

¿Qué información útil arrojan los errores de los estudiantes cuando resuelven problemas de física?: Un aporte desde la perspectiva de recursos cognitivos

Laura Buteler^{1, 2}, Enrique Coleoni^{1, 2} y Zulma Gangoso¹

¹Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba. Ciudad Universitaria, Córdoba 5000, Argentina. E-mail: lbuteler@famaf.unc.edu.ar

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina

Resumen: Este estudio a) analiza la naturaleza de los errores de 8 estudiantes universitarios de física al resolver dos problemas de óptica geométrica y dos problemas de electromagnetismo, b) propone otros contextos en los que esos errores podrían dar lugar a respuestas correctas y c) discute implicaciones instruccionales a partir de los hallazgos anteriores. El estudio se lleva a cabo utilizando el concepto de *recurso cognitivo* propuesto por Redish (2004) y Hammer et. al (2004,2005). Los resultados muestran que el concepto de *recurso cognitivo* es útil porque permite caracterizar distintos tipos de "errores" en las producciones de los estudiantes, estos errores permiten relevar lo que los estudiantes sí saben, lo cual posibilita orientar el diseño de entornos de aprendizaje.

Palabras clave: Resolución de problemas en Física, errores, utilidad, recursos cognitivos

Title: What kind of useful information can be found in the mistakes students make when solving Physics problems?: A cognitive resources based approach

Abstract: This study analyzes the mistakes made by university physics students when solving two problems on geometrical optics and two on magnetism. It also offers other contexts in which the same reasoning leading to these mistakes could lead to correct answers. Instructional implications are discussed on the basis of the previous results. The study is carried out using the concept of cognitive resources proposed by Redish (2004) and Hammer et. al (2004,2005). Results show that this construct is useful to characterize different kinds of "mistakes" made by students, and also that these mistakes can be regarded as a means of probing what students *do* know and this in turn can be used to direct the design of useful learning environments.

Key words: Physics problem solving, mistakes, usefulness, cognitive resources

Introducción

Sin intentar hacer una revisión exhaustiva -lo cual excede largamente el alcance de este trabajo-, los estudios en resolución de problemas en física que

mayor impacto y difusión han tenido en la comunidad educativa provienen básicamente de dos fuentes. Una de ellas con bases teóricas provenientes de la Psicología Cognitiva, cuyo referente más conocido es la línea de estudios de expertos y novatos que tiene su origen a fines de los años setenta (Maloney, 1994). La otra fuente adopta como paradigma dominante la Epistemología Científica y tiene como principal referente, al menos en el ámbito de habla hispana, al Modelo de Resolución de Problemas por Investigación, desarrollado por Gil Pérez y colaboradores a principios de la década de los ochenta (Gil Pérez y Martínez Torregosa, 1983).

Los estudios de resolución de problemas basados en la línea de expertos y novatos toman como fundamento las diferencias reportadas en la literatura entre estos sujetos (usualmente profesores y estudiantes de física, respectivamente). Estas diferencias son básicamente relativas a la estructura de conocimiento de los sujetos en un dado dominio de la física y a las estrategias utilizadas por los mismos durante el proceso de resolución. El aporte más relevante de esta línea de investigación ha sido poder describir con cierto detalle las características de sujetos expertos y novatos en el dominio de la física ante tareas cognitivas relativas a la resolución de problemas en ese ámbito.

Dentro de este enfoque, las propuestas didácticas que se elaboran intentan promover el desarrollo de comportamientos de "tipo experto". El énfasis de las propuestas está puesto en el resultado que se desea obtener y no en las características del conocimiento que los estudiantes ya poseen. El foco está puesto sobre la adquisición de hábitos o características de comportamiento deseables, y no en el proceso cognitivo por el cual esos hábitos son logrados a partir de lo que ya saben (Leonard et. al, 2002, Foster, 2000, Mestre et. al, 1993, Huffman, 1994, Heller y Heller, 1995)

El Modelo de Resolución de Problemas por investigación (Gil Pérez et. al, 1983) propone una metodología de enseñanza para la resolución de problemas fundamentada en las características (simplificadas) con las que la comunidad científica produce y valida conocimiento. La metodología de enseñanza propone un paralelismo entre el estudiante y un investigador novel, entre el docente y un investigador experimentado y entre el aula y la comunidad científica. En función de este paralelismo se critica y se reformula la concepción tradicional de problema, desestimando la utilidad de los problemas tradicionales de final de capítulo para un aprendizaje que supere la metodología de la superficialidad (proceso de resolución basado en la aplicación acrítica de fórmulas). Asimismo proponen estrategias de enseñanza tendientes a que los estudiantes realicen un tratamiento cualitativo del problema, formulen hipótesis, elaboren posibles estrategias de resolución, analicen los resultados, etc., de manera similar al comportamiento de un científico ante un problema de investigación. Esta propuesta resulta atractiva ya que pone en discusión la concepción tradicional y sumamente afianzada de la tarea de resolución de problemas utilizada desde siempre en el ámbito educativo, pero desestima, como se argumentará más adelante, lo que los alumnos ya saben.

