

Evaluación interna de las explicaciones de los estudiantes cuando resuelven problemas de física

Internal evaluation of students' explanations when they solve physics problems

María Viviana Nieva^{1*} y Laura Buteler²

¹Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Catamarca, Av. Belgrano 300, 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 aborda el estudio de caso, de la validación de dos explicaciones vertidas por un estudiante universitario en el contexto de resolución de problemas de física. Para ello se aplica la métrica interna como metodología de análisis. La métrica interna es una construcción teórica multidimensional que permite la evaluación de las explicaciones en diferentes dimensiones y con diferentes recursos. Las tres dimensiones propuestas en el marco teórico son: intuición; coherencia local y razonamiento mecanicista. El instrumento de recolección y análisis de datos son: las grabaciones audiovisuales y la técnica analítica de identificación de elementos de conocimiento y códigos del episodio ilustrado. Los resultados sugieren que este modelo, constituyen un buen instrumento de evaluación interna de las explicaciones mediante la operacionalización de sus tres dimensiones.

Palabras clave: Evaluación interna; Explicaciones de los estudiantes; Resolución de problemas en física.

Abstract

The present work addresses the case study of the validation of two explanations given by a university student in the context of solving Physics problems. For this, the internal metric is applied as an analysis methodology. The internal metric is a multidimensional theoretical construction that allows the evaluation of explanations in different dimensions and with different resources. The three dimensions proposed in the theoretical framework are: intuition; local coherence and mechanistic reasoning. The data collection and analysis instrument are: audiovisual recordings and the analytical technique of identification of elements of knowledge and codes of the illustrated episode. The results suggest that this model constitutes a good instrument for internal evaluation of the explanations through the operationalization of its three dimensions.

Keywords: Internal evaluation; Students' explanations; Physics problem solving.

I. INTRODUCCIÓN

La literatura de educación en ciencias ha resaltado la importancia de las explicaciones científicas para la comprensión conceptual de los estudiantes y para su comprensión de la naturaleza del conocimiento científico. Sin embargo, y a pesar del acuerdo general sobre el potencial de que los estudiantes construyan sus propias explicaciones, todavía no se ha alcanzado una noción consensuada de lo que es una explicación científica. Como resultado, existen varios marcos que definen las explicaciones científicas con diferentes focos, así como diferentes nociones de lo que se considera una buena explicación (Braaten y Windschitl, 2011; Brigandt, 2016; de Andrade, Freire y Baptista, 2019). La concepción

www.revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF

REVISTA DE ENSEÑANZA DE LA FÍSICA, Vol. 32, no. extra (2020)

279

La evaluación del presente artículo estuvo a cargo de la organización del 15 Simposio de Investigación en Educación en Física

nuclear de todas ellas, es que las explicaciones son respuestas a preguntas particulares que deberían conectar patrones de datos con afirmaciones sobre el significado de estos datos (Sandoval y Reiser, 2004). Al construir explicaciones, los estudiantes no solo tienen que generar e interpretar datos, sino que tienen que ir más allá de las interpretaciones locales, para sintetizar conclusiones de múltiples fuentes de datos que enfatizan el dominio de las teorías mediante marcos explicativos.

Un aspecto importante a tener en cuenta en esta construcción, es la validación de las explicaciones de los estudiantes, para que se constituyan en buenas explicaciones. En este sentido hay dos vertientes de validación: una externa y otra interna. La evaluación externa subyace de la compatibilidad con las explicaciones científicas formales construidas socialmente (Bechtel y Abrahamsen, 2005). Las evaluaciones internas, por su parte, pueden tener diferentes dimensiones y pueden depender de diferentes recursos. La idea básica es que los seres humanos tienen un sentido intrínseco y poseen la capacidad de extraer inferencias que no se siguen lógicamente de las premisas, sino que se basan en suposiciones temporales sobre cuál sería la mejor explicación.

