

Estudio preliminar y discusión en el estudio de la evolución del razonamiento mecánico en la resolución de problemas en física

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

María Viviana Nieva¹, Laura Buteler², Enrique Coleoni²

¹Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Catamarca, Av. Belgrano 300. Campus de la UNCa, CP 4700, Catamarca, Argentina.

²Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba, Medina Allende y Haya de la Torre. Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba, Argentina.

E-mail: viviananieva2004@yahoo.com.ar

Resumen

El presente trabajo corresponde a los resultados preliminares del proyecto de tesis "La evolución del razonamiento mecánico en la resolución de problemas en física: un estudio desde un enfoque múltiple y contextualizado de la cognición", aprobado en la Carrera de Doctorado en la Didáctica de las Ciencias Experimentales de la FACEN- UNCa. El objetivo de esta presentación es analizar el discurso de los alumnos ante la resolución de problemas con los códigos formulados por Russ para el razonamiento mecánico en la resolución de problemas de física. La investigación se lleva a cabo durante una clase de un curso de Práctica de la Enseñanza del Profesorado en Física. La recolección de datos se realiza con el recurso audiovisual, que posibilita registrar confiablemente la dimensión temporal de los fenómenos observados y la información gestual de los sujetos. Como resultado de esta investigación se evidencia en los alumnos que participan en este estudio, la existencia de argumentos valiosos en sus explicaciones traducidos en la codificación de Russ (2006).

Palabras clave: Razonamiento mecánico, Resolución de Problemas

Abstract

This work corresponds to the preliminary results of the thesis project "The development of mechanistic reasoning in solving problems in physics: a study from a multiple and contextualized approach to cognition", that is being carried out for the Doctorate in Teaching Experimental Sciences FACEN-UNCa. The objective of this presentation is to analyze the speech of students while they solve problems by means of Russ' codes for mechanistic reasoning in solving Physics problems. The research was conducted within a course of Teaching Practice in Physics. Data collection is performed with the audiovisual resource that enables reliable recording of the temporal dimension of the observed phenomena and gestural information of subjects. The results of this research make evident that among students in this research there exist valuable ideas within their explanations, as translated by Russ' coding (2006).

Keywords: Mechanistic reasoning, Problem solving.

I. INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO

Una de las principales motivaciones de la investigación en resolución de problemas en física es el abismo que existe entre los logros alcanzados por los estudiantes universitarios al final de sus cursos de física y las expectativas de sus docentes. Este problema, que tiene su origen en el ámbito educativo y que ha dado lugar a numerosos y valiosos estudios en este sentido, enfocan la atención en las falencias que los estudiantes muestran desde una mirada experta, ligada al conocimiento normativo de la física. En este sentido, consideramos que existe un aspecto no contemplado en esos trabajos, que es el estudio de los aspectos productivos del conocimiento de los estudiantes, el cual no necesariamente está relacionado con la dimensión correcto/incorrecto, y que conlleva por tanto, a un cambio en el marco teórico respecto al conocimiento que los estudiantes ponen en juego durante la resolución de problemas de física. Redish

(2004) y Hammer (2004) proponen un marco teórico que permite abordar el problema de la resolución de problemas en física desde una perspectiva centrada en lo que los estudiantes *sí hacen*. Concretamente, sugieren la existencia de una colección de *recursos cognitivos* que los estudiantes poseen y activan -en función del contexto- ante tareas cognitivas. Estos recursos conforman una red y la activación de los elementos de esa red sustentarían los razonamientos observados en los estudiantes.

El debate sobre qué tipos de pensamiento y aprendizajes son productivos para la ciencia constituye una tarea de gran interés y de larga data en la investigación de la educación en ciencias. Tal caracterización de prácticas en el aula es valiosa, ya que captura los procesos de la ciencia y ayuda a los estudiantes a generar argumentos razonables. La problemática más frecuente en las clases de ciencias se focaliza en evaluar las ideas de los alumnos con aquellos contenidos que se establecen en los libros de textos o en el currículo y no en la búsqueda de explicaciones causales de los fenómenos (Russ, Coffey, Hammer, Hutchison, 2008). La necesidad de que los estudiantes desarrollen habilidades e inclinaciones para la ciencia a través de métodos de enseñanza que incluyan la indagación, para una verdadera comprensión del cuerpo de conocimiento de la ciencia normativa, ha cobrado gran relevancia en la investigación de la educación en ciencias (Hammer, Russ, Mekeska, Scherr, 2005).