El enfoque anterior ha dado lugar a numerosos estudios de resolución de problemas en ciencias en general y en física en particular, muchos de los cuales tienen por objetivo poner en evidencia cuán lejos los estudiantes instruidos con problemas tradicionales están del proceder científico (Guisasola et. al, 2003, Becerra et. al, 2004). Los resultados muestran los hábitos o procedimientos inadecuados que poseen los estudiantes, los que, según los autores, serían revertidos si se los instruyera con el Modelo de Resolución propuesto por Gil Pérez et. al (1983). Otra vez, el punto real de partida de la propuesta de enseñanza no son los procedimientos o conceptos (caracterizados como inadecuados) que los estudiantes tienen a su disposición, sino las capacidades que los estudiantes deberían tener.

Más allá de las muchas diferencias entre los dos enfoques anteriores, que no se han explicitado en esta breve reseña, se intenta mostrar que las propuestas didácticas que de ellos se desprenden parecen olvidar la relevancia para futuros aprendizajes, de lo que los alumnos sí saben y saben hacer. Muchas de estas propuestas de enseñanza son de carácter prescriptivo. Surgen de la idea básica "qué es lo que yo, como profesor o investigador, considero que el alumno debería hacer para que resuelva problemas de manera parecida a como lo hace un profesor o un investigador" *independientemente* de lo que el alumno ya sabe y sabe hacer. Cabe aclarar que algunas de estas propuestas de enseñanza han apuntado a generar situaciones de conflicto para cuestionar el conocimiento previo de los estudiantes, pero esta actividad ha mostrado ser insuficiente (Chi, 2005, Redish, 2004) para provocar una construcción dinámica del conocimiento (Pozo, 1996). Más bien parecen dar lugar a la construcción de una barrera infranqueable entre lo que los estudiantes realmente creen y la respuesta correcta que deben dar para satisfacer la aprobación del profesor.

En síntesis, la resolución de problemas en física es en sí misma una actividad que da lugar a nuevos aprendizajes y mediante la cual las personas construyen dinámicamente conocimiento a partir de lo que ya saben. Desde esta perspectiva resulta difícil explicar cómo los estudiantes aprenderían a resolver problemas en sintonía con el comportamiento experto o científico a partir de las falencias que numerosas investigaciones reportan que ellos poseen. La lógica de partir desde lo que "no se sabe", o "se sabe mal" no parece ser una buena estrategia para abordar la resolución de problemas en física.

Redish (2004) y Hammer et. al (2004, 2005) basados en parte en los trabajos de diSessa (1993) y diSessa y Sherin (1998), proponen un marco teórico que permite abordar la resolución de problemas en física desde una perspectiva centrada en lo que los estudiantes sí saben. En lugar de centrarse en aquellas falencias que resultan un obstáculo para los aprendizajes, parten de las capacidades (que ellos denominan recursos cognitivos) que los estudiantes poseen, para sacar provecho de ellas durante el proceso de aprendizaje. A continuación se presentan las ideas básicas del desarrollo de Redish (2004) y de Hammer et. al. (2004, 2005) que serán utilizadas en el presente estudio para interpretar protocolos de estudiantes universitarios de

física durante la resolución de dos problemas de óptica geométrica y dos problemas de electromagnetismo.

Marco teórico

Redish y Hammer et. al. proponen la existencia de una colección de *recursos cognitivos* que los estudiantes poseen y activan -en función del contexto- ante tareas cognitivas. En respuesta a determinadas tareas, los estudiantes llevan a cabo una selección, tácita o explícita, de algunos recursos del conjunto. Todo recurso es útil en algún contexto, de lo contrario no existiría como tal. Los recursos no son correctos o incorrectos, sino que pueden ser valorados en términos de su adecuación o no a un contexto dado. Estos recursos cognitivos se activan en función del contexto de aplicación y son clasificados por sus autores en *conceptuales* y *epistémicos*.

Los recursos cognitivos conceptuales son aquellos que les permiten a las personas operar sobre la situación física que se presenta. Estos recursos no están de acuerdo o en desacuerdo con conceptos, principios o leyes físicas. Es el *mapeo* de esos recursos (el proceso de trasladar una idea abstracta a una situación física concreta) sobre algunas magnitudes físicas el que puede dar lugar a un acuerdo o una contradicción con algún principio físico. Desde esta perspectiva, una respuesta equivocada desde el punto de vista de la física podría ocurrir como consecuencia de la activación de un recurso cognitivo- que en otro contexto puede ser muy útil- en un contexto inapropiado.

Hammer *et al.* proponen un ejemplo ilustrativo que muestra la utilidad de los recursos cognitivos conceptuales para interpretar el razonamiento de los estudiantes. Una pregunta usual en los test conceptuales de física consiste en pedir a los estudiantes que digan cuáles fuerzas están actuando sobre un cuerpo cuando es lanzado verticalmente hacia arriba. Muchos estudiantes responden que hay dos fuerzas actuando sobre la pelota: la fuerza peso hacia abajo y una fuerza hacia arriba que va disminuyendo a medida que la pelota va llegando al punto de altura máxima. Cuando se les pregunta explícitamente cuáles son las fuerzas en el punto de altura máxima, responden que las fuerzas hacia abajo y hacia arriba son iguales. Los autores proponen la activación de dos recursos conceptuales distintos para interpretar estas respuestas. El primero denominado "*mantenimiento del agente*" entendido como la necesidad de un agente para mantener un efecto. Este recurso induce a los estudiantes a pensar que un agente debe actuar sobre la pelota para mantener el movimiento hacia arriba. Cuando los estudiantes son preguntados acerca de fuerzas, mapean "agente" sobre "fuerza". Sin embargo, cuando estos estudiantes piensan en el punto más alto de la trayectoria, activan otro recurso: el de "*balance*" ("algo" hacia arriba que debe ser balanceado o compensado con "algo" hacia abajo). Preguntados acerca de fuerzas, responden que las fuerzas hacia arriba y hacia abajo deben ser iguales. Este ejemplo ilustra cómo un marco basado en recursos cognitivos (conceptuales en este caso) se ajusta naturalmente al razonamiento contextualizado observado en los estudiantes, superando a la interpretación en términos de la concepción de que el movimiento requiere fuerza.