En un estudio acerca de la evaluación interna de las explicaciones de los estudiantes cuando analizan un fenómeno físico en particular, Kapon y Parnafes (2014), proponen un modelo teórico, al que denominan metafóricamente métrica interna para la certeza de las explicaciones. Ésta construcción teórica es multidimensional y se sustentan en el análisis de tres dimensiones: (1) intuición; (2) coherencia local y (3) razonamiento *mecánico*.

El objetivo de este trabajo, es operacionalizar este modelo de evaluación interna en un contexto de entrevista con alumnos que cursan el segundo año de las carreras de Física cuando resuelven situaciones problemáticas de estática de fluidos. El análisis incluye, estratificar dos secuencias de explicaciones de los estudiantes, focalizando en la explicación de un sujeto que muestra cambios en sus convicciones argumentativas. Estos cambios, establecen diferencias entre las dos explicaciones a lo largo de las tres dimensiones especificadas anteriormente.

La importancia de este estudio radica en mostrar que los estudiantes poseen argumentos que dan sustento a sus explicaciones, que responden a construcciones internas propias, dependientes del contexto y que no necesariamente responden a los cánones de la ciencia formal de manera lineal. La validación interna permite advertir y valorar si ha habido progreso o no en una escala más minuciosa, pequeña, detallada, e independiente del canon. Esto no significa, que no exista un interés que los estudiantes progresen en la dirección del canon, sino que, en el camino hacia esa meta, hay muchas variantes de mejora que no necesariamente coinciden con el canon, pero que se dirigen hacia él. Si nos quedamos sólo con la validación externa, del tipo "correcta" o "incorrecta", es una escala muy rústica, muy gruesa, para evaluar el progreso. Esto constituye un aspecto relevante, cuando se piensa en nuevas formas de validar explicaciones cuando se resuelven problemas en contextos de aula y nuevos desafíos de los profesores para propiciar instancias, que generen estas formas de valoración de marcos explicativos de los fenómenos que subyacen en el mundo físico.

II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Se definirán cada una de las tres dimensiones de análisis utilizados en este trabajo según el modelo propuesto por Kapon y Parnafes (2014), para evaluar las explicaciones de los estudiantes, ellos son: intuición, coherencia local y razonamiento *mecánico*.

A. Modelo de intuición para la evaluación interna de las explicaciones

Los autores Kapon y diSessa (2012) desarrollaron un modelo de explicación y cambio en la explicación, que se enfoca en elementos del conocimiento (EC) que proporcionan una sensación de satisfacción a quienes juzgan la explicación. Llamaron a estos primitivos explicativos *e-prims*. Definen a estos EC, como unidades de explicaciones autoexplicativas e incuestionables que los estudiantes toman simplemente como "las cosas son", dentro del lapso de tiempo que conlleva evaluar una explicación. Por definición *e-prims* tiene como fuente generatriz: sus experiencias con el mundo físico, las interacciones sociales, el lenguaje o incluso la instrucción explícita. Por ejemplo, cuando un individuo afirma "los cuerpos caen hacia abajo", de acuerdo con este modelo explicativo las explicaciones que subyacen, son aceptadas o rechazadas sobre la base de las convicciones del individuo con respecto a *e-prims* particulares y cómo estos primitivos se ajustan al contexto de su pensamiento. ¿Qué sucedería si, por el contrario, un profesor soltase intencionalmente un trozo de tiza mientras habla?, nadie prestaría atención a este evento en la clase. Pero, si por algún milagro, la tiza flotara en el aire, la intuición de los estudiantes sugeriría, que la tiza debería "haber caído hacia abajo" cuando la soltó. Al no suceder esto, seguramente los presentes se sorprenderán, porque este evento no conformará un *e-prims* aceptable para sus explicaciones. La tabla I, presenta la lista de criterios para identificar *e-prims*, según el criterio de Kapon y diSessa (2012).

TABLA I. Criterios para analizar la dimensión intuición según modelo de Kapon y diSessa (2012).