La indagación en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias ha estado acotada principalmente a la experimentación controlada y la argumentación. La lógica de la experimentación controlada, por ejemplo, es relativamente simple para generar experiencias de enseñanza que promuevan su aprendizaje (Chen y Klahr, 1999). También existen hoy numerosos estudios acerca de en qué consiste y cómo es posible promover argumentos razonables en las clases de ciencias, indicando hasta qué punto los estudiantes son capaces de generar afirmaciones y sustentarlas con evidencias (Osborne, Erduran, Simon, 2004). Por otra parte, algunos estudios muestran que los razonamientos basados en mecanismos o cadenas causales, tienen una fuerte impronta en cómo los estudiantes implementan la estrategia de control de variables o experimentación controlada y los procesos argumentativos (Schauble, 1996). Sin embargo, hay menos consenso y está más postergado el estudio de qué constituye una explicación causal y cómo éstas intervienen en los procesos de indagación científica. Este estudio pretende hacer una contribución en este sentido, investigando los razonamientos mecanísticos de un conjunto de cuatro estudiantes mientras resuelven un problema de hidrostática. Para ello nos apoyaremos un modelo propuesto en el ámbito de la filosofía de la ciencia, donde el concepto de mecanismo ha probado ser exitoso tanto para comprender el desarrollo de teorías científicas como para entender las contribuciones individuales de los científicos.

Machamer, Darden y Craver (MDC, 2000) realizaron una síntesis clara de los mecanismos utilizados por profesionales de la ciencia, que pueden emplearse como base principal para el análisis del discurso científico de los estudiantes. Estos autores definen mecanismo como "Entidades y actividades organizadas de modo tal que sean productivas de cambios regulares desde el comienzo o condiciones iniciales, hasta la finalización o condiciones finales".

Los mecanismos que subyacen a los fenómenos se componen de entidades y actividades (ambas pueden existir independientemente y una no puede reducir o subsumir a la otra). Las actividades son los componentes de los mecanismos que producen el cambio - son las "cosas que las entidades hacen y las etapas constitutivas de los mecanismos" (Craver, 2002). Las entidades y actividades que pueden utilizarse en descripciones aceptables de los mecanismos varían, "para un campo determinado en un momento dado existe normalmente una tienda de componentes establecidos o aceptados, de los cuales pueden construirse un mecanismo y un conjunto de componentes que han sido excluidos de las estanterías" (Craver y Darden, 2001).

En esta línea de investigación, Russ (2006) en su trabajo de tesis adapta la aplicación del mecanismo MDC en estudiantes en la etapa de instrucción formal y centraliza su estudio en la definición de lo que constituye la "indagación" y el desarrollo de herramientas para la evaluación de las mismas. Una de estas herramientas lo constituye el desarrollo de un esquema de codificación sistemático, que se aplica al discurso de los estudiantes, ya sea que este se formule de modo verbal o en forma escrita, y permite describir su razonamiento. Hay en este esquema de codificación nueve categorías que son: (1) Describir el fenómeno objetivo; (2) Identificación Condiciones iniciales, (3)Entidades, (4) Actividades, (5) Propiedades de las entidades, (6) Organización de las entidades; (7)Encadenamientos; (8) Analogías y (9) Modelos animados. Se define a continuación cada uno de ellos. Estas explicaciones pueden o no conducir a razonamientos mecanísticos correctos, pero reflejan mejor el razonamiento de los alumnos en la clase y la epistemología de la disciplina.

Descripción del fenómeno objetivo [DFO]

Este código se refiere a la identificación y descripción de los fenómenos que son producidos en forma regular, fiable y estable. Esto puede darse, ya sea, conociendo el fenómeno y luego indagando sobre los mecanismos que lo producen, o bien, pueden describir fenómenos basándose en predicciones a partir de conocimientos previos de los componentes relevantes. El objeto de este primer código "descripción del

fenómeno objetivo" es por tanto, clarificar o demostrar un fenómeno en particular o bien lo que constituye el resultado de lo que están tratando de explicar.

Identificación de las condiciones iniciales [CI]

Las condiciones iniciales son las descripciones de la organización espacial y temporal de los componentes que inician los cambios regulares de los mecanismos que producen el fenómeno. El código "Identificación de las condiciones iniciales" detalla el momento en que se identifican las condiciones particulares del medio ambiente que permiten que el mecanismo se ejecute.

Identificación de Entidades [IE]

Una de las componentes de las descripciones mecánicas son las entidades, las cosas que juegan un rol preponderante en la producción del fenómeno. Cuando los estudiantes reconocen objetos que afectan el resultado del fenómeno, codificamos los comentarios como: "Identificación de Entidades", incluso si la entidad ya ha sido previamente identificada.