Los recursos cognitivos epistémicos son aquellos que operan sobre el conocimiento de las personas y permiten enmarcar una dada tarea. Estos recursos sirven para dar respuesta a la pregunta ¿qué conocimiento se supone que debo poner en juego y cómo se supone que se construye nuevo conocimiento en esta situación? Cuando las personas se enfrentan a un estímulo del entorno, prestan atención a algunos rasgos del mismo, ignorando el resto. Este proceso también incluye la decisión del comportamiento que es apropiado a la situación dada. Hay algo entre la codificación de la entrada sensorial y el proceso de interpretar esa información: un filtro de control que elige cuáles recursos van a ser activados.

El cambio de abordaje que se propone en este estudio supone una postura diferente respecto de la cuestión investigada: se pasa de una visión centrada en el investigador (cuáles factores considero relevantes para la resolución de problemas en física desde el lugar de experto en esa tarea) a una visión centrada en los sujetos (qué es lo que realmente los estudiantes hacen cuando resuelven un problema y cómo se puede sacar provecho de ello). Desde este enfoque, los errores que los alumnos cometen durante la resolución de un problema no son solamente muestras de conocimiento incorrecto, sino que son el resultado de la activación de sus recursos disponibles. Por ello, analizar estos errores permite discutir los aspectos productivos de su conocimiento disponible y, a partir de ello, conjeturar posibles intervenciones instruccionales.

Objetivos del estudio

A partir del concepto de recurso cognitivo, se clasifican distintos tipos de errores que cometen 8 estudiantes universitarios de física durante la resolución de dos problemas de óptica geométrica y dos de electromagnetismo. Esta clasificación se utiliza para obtener información acerca de lo que el alumno sí sabe, a partir de lo cual se predicen contextos en los que tales errores no ocurrirían. También se analizan las consecuencias que los resultados anteriores podrían tener en las decisiones instruccionales durante el proceso de aprendizaje.

El estudio

Se trata de un estudio de casos exploratorio, que prioriza el análisis interpretativo de pocos sujetos. Por esta razón se transcriben extractos de protocolos de los sujetos y su interpretación como parte sustantiva de los resultados. Dada la naturaleza del estudio, se hace necesaria una descripción detallada de la instrucción recibida y acreditada de los sujetos que intervienen en el mismo.

Características de los estudiantes involucrados en el estudio

Se trabajó con 8 estudiantes de licenciatura de Química de una universidad pública de Argentina, que habían aprobado el curso de Física II con nota mayor o igual al 80%. Los estudiantes fueron convocados por los docentes luego del

examen final y ocho de ellos aceptaron voluntariamente participar del estudio. Todos ellos sabían que se trataba de una investigación.

El curso de Física II cubre contenidos de óptica geométrica, óptica física, electrostática, electrodinámica, magnetismo y electromagnetismo. Las clases se dividen en clases teóricas y clases prácticas de resolución de problemas de lápiz y papel. La duración total del curso son 15 semanas con 4 clases semanales de 90 minutos cada una. Dos de esas clases son teóricas y dos son prácticas.

En las clases prácticas, y durante la instrucción en óptica geométrica, estos estudiantes resolvieron problemas "tipo" de reflexión y refracción de la luz como los que se encuentran habitualmente al fin de capítulo de los textos universitarios tradicionales para los primeros cursos de física. En lo que respecta a espejos, las demandas habituales para estos problemas incluyeron la obtención de la posición y el tamaño de imágenes en espejos planos y esféricos y la determinación de zonas desde las cuales distintos observadores pueden observar o no las imágenes (o partes de ellas) formadas por esos espejos. Las clases prácticas para óptica geométrica fueron 4.

En las clases prácticas, y durante la instrucción en electromagnetismo correspondiente a los tópicos de fuerza magnética generada por corrientes y ley de Faraday-Lenz, estos alumnos resolvieron también problemas usualmente presentes en los textos universitarios de física. Las demandas usuales incluían el cálculo de campos magnéticos generados por conductores rectilíneos, espiras y solenoides, fuerzas sobre conductores con corriente en campos magnéticos (incluyendo espiras rectangulares), el cálculo del campo magnético total en esas situaciones, el cálculo de momentos dipolares magnéticos para espiras con corriente y los torques sobre esas espiras cuando se encuentran en un campo magnético externo. Respecto a la ley de Faraday-Lenz, calcularon fuerzas electromotrices generadas en espiras y solenoides debidas a cambios de flujo magnético e identificaron los sentidos de las corrientes inducidas en esos conductores. Se dedicaron 4 clases prácticas para el desarrollo de estos tópicos.

La tarea

Cada uno de estos sujetos fue entrevistado individualmente por los autores de este trabajo durante un tiempo promedio de 40 minutos. A los estudiantes se les pidió que dijeran en voz alta todo lo que pensaban al leer cada una de las sentencias de los problemas presentados que se muestran en la figura 1. Se los alentó especialmente a que verbalizaran la mayor cantidad de pensamientos que ocurrían durante la lectura. Estos problemas fueron presentados en una pantalla de computadora de manera secuencial. Esta técnica permite aumentar el caudal de las verbalizaciones durante la lectura de los problemas (usualmente muy escasas en estudiantes). Los entrevistadores intervenían (sólo con preguntas) cuando consideraban oportuno profundizar su comprensión acerca de algunas verbalizaciones.