Criterio	Definición
Funcionalidad	El elemento de conocimiento es explicativamente útil para el objetivo del razonamiento y responde al contexto en el que tiene lugar este razonamiento.
Evidencia	El elemento de conocimiento se considera con declaraciones explícitas o con confianza y aceptación poco elaboradas.
Desarrollo histórico	Somos capaces de identificar experiencias familiares de las cuales el elemento de conocimiento podría haberse abstraído.
Triangulación de la expresión	El elemento de conocimiento reaparece con frecuencia en una variedad de manifestaciones durante el proceso de razonamiento.
Triangulación de forma y contenido	El elemento de conocimiento coincide con otras nociones intuitivas documentadas. Este criterio no siempre se puede satisfacer, pero cuando lo hace, podemos considerar que nuestra interpretación se encuentra en un terreno más seguro.

B. Modelo de coherencia local para la evaluación interna de las explicaciones

El término "coherencia local" fue acuñado por Hammer, Elby, Scherr y Redish (2005) para resaltar que la activación de elementos de conocimiento y la formación de coherencias específicas son sensibles al contexto. Sherin, Krakowsky y Lee (2012) también apoyaron esta noción, al sugerir que cuando un estudiante explica un fenómeno, una estructura conceptual temporal subyacente a la explicación exhibe una consistencia que puede cambiar con una explicación diferente a medida que se desarrolla la actividad. Parnafes (2012) sugirió que una explicación que tiene sentido para un estudiante vincula un conjunto de elementos de conocimiento de diferentes tipos, que se cohesionan localmente en un contexto específico. La explicación (temporal) de un estudiante se ve como una colección de elementos de conocimiento que se activan y se ajustan en ese momento en particular y para ese propósito en particular, por lo tanto, la explicación tiene sentido. En este modelo, el estudiante que intenta comprender un fenómeno, pasa por iteraciones de autoexplicaciones, con etapas temporalmente estables de satisfacción con la explicación que genera. Esta comodidad se interpreta como una meseta temporal de coherencia local.

C. Modelo de razonamiento *mecánico* para la evaluación interna de las explicaciones

Russ, Scherr, Hammer y Mikeska (2008) adaptaron una explicación del mecanismo de la filosofía de la ciencia (Machamer, Darden y Craver, 2000) y desarrollaron un esquema de codificación que intenta identificar el razonamiento mecanicista, basado en la investigación, en el discurso de los estudiantes en las aulas de ciencias. Una suposición subyacente de su esquema de codificación es que la evidencia de razonamiento *mecánico* en la charla de los estudiantes no garantiza que las explicaciones que generan sean científicamente correctas. Esta suposición hace que el marco de Russ *et al.* (2008), sea una herramienta prometedora para evaluar empíricamente el nivel de razonamiento mecanicista en las explicaciones de los estudiantes y si se correlaciona con las convicciones relativas de los estudiantes en estas explicaciones. La tabla II, presenta el esquema de codificación en Russ *et al.* (2008), ordenados jerárquicamente según criterio de complejidad creciente.

TABLA II. Codificación jerárquica del razonamiento *mecánico* según Russ *et al.* (2008).

Código	Definición
(1) Descripción del fenómeno objetivo (DFO)	Descripción clara del fenómeno particular o resultado que el estudiante está tratando de explicar.
(2) Definición de las condiciones iniciales o de configuración (CI)	Descripción de la organización espacial y temporal de entidades que permiten que el mecanismo funcione y produzca el fenómeno.
(3) Identificación de entidades (IE)	Reconocimiento de los objetos que afectan el resultado del fenómeno.
(4) Identificación de actividades (IA)	Identificación de las diversas actividades en los que las entidades se involucran, articular las acciones e interacciones que ocurren entre las entidades, describir las cosas que hacen las entidades que causan cambios en las entidades circundantes.