Se puede dar que la identificación de entidades sea no productiva, debido a la utilización de un vocabulario científico que no aún no se entiende por parte de los estudiantes que tratan de describir el fenómeno en estudio. Estos casos que se observan en reiteradas ocasiones, también constituyen "identificación de entidades".

Identificación de las Actividades [IA]

La identificación de entidades de un mecanismo, conlleva en el proceso de indagación la identificación de las actividades relevantes: "los distintos hechos en los que estas entidades encajan" (Craver y Darden, 2001). Se articula las acciones e interacciones que ocurren entre entidades y se codifican como "identificación de las actividades". Estos códigos aparecen cada vez que se describen las cosas que hacen estas entidades y que producen cambios en las entidades circundantes, aun cuando la actividad se haya identificado previamente.

Identificación de las Propiedades de las Entidades [IPE]

Identificar y aislar sólo aquellas propiedades de las entidades relevantes a los resultados es una parte vital de los descubrimientos científicos. Cuando se codifica "Identificar las Propiedades de las Entidades", se quiere articular propiedades generales de las entidades que son necesarias para que este mecanismo específico funcione. Este código otorga sentido a las entidades.

Identificación de la Organización de las Entidades [IOE]

En la mayoría de los casos el mecanismo depende de cómo las entidades están espacialmente organizadas, dónde están localizadas y cómo están estructuradas. Debido a que en los mecanismos, "las partes tienen relaciones espaciales, temporales y activas entre ellas, por las cuales trabajan juntas para hacer algo" (Craver, 2007), puede decirse entonces que la organización de las entidades tienen que ver con el modo en cómo las entidades son localizables en el *espacio*.

Encadenamiento: desde y hacia [C]

Una estrategia de razonamiento general que ayuda al descubrimiento y articulación de los mecanismos involucrados implican el uso de mecanismos causales para hacer afirmaciones sobre lo que debe haber sucedido con anterioridad para lograr el estado actual de las cosas (hacia atrás) o lo que sucederá después, ya que algunas entidades o actividades están presentes ahora (hacia adelante). Al conocer las propiedades generales de las entidades involucradas, mucho puede decirse de las actividades que pueden haberse producido por ellos y sobre las actividades en que estos pueden participar.

Observando razonamientos de los estudiantes acerca de una etapa en un mecanismo, basándose en lo que ellos saben acerca de las otras etapas de ese mecanismo en particular, se puede codificar este tipo de razonamiento como "Encadenamiento". Cuando los estudiantes encadenan hacia atrás, responden a las preguntas "¿Qué actividades podrían haber dado lugar a entidades con estas propiedades?"- o "¿Qué entidades han sido necesarias para que esta actividad se haya producido?" Cuando los estudiantes encadenan hacia adelante, responden a las preguntas "¿Qué actividades podrían tener estas entidades con estas propiedades que se espera que participen en ellas?"- o "Si esta actividad ocurrió, ¿qué cambios puede esperarse en las entidades circundantes y sus propiedades?" Por ejemplo, un estudiante puede decir "yo sé que los objetos caen directamente al suelo en el aire, pero no en los líquidos, por lo que debe haber alguna fuerza de empuje sobre los objetos en los líquidos que les impide caer". El código "encadenamiento" ayuda a identificar a los estudiantes que asignan actividades con vocabulario científico desconocido o inadecuado, porque no se articulan con propiedades generales de los componentes que generan que un caso se produzca en lugar de otro. Del mismo modo, los estudiantes que indebidamente

afirman que algunas entidades pueden realizar ciertas actividades, no dicen por qué ciertas actividades concretas pueden esperarse y otras no.

Analogías (A)

Los científicos también utilizan analogías con mecanismos similares en otros contextos o ámbitos como un modo de comprender situaciones nuevas (Darden y Craver, 2002). Estas analogías son comparaciones entre entidades que consideramos similares en algún sentido— en la vida cotidiana cuando queremos comunicar nuestras ideas sobre temas que nos son menos familiares; para ello solemos recurrir a otros referentes más conocidos y que nos parecen semejantes al menos en los aspectos que queremos expresar. Sin embargo, en el trabajo científico las analogías suponen mucho más que una forma de hablar, pues se convierten en un potente instrumento cognitivo para el razonamiento y la explicación en ámbitos conceptuales novedosos y más abstractos (Gentner y Gentner, 1983). Con frecuencia el proceso se inicia con un mecanismo previamente articulado y se trata de encajar diferentes aspectos del nuevo fenómeno en roles y limitaciones funcionales del mecanismo original. Un código de "Analogía" se utiliza cada vez que los alumnos comparan un fenómeno objetivo con otro. Por ejemplo, un estudiante que trata de describir las propiedades del agua que le permiten soportar objetos pesados sobre su superficie, al respecto puede decir: "estoy pensando en la superficie del agua como una cuerda tensionada que puede ser empujada hacia abajo, pero todavía se resiste".