Problema 1

- S1. En una habitación hay una mesa sobre la que se ha apoyado un pequeño espejo plano
 S2. La lámpara que ilumina la habitación está situada en el techo de la misma (puede considerar a la lámpara como un objeto puntual)



- S3. Delimite la zona de la habitación desde la cual una persona puede observar la imagen de la lámpara.

Problema 2

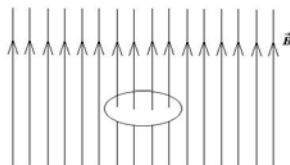
- S1. Considere una persona parada frente a una pared sobre la cual se desea colgar un espejo plano.



- S2. Esta persona mide 1,65 m y tiene sus ojos a 1,55 m de sus pies.
 S3. Calcule a qué altura se deberá colgar el espejo y qué altura mínima tendrá que tener para que la persona pueda verse completamente en él.

Problema 3

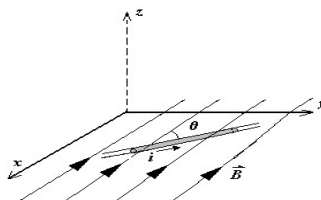
- S1. Una espira conductora de área A y resistencia R se encuentra en una región donde existe un campo magnético uniforme B .
 S2. El plano de la espira forma un ángulo recto con la dirección del campo magnético.



- S3. La intensidad del campo B aumenta a razón de 0.1 Tesla por segundo.
 S4. Calcule la intensidad de la corriente inducida que circula por la espira, sabiendo que el área de la misma es $A = 0.01 \text{ m}^2$ y su resistencia es $R = 10 \Omega$.

Problema 4

- S1. Por una barra horizontal conductora de longitud l y masa m se hace circular una corriente eléctrica de intensidad i .
 S2. Esta barra está en una zona del espacio donde existe un campo magnético constante y uniforme B , también horizontal y formando un ángulo θ con éste.



- S3. Sabiendo que $i = 0.01 \text{ A}$, $B = 0.3 \text{ T}$, $l = 0.5 \text{ m}$, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ y $m = 0.045 \text{ Kg}$, ¿para qué valor de θ estará la barra en equilibrio?

Figura 1.- Tarea dada a los estudiantes.

Resultados

Análisis de los errores y de su productividad

En este apartado se relevan y analizan los errores cometidos por los estudiantes. Para ello se interpretan las producciones de los estudiantes en términos de recursos cognitivos conceptuales y epistémicos activados por ellos durante la resolución de los problemas presentados. También se proponen otros contextos en los que esos errores podrían dar lugar a respuestas correctas.

Por ejemplo, en el problema 2 se ha identificado un recurso conceptual denominado *estar contenido en*. Este recurso, que es útil en el contexto de objetos y contenedores, ha sido activado por la mayoría de los sujetos en este problema para interpretar que la imagen de la persona está contenida en el espejo, es decir que los espejos deben tener el tamaño de las imágenes. En este mismo problema también aparece el recurso denominado *perspectiva* según el cual a medida que las personas se alejan de los espejos, ven sus imágenes cada vez más pequeñas.

El recurso de *perspectiva* activado conjuntamente con el recurso de *estar contenido en*, permite interpretar las verbalizaciones de los estudiantes según las cuales, a medida que se alejan de la pared podrían utilizar espejos cada vez más chicos para verse completamente. Por ejemplo, se interpreta que el alumno "M" activa estos dos recursos después de S3 del problema 2:

"M": ...el espejo, para verse completo tiene que estar en el piso, y la altura mínima tiene que ser la de la persona...

"E" (entrevistador): ¿eso es lo que te pasa cuando querés verte completo?

"M" : Ah ,no, no...

"E": ¿podés verte en un espejo más chico?

"M" : y, depende dónde estás parado, o sea, a la distancia a la que estás del espejo...si te corrés para adelante cerca del espejo y el espejo no llega al suelo no te ves los pies... pero si te vas para atrás capaz que un espejo más chico alcanza...

¿De donde proviene esta respuesta incorrecta? Según la interpretación anterior, este error podría provenir de un mapeo inadecuado del recurso *estar contenido en* sobre la percepción del tamaño de una imagen y el tamaño del espejo. O sea, comparan la percepción del tamaño de la imagen (que ciertamente es cada vez menor si nos alejamos de ella) con el tamaño real del espejo, como si la imagen se alejara pero el espejo no. La figura 2a intenta graficar esta conjetura. Sin embargo, este recurso daría lugar a una respuesta correcta si se mapeara sobre la imagen y el ángulo subtendido por el ojo ya que la imagen tiene que "caber" en esa apertura angular para poder ser vista completamente por la persona parada frente al espejo (la figura que grafica esto es la 2a con distancias d_1 y d_2 iguales). La pregunta que sigue es ¿existe algún contexto en el que la activación y el mapeo de estos dos recursos podría dar lugar a una respuesta correcta por parte de los estudiantes? La figura 2b muestra gráficamente lo que una persona puede percibir a través de una

ventana. Es probable que estos sujetos tengan experiencia suficiente para decidir qué objetos pueden ser observados y aproximadamente a qué distancia deberían estar del observador para que eso suceda. Se puede notar que la activación conjunta de los recursos *estar contenido en* y *perspectiva* son útiles para razonar tanto en el contexto de observar objetos a través de una ventana, como de ver la imagen propia en un espejo plano, tal como lo muestran la figuras 2a (cuando $d_1 = d_2$) y 2b.