TABLA II. (Continuación)

Código	Definición
(5) Identificación de propiedades de las entidades (IPE)	Identificación y articulación de propiedades generales de entidades que son necesarias para que se ejecute el mecanismo particular.
(6) Identificación de organización de entidades (IOE)	Identificar cómo están organizadas espacialmente las entidades, dónde están ubicadas y cómo están estructuradas.
(7) Encadenamiento desde y hacia (EDH)	Usar el conocimiento sobre la estructura causal del mundo para hacer afirmaciones sobre lo que debe haber sucedido previamente para lograr el estado actual de las cosas (hacia atrás) o lo que sucederá después dado que ciertas entidades o actividades están presentes ahora (hacia adelante).

No se incluyen dentro de estas jerarquías dos códigos que también forman parte de la codificación que son: analogías (A) con mecanismos similares en otros contextos o campos como marco para comprender nuevas situaciones, comparando el fenómeno objetivo con otro fenómeno y las animaciones (MA), que incluyen utilización gestos, movimientos corporales, etc., para ilustrar cómo ciertas entidades actúan en el mecanismo.

III. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El estudio se hizo con un estudiante que cursó el Profesorado de Física en una universidad nacional de la República Argentina. Si bien en la entrevista participaron de manera voluntaria cuatro sujetos P, C, F y J (todos alumnos regulares del Ciclo Básico de la carrera e incluidos de manera necesaria en los extractos seleccionados), se focaliza el estudio en las explicaciones del sujeto P.

Se elige para este trabajo una de las tareas asignadas al grupo y que tiene como propósito explorar ideas de fenómenos que involucran estática de fluidos, analizando los diferentes registros en la balanza, según la disposición de los objetos sólidos en cada una de las opciones planteadas: A, B C y D (figura 1).

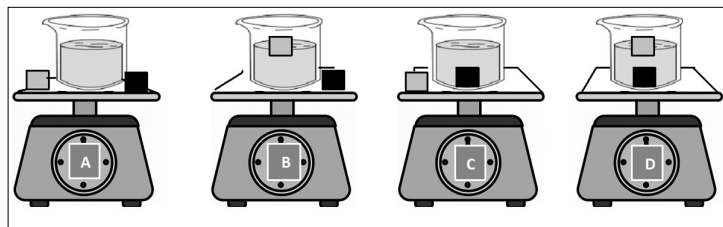


FIGURA 1. Tarea seleccionada en la que se exploran fenómenos que involucran fluidos y su comportamiento con objetos sólidos.

Para la recolección de datos, se utilizó la técnica de reportes verbales de las explicaciones que se ponen en juego para dar respuesta a las tareas, aunque en algunas situaciones los entrevistados vieron la necesidad de representar gráficamente y simbólicamente su desarrollo en la hoja de papel. Las entrevistas fueron realizadas de manera grupal, debido a que se considera que, de este modo, se ve enriquecido por el aporte del debate. El rol del entrevistador se focaliza en aclaraciones puntuales ya sea por *modus proprio* o a pedido de los entrevistados.

La captación de la imagen y del sonido se realizó mediante la utilización de dos cámaras filmadoras, ubicadas de manera estratégica para optimizar la posterior transcripción de los reportes verbales y la captación de registros realizados en el papel. Estas transcripciones se hicieron mediante el método de Jefferson (Bassi Follari, 2015) con algunas modificaciones realizadas por los autores.

El análisis de los datos se efectuó siguiendo la técnica analítica de identificación de elementos de conocimiento y códigos. Este proceso permitió tener una visión del conjunto de los datos plasmados en las transcripciones escritas, identificando extractos de los dos episodios significativos de las explicaciones seleccionados. También se establecieron las similitudes y las diferencias de los dos extractos seleccionados para determinar características distintivas de las tres dimensiones analizadas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizan los resultados de cada caso, focalizando el estudio en la explicación del estudiante P:

A. Análisis explicación 1

Los estudiantes analizaron cada una de las opciones y luego se generó el debate para explicar lo que sucedió. Posteriormente, recurrieron a esquemas gráficos, diagrama de cuerpo aislado, para mejorar la comprensión del problema. La tabla III presenta la primera explicación seleccionada para su análisis.