Los modelos Animados (MA)

Los razonamientos relacionados con mecanismos es una actividad cognitiva impuesta potencialmente, y modelos externos que sirven de vehículo "para retener en la mente todas las interacciones complejas entre las operaciones "(Bechtel y Abrahamsen, 2005). Un buen diagrama o modelo ilustra las entidades, sus actividades, su organización, y la producción continúa de la etapa siguiente. Cuando los científicos razonan acerca de los mecanismos "ellos hacen pasar por sus cabezas", las representaciones animadas que son especialmente valiosas porque ellos "complementan las capacidades humanas imaginando un sistema en acción" (Bechtel y Abrahamsen, 2005).

La codificación del "Modelo Animado" de los estudiantes usando modelos animados externos, (gestos, movimientos corporales, etc) puede facilitar a que sus compañeros conceptualicen de qué modo están "viendo" ciertas entidades que actúan en el mecanismo. Por ejemplo, los estudiantes pueden tomarse de las manos y a continuación, vincular los brazos para modelar la idea de que la superficie del agua actúa como una cuerda floja con tensión.

II. MARCO METODOLÓGICO

La metodología de este trabajo es cualitativa, el estudio es exploratorio y basado en el análisis de casos. Esta metodología permite observar el razonamiento de los estudiantes que forman parte de esta investigación, durante la resolución de problemas. El análisis de los datos obtenidos permite explorar en forma más profunda y obtener un conocimiento más amplio sobre el caso planteado, lo cual permitió al grupo de investigación la aparición de nuevas señales sobre el tema que emergen de las observaciones con: la formulación de nuevas hipótesis de trabajo, cambios en la definición de elementos teóricos, o a la construcción de nuevas categorías.

A. Población de estudio

Se trabaja con la población de alumnos, cuya franja etaria es de 21-25 años, durante el cursado de la asignatura Práctica de Enseñanza I y II en el año lectivo 2013, que pertenecen al ciclo superior de la carrera de Profesorado en Física en una Universidad Nacional argentina.

Las prácticas de la enseñanza, constituyen un espacio en el currículo de la carrera del profesorado en la que el futuro docente no se limita a una tarea única y repetitiva sino que supone la capacidad de aprender, de innovar y comunicar los procesos de innovación, comprendiendo las diversas circunstancias profesionales y la capacidad de adaptar el conocimiento a ellas. La competencia profesional queda definida no tanto en función de un cuerpo de conocimientos teóricos, sino por la habilidad o capacidad de actuación inteligente en situaciones de aula compleja, nueva, única e impredecible, propia de un entorno social complejo, dinámico y cambiante como la escuela. En este contexto y como parte del desarrollo de la asignatura, se plantea y analiza los razonamientos mecánicos de los alumnos que se ponen en juego ante tareas dadas que incluyen resolución de problemas abiertos, que permiten la indagación y que pueden replicarse a situaciones concretas en las clases de física.

La resolución de problemas que favorecen la indagación, fue dada a los futuros formadores que cursaron la asignatura, con el objeto de interpretar y evaluar sustancialmente los mecanismos de razonamiento que se ponen en juego durante este proceso y, que ponen en evidencia la importancia de plantear este tipo de actividades que favorecen el razonamiento y la argumentación a sus futuros estudiantes durante la etapa de residencia. Es decir, poner a los futuros docentes en el rol de estudiante, para que ellos vivencien qué pasa cuando un estudiante es enfrentado a un problema pensado para discutir y argumentar.

B. El Instrumento

El protocolo de la entrevista constituye una herramienta escrita que nos permite guiar la entrevista, el mismo consta de tres partes:

Una introducción: el investigador debe presentar la tarea y explicitar claramente cuál es el objetivo que se persigue en el desarrollo de la misma.

- Una serie de preguntas que guían el debate. En este espacio se promueve la discusión para el análisis de la situación, tomando como base sus propios planteamientos e introduciendo preguntas y reflexiones por parte del profesor que provoquen nuevos puntos de vista, razonamientos y preguntas. Se valora el posible modelo físico y las condiciones límites y de frontera.
- Una declaración de clausura.

C. Registro de la Entrevista

El registro de la entrevista se realiza con dispositivos de grabación audiovisual que se consideran muy convenientes (con el consentimiento del participante) porque quedan plasmadas además de lo que se expone verbalmente, las expresiones faciales de los participantes, gestos y dibujos que los participantes pueden crear para ilustrar su razonamiento. La grabación audiovisual, presenta además ventajas por sobre las notas de campo las que pueden resultar intrínsecamente selectivas, ya que, por su propia naturaleza, el investigador elige qué escribir, documentar lo que le interesa a él en el momento de la observación y no documentar la mayor parte de lo que sucede en el salón de clases. Los videos pueden ser vistos una y otra vez por varios observadores, lo que permite no perder ningún acontecimiento durante la observación, como así también una rica representación del evento.