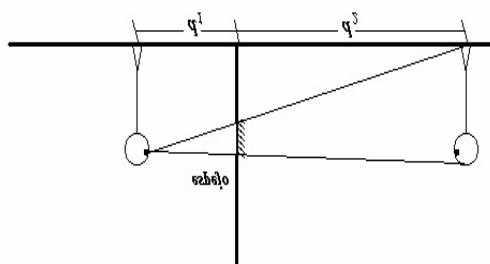


Figura 2a.- Estar contenido en mapeado sobre la percepción de la imagen y el tamaño del espejo.

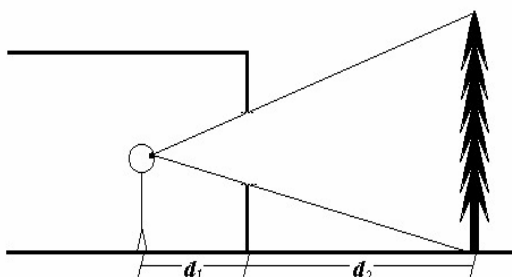


Figura 2b.- Estar contenido en mapeado sobre la percepción del objeto y la apertura angular.

Otro recurso conceptual que se observa en este mismo problema es el que denominamos *cruzamiento de miradas*. Este recurso es útil cuando se mapea sobre dos personas que se observan a través de sus reflejos en un espejo, para establecer si hay contacto visual entre ellas (cada persona sabe que el otro puede ver sus ojos). "E" parece haber mapeado este recurso sobre sí mismo y su imagen para determinar el tamaño mínimo del espejo.

"E" (después de S4): ... me dan la altura de la persona y la altura a la cual están los ojos, o sea, tendría que ser como mínimo... para que se vea toda, de esta altura, de la altura a la que tiene los ojos...si...

"E" (entrevistador): ¿si que?

"E": ...tendría que ser así, la altura del espejo, me refiero... como mínimo la altura de los ojos a los pies

"E" (entrevistador): ¿quieres hacer algún dibujo?

"E": ...no...

Las figuras 3a y 3b ilustran el mapeo de este recurso en dos contextos distintos: para determinar el tamaño del espejo y para decidir cuándo una persona está viendo a otra indirectamente a través de un espejo. A diferencia del recurso *estar contenido en*, la activación de *cruzamiento de miradas* no es productiva para resolver este problema. En este caso el error no proviene de un mapeo inadecuado de un recurso, tal como sucede en el ejemplo anterior, sino de la activación de un recurso que no es productivo para abordar esta situación. Más allá de la improductividad de este recurso en esta situación, resulta fructífero desde el punto de vista instruccional -como se intentará argumentar en la próxima sección- poner de manifiesto este recurso en situaciones en las que resulta productivo, como se muestra gráficamente en la figura 3b. La figura 3b muestra la altura mínima que tendría que tener un espejo para que dos personas de diferentes alturas se contacten visualmente a través del espejo.

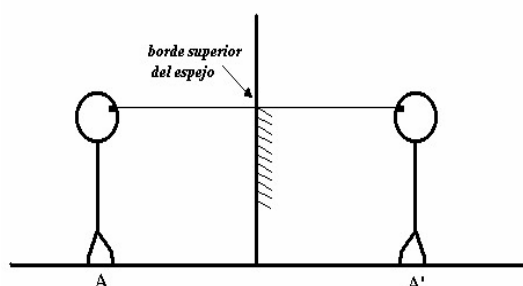


Figura 3a.- Cruzamiento de miradas mapeado sobre sí mismo y su imagen.

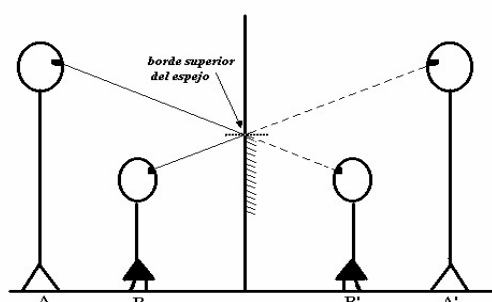


Figura 3b.- Cruzamiento de miradas mapeado sobre dos personas que se observan a través de sus reflejos.

Los problemas 3 y 4 parecen provocar la activación de otro recurso que denominamos *alineación*. Cuando este recurso se mapea, por ejemplo, sobre momentos dipolares (eléctricos y magnéticos) y campos (eléctricos y magnéticos respectivamente), genera respuestas correctas de acuerdo a la física de las interacciones eléctricas y magnéticas. Este recurso, que aparece mapeado en el problema 3 sobre el momento magnético y el campo magnético dando lugar a respuestas correctas, también aparece en el problema 4 mapeado sobre la barra conductora y el campo magnético dando lugar a respuestas incorrectas. El alumno "J", resolvió correctamente el problema 3 y allí expresó que la espira no rotaría debido a la corriente inducida en ella porque su momento dipolar estaba orientado en la dirección del campo. Se transcribe un segmento del protocolo de este sujeto mientras intenta resolver

el problema 4 para poner de manifiesto cómo un mismo recurso da lugar a respuestas distintas, una correcta y otra incorrecta:

"E": ¿qué te imaginas con esto? (después del dibujo del problema 4)

"I": que el campo externo produce un torque...que hace que el dipolo magnético del hilo conductor se alinee al campo...y nada más

"E": ¿qué pregunta le harías a este problema?