TABLA III. Primer extracto del debate seleccionado para su análisis.

1	<i>P: Para empezar esto es Arquímedes, Principio de Arquímedes</i>
2	<i>C: Tercera Ley de Newton, acción y reacción</i>
3	(5) 😊
4	<i>F: Yo no lo veo como tercera Ley de Newton</i>
5	<i>P: Yo veo como Principio de Arquímedes, por ejemplo en el segundo caso B, el bloque de madera, acá tenemos una fuerza, P</i>
6	<i>(peso) igual a E (empuje)</i>
7	<i>C: yo lo tomo como acción y reacción, acá tenemos el peso (.) en el primer caso (A) y el tercer caso (caso C) la balanza</i>
8	<i>marcaría el mismo valor</i>
9	<i>F: ¿Y cómo supone, cómo sabes que marca el mismo valor?</i>
10	<i>C: porque el cuerpo de metal no está flotando, está en la base (caso C)</i>
11	<i>P: pero [desaloja agua]</i>
12	<i>F: [el estático]</i>
13	<i>P: si bien el bloque está en la base (caso C), pero está desalojando volumen, el volumen que está desalojando es el peso y</i>
14	<i>vence la fuerza empuje (.) además si hay más volumen, hay más presión abajo y debería marcar más la balanza, está</i>
15	<i>presionando más porque está en el fondo del recipiente.</i>

Para analizar cada una de las dimensiones, este estudio se focalizará en la explicación del estudiante P, en el contexto de intercambios mutuos con C y en menor medida con el resto de los estudiantes (J y F). La elección se sustenta en el hecho que, las argumentaciones de ambos hablantes (P y C), muestran convicciones diferentes y cambios durante la generación de sus explicaciones.

Aducimos que el núcleo de esta explicación es el *e-prim* "diferentes registros de la balanza y ubicación espacial de los bloques". El análisis de la primera dimensión de intuición se resume en la tabla IV.

TABLA IV. Dimensión intuición para la explicación 1, del estudiante P.

Criterio	Definición
Funcionalidad	Existencia o no de la fuerza empuje en las situaciones planteadas y su incidencia en los registros de la balanza
Evidencia	La existencia de la fuerza empuje cuando el bloque de metal está en la base del recipiente (opción C)
Desarrollo histórico	Las dificultades que permanecen o aparecen cuando se explica la existencia del empuje sobre un cuerpo totalmente sumergido en un líquido
Triangulación de la expresión	Los turnos de los hablantes C y P, son manifestaciones diferentes del mismo <i>e-prim</i>
Triangulación de forma y contenido	Autores como Mazzitelli, Maturano, Núñez y Pereira (2006), Nieva, Buteler y Coleoni (2014) afirman que el concepto clave para entender la flotación es sin duda el empuje, y la mayoría de los trabajos que se han realizado hasta el momento sobre las concepciones de los estudiantes se centran en estudiar de qué variables creen ellos, depende el empuje (masa o peso del cuerpo, volumen, forma, densidad del fluido...). Pero previamente a dicho problema está el de la misma existencia del empuje. Al ser el empuje una fuerza, se desprenden dificultades asociadas con las que se derivan de la misma naturaleza del concepto. Como demuestran los estudios llevados a cabo en el campo de la mecánica acerca del concepto de fuerza, las concepciones intuitivas que poseen los alumnos son variadas y muy difíciles de cambiar.

Los elementos de conocimiento analizados en la tabla IV, cumplen con los criterios obligatorios de identificación de un *e-prim*.

La otra dimensión de análisis, la coherencia local, muestra los elementos de conocimiento de P en su argumentación, que son: (1) existencia de fuerza peso y fuerza empuje, (2) distintos registros de la balanza, (3) cuerpo que descansa en la base del recipiente con fluido, recibe fuerza empuje y (4) cuerpo que descansa en la base del recipiente con fluido recibe mayor presión por parte de la columna del fluido y por tanto el registro de la balanza es mayor.