Para garantizar la nitidez del sonido e imagen se debe incorporar además de las cámaras micrófonos de diferentes formas y tamaños que capten el sonido desde todas las direcciones.

Es necesario también un trípode y auriculares como así también accesorios como pilas de repuesto, cintas o mini DVD, cargadores de baterías, cintas adhesivas, marcadores y adaptadores.

D. Formulación del Protocolo

Se siguió el propuesto por Erickson (2006) sugiere que los datos de vídeo para la investigación deben ser recogidos con la cámara en una única ubicación con un ángulo de observación lo más amplio posible. Jacobs, Hollingsworth y Givven (2007) describen que durante la recogida de datos, el objetivo se ubica desde la perspectiva de un "estudiante ideal", centrándose principalmente en el profesor, y una segunda cámara en una ubicación fija que capture toda la clase para ofrecer algunos datos sobre los estudiantes. La decisión de cómo debe situarse la cámara para seguir los acontecimientos imprevistos (por ejemplo, una interesante conversación sobre el contenido entre los estudiantes) debe planificarse previa a cualquier grabación de video y documentada en un protocolo, de lo contrario se corre el riesgo de perder datos relevantes para la investigación.

Además por razones éticas, se debe solicitar el consentimiento de los actores involucrados y mantener la privacidad. Medidas para proteger la privacidad pueden ir desde la eliminación de cualquier detalle que sugiera la identidad de los alumnos como por ejemplo la utilización de seudónimos, que puede extenderse a la institución en estudio. Estas medidas específicas pueden variar según la institución y tipo de estudio.

Erickson (2006) sugiere que la primera etapa del análisis de vídeo es la revisión sistemática de la cinta para escribir notas de campo conocido como "contenido de los registros" en el cual se detallan los eventos relevantes, destacándose los gestos, lo que dijeron e hicieron del modo más real y exacto posible.

E. Modelo de tarea dada a los Estudiantes

En esta fase se elige el problema que se muestra en la figura 1 para investigar los razonamientos mecánicos de los alumnos que conforman el grupo de trabajo (Leonard, Dufresne, Gerace, Mestre, 2001).

Propósito de la actividad: Explorar fenómenos que involucran fluidos y registrar sus ideas e impresiones. Los fluidos tienen un comportamiento muy diferente a las de los objetos sólidos. Aún más interesante es el modo en los que el objeto sólido y los fluidos interactúan entre sí.

Situación Problemática: cada una de las situaciones siguientes muestra una disposición diferente de un vaso de agua, de un bloque de madera, de uno de metal y una balanza. ¿Cómo cree que son las lecturas en la balanza de cada uno de los casos? Explique.

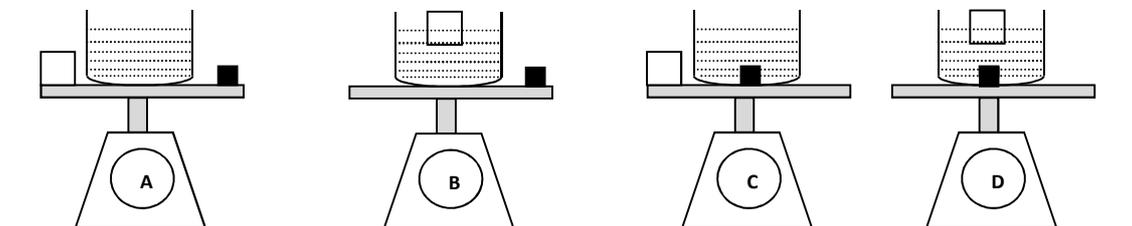


FIGURA 1. Problema dado a los estudiantes que conforman grupo de trabajo

El problema seleccionado presenta características esenciales que lo hacen útil para poner en evidencia los mecanismos, que los alumnos entienden, operan en el empuje. Básicamente, porque son problemas bastante ligados a la experiencia cotidiana, y por lo tanto accesibles a ser analizados por ellos. También porque proponen preguntas y respuestas cualitativas, las cuales favorecen la discusión a través del intercambio de ideas, opiniones encontradas, etc.

III. RESULTADOS PRELIMINARES

En esta primera fase se transcribieron las grabaciones para analizar el discurso de los estudiantes. Este proceso representa el primer escalón del análisis utilizando el esquema de códigos antes descrito.