"I" : Eh.... que calcule el momento magnético, del hilo conductor... ah! No tengo el radio!

"E": ¿es circular el conductor?

"I": no, no es circular...

"E": ¿va a haber momento magnético?

"I" : no

"E": ¿va a haber algo entonces? ... o sea, ¿le hace algo el campo a la barra?

"I" : no, nada más que alinearla, ¿O no?

.....

"I" (después de S3)... está en equilibrio! ¿Si el campo no la afecta?...¿está apoyada?... pero no está apoyado este alambre, ¿no? ¿a dónde está?!?!? O sea, está en el aire????!!!

"E": si

"I": ... la verdad que no se me ocurre...

"E": si no hubiera campo magnético, ¿qué pasaría con una barra que pones en el aire?

"I": se cae!...y para qué valor de la barra, está en equilibrio.....no, no se cómo calcularlo... ¿tiene resolución?

Como en el ejemplo anterior, el error de este alumno proviene de la activación de un recurso que no es útil para resolver este problema. "I" activa el recurso de alineación y no activa el recurso de balance que, mapeado sobre las fuerzas sobre el conductor, permitiría resolver el problema. El que sigue es un extracto de protocolo que también pone en evidencia la activación (bastante estable) del mismo recurso para el mismo problema:

"C" (después de S3): ...calculo el momento...el momento

"E": ¿que momento? ¿te referís al torque?

"C": no, el torque es el producto del campo exterior por un momento...

"E": ¿el momento dipolar magnético?

"C": ahí está, el momento dipolar magnético...

"E": ¿hay momento dipolar magnético ahí?

"C": y si hay intensidad yo supongo que sí que tendría que haber, no? Porque si no, no podría haber un torque para que gire la barra...(se refiere a un giro hacia la dirección del campo B)

"E": bueno...

"C": ¿ el momento era igual al área por la intensidad?

"E": si... para una espira cerrada

"C": ...para una espira cerrada...ah!! cierto que era para una espira cerrada... para un conductor... con razón no podía calcularlo con la regla de la mano derecha...no, no hay momento...

"E": ¿y habrá otra cosa ahí?

"C": ...tiene que haber una fuerza

"E": ¿cómo?

"C": una fuerza que tiende a alinearla al conductor al campo

"E": ¿y quién provoca esa fuerza?

"C": obviamente tiene que provocarlo el campo exterior...la intensidad y la longitud de la barra...

"E": ¿y donde esta aplicada esa fuerza y qué características tiene?

"C": bueno, la fuerza es una magnitud vectorial, por lo tanto al ser B una magnitud vectorial, tiene que estar multiplicado por i por l y por el seno del ángulo, no es así?

"E": ¿y para dónde apunta esa fuerza?

"C": eh, y...tendría que ser perpendicular al plano horizontal...para arriba, va haber una fuerza para arriba...

"E": ¿entonces?

"C": yo aplico la fuerza...tendría que inclinarse para el lado del campo...

"E": ¿cómo?

"C": tengo la barra...no me sale con la otra forma de la mano derecha...la barra tendría que ir para allá no?...tendría que moverse para el lado izquierdo? (alineándose con el campo)

"E": ¿cómo? ¿estamos mirando para dónde apunta la fuerza?

"C": si, para donde apunta la fuerza...bueno, la fuerza si sé que tiene que ser perpendicular hacia arriba

"E": bueno, ¿entonces?

"C": y no, la va a desplazar hacia la dirección del campo...y el valor de tita... y va a tener que ser el seno del ángulo que forma la intensidad con el campo.

Este protocolo muestra el mismo error que el protocolo anterior, pero pone en evidencia que el recurso de alineación ha estado activado de manera estable a lo largo de la entrevista aún después de que "C" verbaliza que la fuerza sobre la barra es perpendicular a ella y hacia arriba. Este error proviene de la activación improductiva de un recurso que, como ya se expresó, es productivo en otros contextos.

En lo que sigue se analiza un tercer tipo de error relacionado con la activación de recursos epistémicos. El que sigue es un extracto de protocolo de

"F" ante el problema 2, quien inicialmente activa el recurso epistémico que denominamos *resolver cualitativamente* y posteriormente, ante una pregunta del entrevistador, activa el recurso que denominamos *resolver cuantitativamente*:

"F": ...si, para que se vea completamente tendría que estar eh... o sea... tendría que ser un espejo grande, de 1.65 o más... por lo menos 1.65 para que se vea completo, o sea, también depende de la distancia a la que él esté... si él está más cerca, por más que sea grande el espejo, se va a ver menos... y... si, por ahí puede que se acerque al espejo y busque mirar de otra forma que le refleje los pies...si, bah, o sea, y lo pondría un poco más arriba que él...

"E": ¿vos crees que se podría resolver este problema un poco más... concretamente?

"F": ...¿cómo resolver?...¿calcular la altura? así no, me parece que no, porque no tengo la distancia a la que se va a colocar la persona...

"E": ¿y si tuvieras la distancia?

"F": ...y si cuelgo el espejo acá, acá donde está él, bueno ahí sí lo podría calcular... viendo más o menos los rayos...