Todos los elementos de conocimiento que emergen del esquema argumentativo del estudiante P (1, 2, 3 y 4) son coherentes localmente entre sí y sugieren inferencias coherentes, que permiten explicar el fenómeno observado de manera convincente: *existencia del empuje sobre un cuerpo totalmente sumergido en un líquido*.

Para establecer la medida de razonamiento *mecánico*, se utilizan los códigos enumerados en la tabla II (Russ *et al.*, 2008).

TABLA V. Dimensión razonamiento *mecánico* para la explicación del estudiante P.

(1) (DFO)	<i>Existencia de fuerza empuje en las situaciones planteadas y su incidencia en los registros de la balanza, mediante la expresión "debería marcar más la balanza".</i>
(2) (CI)	El bloque de metal en la base del recipiente con agua genera un registro distinto en la balanza
(3) (IE)	Fuerza empuje, fuerza peso, volumen y presión
(4) (IA)	<i>"está desalojando volumen", "está presionando más porque está en el fondo del recipiente"</i>
(5) (IPE)	Fuerza peso, flotación
(6) (IOE)	<i>"el bloque está en la base, está desalojando volumen, el volumen que está desalojando es el peso y vence la fuerza empuje" "si hay más volumen, hay más presión abajo y debería marcar más la balanza, está presionando más porque está en el fondo del recipiente"</i>
(7) (EDH)	<i>Si bien el bloque está en la base (opción C), pero está desalojando volumen, el volumen que está desalojando es el peso y vence la fuerza empuje (.) además si hay más volumen, hay más presión abajo y debería marcar más la balanza, está presionando más porque está en el fondo del recipiente.</i>

Se observan siete códigos de la dimensión razonamiento *mecánico*, en la explicación del estudiante P. El debate se monopoliza en la opción C, en donde la ubicación espacial del bloque de metal en la base del recipiente que contiene agua parece ser el punto de mayor conflicto del debate. Puede inferirse un acercamiento a un encadenamiento causal en el discurso del estudiante entrevistado P, usando el conocimiento sobre la estructura causal del mundo "la existencia/no existencia de la fuerza empuje" para hacer la afirmación "los distintos registros de la balanza", sobre el estado actual de las cosas "bloque de metal sobre la base del recipiente con agua".

B. Análisis Explicación 2

Después de analizar cada uno de las opciones presentadas en el problema, se focalizan nuevamente en la discusión de la opción C e incorporan en el análisis la opción D, que ha generado un interés singular por parte de los estudiantes. En este caso, de la verbalización de las situaciones pasaron a una instancia de análisis utilizando el diagrama de cuerpo aislado y la esquematización de cada caso. El pasaje del debate que se considera oportuno para continuar el análisis, se muestra en la tabla VI (Debido a limitaciones de espacio, no se reproducen las transcripciones completas y se incorporan corchetes con tres puntos que indican los cortes realizados) y los esquemas generados en la figura 2.

TABLA VI. Segundo extracto del debate seleccionado para su análisis.

1	<i>C: En este caso (opción C) tenemos $P_1+P_2+P_3$ es igual a la lectura de la balanza.</i>
2	<i>P: claro</i>
3	<i>C: <u>Acá no tenés empuje</u> (refiriéndose al bloque de metal sumergido en el seno del agua). Lo mismo se da en este, pero el</i>
4	<i>peso del (bloque) metal es mayor (opción B)</i>
5	<i>Entrevistador: ¿en este caso no hay fuerza empuje, en el caso C?</i>
6	<i>C: <u>hay empuje</u>, pero la fuerza peso es mayor (.) el peso del metal</i>
(...)	
7	<i>P: ¿el registro C? (.) Hay empuje, está el empuje en el bloque de metal y el peso del bloque de metal, más el peso del</i>
8	<i>recipiente, más el peso del bloque de madera (.) En el caso D. Hay dos empujes actuando: en el bloque de metal y en el</i>