Se analiza la filmación de los estudiantes que denominaremos: *E*, *C*, *V* y *T*. Una vez entregada la situación problemática los alumnos la leyeron e hicieron las primeras consultas acerca de los gráficos que se incluyen, especialmente respecto a si es una balanza romana y a lo cual el docente aclara que es una balanza digital.

Ellos describen la situación, en un principio, a partir de la idea de que las lecturas de la balanza no serán las mismas de acuerdo a la ubicación relativa de los bloques de metal y de madera. Esto se visualiza en el cuadro 1:

CUADRO 1. Fragmento de la transcripción de *E*, *C* y *V*.

| | | |
|----|---|-----------|
| 1 | <i>C:</i> para mí el A y C pesan lo mismo y, el B y D pesan menos. (.) Porque | |
| 2 | independientemente del punto en donde pongas el bloque de metal, va a seguir siendo el | |
| 3 | mismo peso en la balanza | |
| 4 | <i>V:</i> mientras que el de madera está dentro del fluido. | [IOE][CI] |
| 5 | <i>E:</i> veamos entonces, cuál sería el más liviano, cuál va a medir menos que este. | |
| 6 | <i>C:</i> para mí el B y el D | |
| 7 | <i>E:</i> El que menos mide es este (señalando el D en la hoja de papel de C) porque los dos | |
| 8 | reciben el empuje, están dentro del fluido. | [CI] [IE] |
| 9 | <i>C:</i> pero el del metal está en el fondo | [CI] |
| 10 | <i>E:</i> Pero los dos están empujando, está ahí pero está empujando, o sea está disminuyendo | [IE] |

Se interpreta de las líneas 4, 7, 8 y 9, las condiciones iniciales [CI], que permiten mostrar el inicio del mecanismo de indagación. Los estudiantes expresan las condiciones iniciales cuando analizan “la ubicación de los bloques dentro/fuera del seno del agua” y su relación con los distintos “registros de la balanza”. Es decir, identifican la condición específica de la distribución espacial de los bloques como el mecanismo necesario para la producción del fenómeno de distintos registros de la balanza (fenómeno objetivo).

En las líneas 7-8, del cuadro I se identifican las entidades [IE] que se ponen en juego y que son: el “peso” de los bloques y el “empuje”, que son necesarias y significativas en la descripción del fenómeno.

En las líneas 1 a 4 del cuadro 1 se identifica el código [IOE]. Este código es importante en los registros debido a que se relaciona con los cambios que los alumnos perciben en las lecturas de la balanza en relación a cómo varían las disposiciones espaciales de los cubos en la misma. Se identifica este registro con el código cuando los alumnos expresan cómo “la balanza marca más porque el cubo está hundido” o “marca menos porque el cubo está flotando”.

En la línea 10 se evidencia la identificación de propiedades de las entidades [IPE], porque los estudiantes refieren a la propiedad de la entidad “empuje” que es la de “disminuir” el peso de los bloques.

CUADRO 2. Fragmento de la transcripción de E, C y V.

| | | |
|----|---|-------|
| 1 | <i>E: los dos están en la balanza (.) La única duda que tengo es el empuje. Si se toma el</i> | |
| 2 | <i>empuje como una fuerza de acción y reacción, la tercera ley, y se anula, el peso sigue</i> | |
| 3 | <i>estando ahí, es algo real, [si actúa]</i> | [IPE] |
| 4 | <i>C: [SI] pero la ley de acción y reacción, es para cuando no actúa fuerza alguna sobre el</i> | |
| 5 | <i>cuerpo, en este caso está actuando</i> | [IPE] |
| 6 | <i>E: [si pero]</i> | |
| 7 | <i>C: [es para] cuando un cuerpo está en reposo</i> | |
| 8 | <i>E: pero está en reposo, [o sea]</i> | |
| 9 | <i>C: [pero] el fluido ejerce una fuerza</i> | [IPE] |
| 10 | <i>E: el fluido y el peso</i> | |
| 11 | <i>V: el peso del fluido (.) hay dos fuerzas actuando</i> | [IPE] |

El cuadro 2, muestra otro segmento de la transcripción en situación de aula. En ella se identifica la propiedad [IPE] de la entidad “peso” de los bloques y la entidad “empuje” con las fuerzas que actúan en el sistema. E describe la entidad “empuje” como una fuerza de acción y reacción que se anula con la entidad “peso”, es decir identifican al peso y al empuje como fuerzas y asocian al primero, propiedades de este último, para poder actuar de cierta manera y que el mecanismo funcione (registro de la balanza).