"E": ¿cómo?

"F": ...y si, pongo el espejo y saco los rayos de acá de la cabeza, en la punta del espejo y los otros hacia la otra punta del espejo... es como que... me parece...si él va a estar acá donde dice el problema... y... el espejo ahí... je, desde el ojo, tendría que cubrir toda la imagen de él, o sea, la reflejada...y así sacaría el tamaño del espejo...me parece...

La primera parte de la respuesta es incorrecta y, si no existiera la segunda parte, se podría interpretar como un error debido al mapeo inadecuado del recurso conceptual *estar contenido en*. Sin embargo, el segmento completo de su protocolo para este problema permite decir que el error también puede ser interpretado como debido a la activación del recurso epistémico *resolver cualitativamente* según el cual, la respuesta a una pregunta puede no involucrar ningún tipo de cálculo o gráfico, sino solamente un argumento aproximado basado en su conocimiento previo de espejos e imágenes – representado por su experiencia cotidiana en este caso particular-. La pregunta del entrevistador acerca de la posibilidad de resolver el problema "más concretamente" parece inducir un cambio epistémico referido distintas formas de proceder para resolver un problema. La activación del recurso epistémico *resolver cuantitativamente*, según el cual la respuesta a un problema involucra cálculos o gráficos precisos, da lugar, en este caso, a una respuesta correcta. Pero el recurso *resolver cualitativamente* es muy fructífero para hacer predicciones cualitativas que a menudo pueden ser verificables por métodos cuantitativos más precisos. Es más, es una de las estrategias generalmente ausente en las soluciones de los estudiantes de física, razón por la cual no debería desestimarse su activación aún cuando de lugar a una respuesta incorrecta. Otra vez, ambos recursos epistémicos son útiles en distintos contextos y pueden dar lugar tanto a respuestas correctas como incorrectas. En este caso particular se ha intentado mostrar cómo un error puede provenir

también de una activación no productiva de un recurso epistémico, que en otros contextos puede resultar muy útil.

El conocimiento de los errores y su relación con la instrucción

El análisis de los errores a partir de la idea de recurso cognitivo da lugar a sugerentes aproximaciones al problema de la instrucción. Dos preguntas que surgen del análisis anterior son ¿para qué sirve saber cuál es el tipo de error que comete un estudiante al resolver un problema? y ¿para qué sirve saber en qué contextos las respuestas incorrectas darían lugar a respuestas correctas?.

Entender de dónde provienen los errores de los estudiantes permite conocer lo que los estudiantes sí saben para actuar en consecuencia. Por ejemplo, un error debido a un mapeo inadecuado de un recurso conceptual productivo para resolver un problema puede requerir una intervención instruccional diferente de la que requeriría un error debido a una activación de un recurso conceptual que no es productivo, o de la que requeriría un error debido a la activación improductiva de un recurso epistémico. La intervención por parte del docente difiere para cada situación porque la "información útil" que contiene cada tipo de error es distinta. Si el error proviene de un mapeo no adecuado, como el del recurso *estar contenido en* para el problema 2, es probable que la comparación de esta situación con otra como la de la ventana (figura 2b), provoque también la activación del recurso de *perspectiva*, y además permita revisar sus ideas asociadas con *estar contenido en*. Dada la experiencia que las personas tenemos respecto a observar objetos a través de una ventana, es posible que el recurso *estar contenido en* esté, en este contexto, adecuadamente mapeado, constituyendo una herramienta útil para pensar en el problema del espejo.

Si el error proviene de una activación que no es productiva para resolver el problema, como el recurso *cruzamiento de miradas* o *alineación*, una estrategia eficiente sería comparar sus respuestas con las que darían en contextos donde ese recurso es productivo, analizando similitudes y diferencias. Tal comparación permitiría reafirmar en qué contextos un recurso es productivo y entender porqué ese mismo recurso puede no serlo en otro contexto.

Tanto para este error como para el reportado en primer lugar, las comparaciones son entre los razonamientos del mismo sujeto ante distintos contextos, y no entre el razonamiento del estudiante vs. el del profesor o el del texto. Estas estrategias no favorecen la construcción de una barrera entre el pensamiento del estudiante y el razonamiento correcto porque permiten afianzar los razonamientos de los estudiantes en los contextos apropiados. Sin embargo, estas estrategias comparativas requieren algún grado de conocimiento de contextos en los cuales los estudiantes activarían recursos productivos. La experiencia docente sumada a futuros estudios específicamente diseñados para testear este tipo de estrategia mejorarán ese conocimiento.

Por último, errores provenientes de una activación no productiva de un recurso epistémico podrían requerir acciones más prolongadas y sostenidas en el tiempo. Es probable que las estrategias comparativas entre contextos "cercaños" entre sí como los antes mencionados no sean suficientes. Contextos cercaños son aquellos que coinciden en el tipo de tarea, en el ambiente físico y social en el que se realizan, y que difieren solamente en la situación física que se presenta. Contextos lejanos se refieren a cambios más radicales como el tipo de tarea que se presenta (resolución de problemas vs argumentaciones para la defensa de una tesis) o cambios referidos al ámbito social en donde se desarrolla la actividad (ambiente de clase vs entrevistas informales), etc. Es probable que se requieran cambios más radicales en lo que se refiere a contextos en los que ocurran activaciones productivas e improductivas de recursos epistémicos. Es objetivo de los autores abordar estudios en ese sentido.

