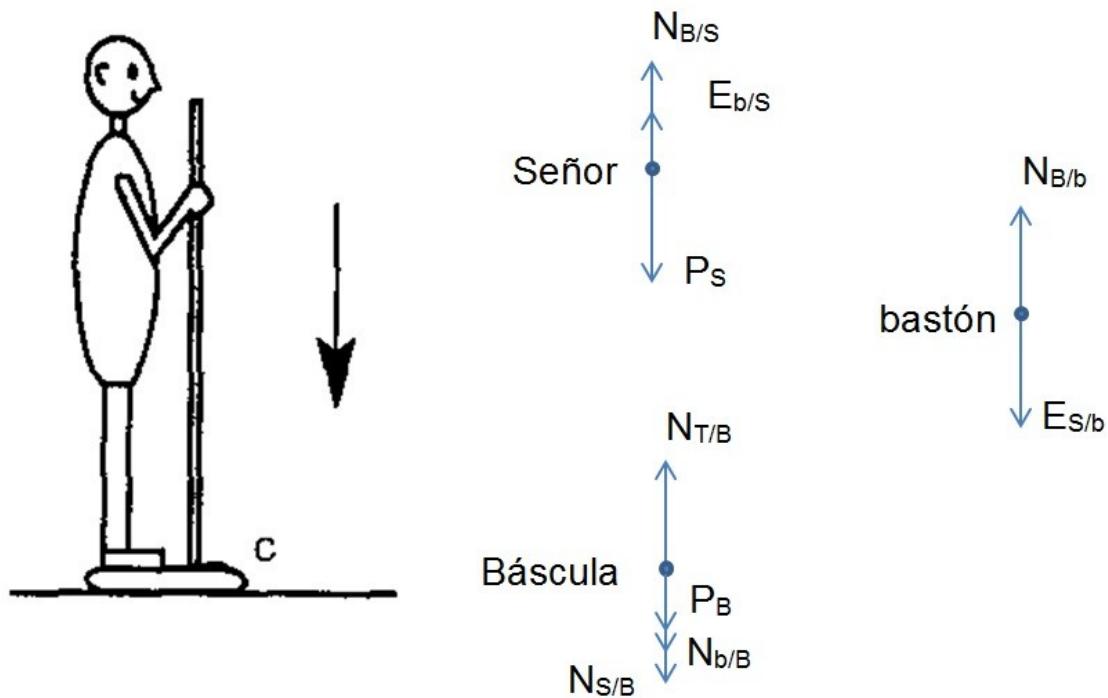
$$\text{Sobre el bastón: } N_{T/b} = E_{S/b}$$

En este caso la única normal que realiza la báscula está en la ecuación de la persona:

$$N_{B/S} = P_s - E_{b/S}$$

Y por tanto la báscula marca menos de lo que pesa la persona

Solución del caso c)



Análisis de las fuerzas (con idéntica notación)

$$\text{Sobre la persona: } N_{B/S} + E_{b/S} = P_s$$

$$\text{Sobre la báscula: } N_{T/B} = P_B + N_{b/B} + N_{S/B}$$

$$\text{Sobre el bastón: } N_{B/b} = E_{S/b}$$

En este caso la báscula realiza dos normales sobre la persona y sobre el bastón:

$$\begin{aligned} N_{B/S} &= P_s - E_{b/S} \\ N_{B/b} &= E_{S/b} \end{aligned} \quad \left. \right\}$$

De manera que

$$N_B = N_{B/S} + N_{B/b} = P_s - E_{b/S} + E_{S/b} = P_s$$

Y por tanto la báscula marca exactamente lo que pesa la persona.