A continuación E y C, entran en conflicto con sus argumentos cuando la balanza registra una fuerza resultante, que debería ser nula, si la entidad “peso” se anula con la entidad “empuje”, ¿por qué la balanza no indica ese registro?. Por otro lado afirman que la entidad “peso” es algo que está sobre la balanza y que ésta tiene que notarlo, aunque esto último no se especifica explícitamente, es lo que los estudiantes, parece que piensan. En este sentido, se identifica otro código que es el encadenamiento [C] implícito, porque conectan la entidad peso con el empuje, establecen relaciones y cómo esa relación deriva en la lectura de la balanza.

El cuadro 3, se muestra otro segmento de la transcripción del debate de los alumnos implicados en este estudio.

CUADRO 3. Fragmento de la transcripción de E y C

| | | |
|---|--|-----|
| 1 | <i>E: El fluido ejerce una fuerza, el empuje, eso es Arquímedes, pero la está venciendo a la</i> | |
| 2 | <i>fuerza peso, es por eso que el bloque de madera flota, en el otro caso (refiriéndose al</i> | |
| 3 | <i>bloque de metal) no la vence totalmente por eso está sumergido</i> | [C] |
| 4 | <i>C: sabes que pienso yo, supongamos que el vaso este hasta el borde de agua y vos</i> | |
| 5 | <i>sumergís el cuerpo, si el agua se derrama, ahí el peso del agua derramada, sería igual al</i> | |
| 6 | <i>peso del cuerpo sumergido en el agua, ahí el peso sería igual (.)</i> | [C] |

En esta parte de la indagación domina el uso de mecanismos de conocimiento de la estructura causal [C]. E describe (línea 1-3) el comportamiento causal de lo que sucede con el bloque de madera y de metal en el fluido como: "si la fuerza empuje vence a la fuerza peso causa que el bloque de madera flote" y, "si la fuerza empuje no la vence totalmente a la fuerza peso causa que el bloque de metal este sumergido". Ambas explicaciones dan cuenta de cómo se articulan los mecanismos involucrados (relación entre el peso y el empuje, para que los cuerpos floten o queden sumergidos) con el uso de mecanismos causales para hacer afirmaciones sobre lo que debe haber sucedido con anterioridad (relación entre las entidades peso y empuje) para lograr el estado actual de las cosas (flote o se sumerge). Al conocer las propiedades generales de las entidades involucradas, mucho puede decirse de las actividades (“la está venciendo” o “no la vence totalmente”) para que se produzca un cambio en las entidades (“peso” y “empuje”), se utiliza el conocimiento de la ocurrencia de una actividad en el mecanismo para conjeturar sobre las consecuencias de esta actividad sobre las entidades y propiedades de esas entidades en la siguiente etapa.

Este resultado preliminar permite visualizar que el mecanismo de indagación da la posibilidad de establecer que:

- Las condiciones iniciales en la resolución de problemas, en el marco del razonamiento mecanicista, tiene su correlato con la descripción idealizada de las condiciones iniciales o específicas que

hacen los expertos a la hora de buscar soluciones a un problema concreto. La identificación de las condiciones iniciales “ubicación de los bloques dentro/fuera del seno del agua” están presentes en los razonamientos efectuados por E, C y V, esto constituye el punto de partida de la comprensión cualitativa del mecanismo involucrado y su relevancia a la hora de establecer las contradicciones planteadas en las inferencias de los estudiantes con la opción de cuál sería el “registro de la balanza” en las distintas situaciones planteadas.

- La identificación de las entidades que forman parte del proceso de indagación y que son fundamentales para resolver la tarea, no parece presentar dificultad en el grupo de estudiantes y existe consenso, de que esas entidades son las que se ponen en juego a la hora de resolver el problema, a pesar de sus distintas posturas acerca de cómo sería la explicación del fenómeno en estudio.

- El mecanismo de encadenamiento permite argumentar de modo predictivo cómo las entidades o actividades están presentes en la indagación del fenómeno. Las distintas explicaciones causales en la cual los estudiantes tratan de establecer vinculaciones formales entre las entidades *peso* y *empuje* para dar sentido a la construcción de esquemas que den sentido al estado *flota* o *se sumerge* y su correlato con el *registro de la balanza*. Esto los lleva a pensar una explicación alternativa, cuando C plantea qué sucede en el caso de un vaso lleno de agua y un cuerpo sumergido en él.

El conjunto completo de razonamientos mecanísticos que los estudiantes ponen en juego en el proceso de indagación generan explicaciones del fenómeno que son productivos para el proceso de enseñanza y aprendizaje y, permiten la valoración de la indagación, incluso cuando no conducen a respuestas canónicas. Si bien, los razonamientos observados se acotan al estudio exploratorio planteado, sirven como punto de partida para comprender la importancia de la indagación en la resolución de problemas de física y, cualquiera que sea la forma que adopten sus resultados, su papel es valioso debido a que promueve modelos de currículo, enseñanza y evaluación que tienden a la construcción del conocimiento.