Discusión de resultados

El marco teórico adoptado ha permitido interpretar las verbalizaciones de los sujetos entrevistados para entender posibles causas de aquellos razonamientos que dan por resultado una respuesta "incorrecta" desde el punto de vista de la física, pudiendo así avanzar sobre el mero reporte de tales respuestas. Concretamente, la interpretación de los protocolos en términos de recursos conceptuales activados y mapeados sobre distintos contextos permite identificar dos tipos de errores de diferente naturaleza. Uno de ellos ocurre cuando el recurso activado es apropiado para abordar una situación particular, pero el proceso de mapeo del recurso sobre ese contexto da lugar a una contradicción con algún principio físico. Tal es el caso del mapeo de *estar contenido en* sobre el problema 2. El otro tipo de error ocurre cuando el recurso que se ha activado no es apropiado para abordar la situación problemática. Tal es el caso del recurso de *alineación* para el problema 4, o el recurso de *cruzamiento de miradas* para el problema 2. Este análisis de los errores posibilita conjeturar contextos en los cuales ocurriría una activación productiva de esos recursos, cuya comparación con las resoluciones previas podría dar lugar a aprendizajes en sintonía con lo que los estudiantes ya saben. Estos hallazgos permiten emitir hipótesis acerca de cómo la exposición de los estudiantes a los contextos donde los recursos activados son útiles podría dar lugar a procesos metacognitivos tendientes a reorganizar lo que ellos ya saben, cuestiones que están siendo abordadas actualmente por los autores de este trabajo.

En cuanto a los recursos epistémicos, un resultado sugerente es haber observado variabilidad en activación de recursos epistémicos por parte de un mismo sujeto. Se muestra esta variabilidad en el sujeto "F" frente al problema 2, lo que permite concluir la existencia de algún grado de flexibilidad epistémica. Este resultado permite conjeturar que los estudiantes tienen capacidades epistémicas potencialmente útiles para abordar problemas de física, y deja planteada la pregunta de cómo aprovecharlas concretamente para futuros aprendizajes.

En términos generales, este estudio pretende mostrar que un análisis más detallado de los errores de los estudiantes puede dar lugar a una postura diferente respecto a la instrucción y respecto a la investigación. Para la instrucción porque permite asignar nuevo significado y revalorizar las respuestas incorrectas de los estudiantes, y para la investigación porque abre nuevos interrogantes que permiten emitir hipótesis acerca de la eficiencia de estrategias comparativas tendientes a favorecer aprendizajes desde lo que los estudiantes sí saben.

Referencias bibliográficas

Becerra Labra, C., Gras-Martí A. y Martínez-Torregrosa, J. (2004). Análisis de la resolución de problemas de física en secundaria y primer curso universitario en Chile. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), 275-286.

Chi, M. (2005). Commonsense conceptions of emergent processes: why some misconceptions are robust. *Journal of The Learning Sciences*, 14(2), 161-199.

Disessa, A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10, 105-225.

Disessa, A. y Sherin, B. (1998). What changes in conceptual change?. *International Journal of Science Education*, 20 (10), 1155-1191.

Foster T. (2000). The development of student problem-solving skills from instruction emphasizing qualitative problem solving. Tesis doctoral, Minnesota University: <http://groups.physics.umn.edu/physed/>.

Gil Pérez, D. y Martínez Torregosa, J. (1983). A model for problem solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5 (4), 447-455.

Guisasola, J., Furió, C., Ceberio M. y Zubimendi, J. (2003). ¿Es necesaria la enseñanza de contenidos procedimentales en cursos introductorios de física en la Universidad?. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra, 17-28.

Hammer, D. (2004). The variability of student reasoning, lecture 3: manifold cognitive resources. En E. Redish y M. Vicentini (Ed), *Proceedings of the Enrico Fermi Summer School*, Course CLVI (pp. 321-340). Bologna: Società Italiana di Física.

Hammer, D., Elby, A., Scherr R. y Redish, E. (2005). Resources, framing and transfer. En J. Mestre (Ed), *Transfer of Learning from a Modern Multidisciplinary Perspective* (pp. 89-119). Greenwich, CT: Information Age Publishing.

Heller, K. y Heller, P. (1995). *The competent problem solver*. Calculus version. Minneapolis, MN: Author.

Huffman, D. (1994). The effect of explicit problem solving instruction on students conceptual understanding of Newton's' Law. Tesis doctoral. Minnesota University: <http://groups.physics.umn.edu/physed/>.

Leonard, W. Gerace, W. y Dufresne, R. (2002). Resolución de problemas basada en el análisis: Hacer del análisis y del razonamiento el foco de la enseñanza de la Física. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), 387-400.

Maloney, D. (1994). Research on problem solving: physics. En D. Gabel (Ed), *Handbook on Research of Science Teaching and Learning* (pp. 327-354). New York: Mc Millan Publishing Company.

Mestre, J., Dufresne, R. Gerace, W., Hardiman P. y Tonger, J. (1993). Promoting skilled problem-solving behavior among beginning physics students. *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (3), 303-317.

Pozo, J. (1996). No es oro todo lo que reluce ni se construye (igual) todo lo que se aprende: contra el reduccionismo constructivista. *Anuario de Psicología*, 69, 127-139.

Redish, E. (2004). A theoretical framework for physics education research: modeling student thinking. En E. Redish y M. Vicentini (Ed), *Proceedings of the Enrico Fermi Summer School, Course CLVI* (pp. 1-63). Bologna: Società Italiana di Física.