IV. CONCLUSIÓN

Si bien el discurso de los estudiantes se contrastó con la realización de la experiencia concreta de cada caso en particular que incluyó este estudio, se deja como objetivo de próximas investigaciones, el análisis del razonamiento posterior que resulta de la vivencia que cada uno plantea al conocer los resultados ciertos del problema y que, probablemente, los llevará a refinar y replantear su discurso. En términos generales, consideramos que la utilidad de este trabajo reside, desde la perspectiva del grupo de investigación, en que brinda algunos resultados empíricos que permiten valorar los resultados e indagar en una temática poco estudiada hasta ahora. La respuesta posible de estos estudios posteriores más completos en el tema, permitirá identificarlas piezas conceptuales faltantes en las explicaciones ante una tarea dada, valorando y estimulando razonamiento mecanicista, retroalimentando el proceso que conduzca o no a razonamientos correctos y evaluando la utilidad de los mismos en el proceso de enseñanza y aprendizaje en el aula.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece las valiosas sugerencias de los evaluadores de este trabajo que aportaron mayor claridad a los argumentos y al contexto de la investigación.

REFERENCIAS

Bechtel, W. y Abrahamsen, A. (2005). Explanation: A mechanist alternative. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 36, pp. 421-441.

Chen, Z. y Klahr, D. (1999). All Other Things Being Equal: Acquisition and Transfer of the Control of Variables Strategy. *Child Development*, 70(5), pp. 1098-1120.

Craver, C.F. (2002). Interlevel experiments and multilevel mechanisms in the neuroscience of memory. *Philosophy of Science (Supplement)*, 69, pp. 83-97.

- Craver, C.F., & Darden, L. (2001). Discovering mechanisms in neurobiology: The Case of spatial memory. En P.K. Machamer, R. Grush, y P. McLaughlin (Eds.), *Theory and Method in the Neurosciences* (pp. 112-137). Pittsburg, PA: University of Pittsburg Press.
- Craver, C. F. (2007) *Explaining the Brain: Mechanisms and the Mosaic Unity of Neuroscience*. Oxford University Press.
- Darden, L. y Craver, C.F. (2002). Strategies for discovering mechanisms: Schema Instantiation, modular subassembly, forward/backward chaining. *Philosophy of Science (Supplement)*, 69, pp. 354-365.
- Erickson, F. (2006). *Handbook of Complementary Methods in Education Research*. Green, J.; Camilli, G. and P. Elmore, P. (Eds.) Mahwah, NJ: Earlbaum, Lawrence.
- Gentner, D. y Gentner, D.R. (1983) *Flowing Waters or Teeming Crowds: Mental Models of Electricity*. En D. Gentner y A. I. Stevens (Eds.) *Mental Models* (pp. 99-129) Hillsdale, N. J. Lawrence Erlbaum Associates.
- 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., Russ, R., Mekeska, J., Scherr, R. (2005). *Identifying inquiry and conceptualizing students' abilities*. Departments of Physics and Curriculum & Instruction University of Maryland, College Park.
- Jacobs, J., Hollingsworth, H., y Givvin, K.B. (2007). Video-based research made 'easy': Methodological lessons learned from the TIMSS Video Studies, *Field Methods*, 19(3), pp. 284-299.
- Leonard, W. J., Dufresne, R. J., Gerace, W. J. y Mestre, J. P. (2001). *Activities & Reader.Minds - On Physics - Complex Systems*. UMass Physics Education Research Group. Massachusetts: Kendall/Hunt Publishing Company.
- Machamer, P., Darden, D., y Craver, C. (2000). Thinking about mechanisms. *Philosophy of Science*, 67, pp. 1-25.
- Osborne, J., Erduran, S., Simon, S. (2004). Enhancing the Quality of Argumentation in School Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), pp. 994-1020.
- 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.
- Russ, R. (2006). *A framework for recognizing mechanistic reasoning in student scientific inquiry*. PhD dissertation, Universidad de Maryland.
- Russ, R., Coffey, J., Hammer, D. y Hutchison, P. (2008). Making Classroom Assessment More Accountable to Scientific Reasoning: A Case for Attending to Mechanistic Thinking. *Science Studies and Science Education*. Wiley Interscience. www.Interscience.wiley.com.
- Schauble, L. (1996). The Development of Scientific Reasoning in Knowledge-rich Contexts. *Developmental Psychology*. 32 (1), pp. 102-119.