TABLA VI. (Continuación)

9	<i>bloque de madera, menos el peso del recipiente</i>
10	<i>C: y los dos pesos el del bloque de metal y el del bloque de madera</i>
11	<i>P: ¡a claro! más el peso del bloque de metal, más el peso del bloque de madera</i>
	(...)
12	<i>P: sí, el sistema está en equilibrio. Con respecto a lo que él dice (alumno C), si el cuerpo está en el fondo o flota, depende</i>
13	<i>de la densidad del material del cuerpo con respecto a la del agua (.). Por otro lado hay empuje. Cuando se introduce el cubo</i>
14	<i>de metal (en el recipiente con agua en la opción C) no va a pesar lo mismo que afuera, pesa ese aumento de volumen</i>
15	<i>(señalando el volumen del líquido desalojado).</i>
16	<i>C: El volumen del líquido es el mismo, lo que cambia son las densidades (de los cubos de metal y de madera)</i>
17	<i>P: la densidad si (.). Bueno lo que queremos saber cómo es el registro en la balanza (.). Hay que ver cuál pesa más (.)</i>
18	<i>De acuerdo a los gráficos</i>
19	<i>C: Para mí los empujes en la madera (cubo de madera) es el mismo. La cuestión es el cubo de metal</i>
20	<i>P: hay que restarle el empuje en el (cubo) metal</i>
21	<i>C: ¿cuánto es?</i>
22	<i>P: No eso se sabe. Es clarito que el empuje está dado por el peso del volumen del líquido desalojado por el cubo (de metal)</i>
23	<i>C: cuando está adentro (del líquido) no es el mismo (peso) que cuando está afuera</i>
24	<i>P: No estamos hablando de peso, Arquímedes dice que: el empuje es igual al peso del volumen del fluido que ha desalojado,</i>
25	<i>si sacas ese pedacito de volumen y lo pesas</i>
26	<i>C: ese volumen cuando está adentro</i>
27	Entrevistador: <i>de acuerdo a ese razonamiento, cómo son los registros</i>
28	F, P: <i>son iguales (al mismo tiempo)</i>
29	<i>C: para mí no, el empuje en el bloque de metal desaparece. Por eso A y C es el mismo. Y B y D es el mismo caso.</i>

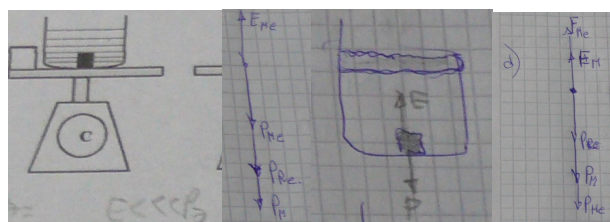


FIGURA 2. Esquemas realizados por los estudiantes para el análisis de las opciones C y D.

Los elementos de conocimiento en las explicaciones del debate de P, son: (1) existencia de fuerza empuje, (2) iguales registros de la balanza en las opciones C y D, (3) cuerpo que descansa en la base del recipiente con fluido, recibe fuerza empuje y (4) la condición que un cuerpo flote o descansa en la base del recipiente, depende de la densidad del material del cuerpo con respecto a la del agua.

El análisis de intuición como primera dimensión de evaluación interna de las explicaciones del estudiante P, nos muestra que están presentes los criterios de:

TABLA VII. Dimensión intuición para la explicación 2, del estudiante P.

Criterio	Definición
Funcionalidad	Existencia de fuerza empuje en las situaciones planteadas (opción C y D) y su incidencia en la igualdad de los registros de la balanza en dichos casos.
Evidencia	La existencia de la fuerza empuje cuando el bloque de metal está en la base del recipiente (opción C y D)
Desarrollo histórico	Las dificultades que permanecen o aparecen cuando se explica la existencia del empuje sobre un cuerpo totalmente sumergido en un líquido
Triangulación de la expresión	Hay un cambio de e-prim "igualdad de registros de la balanza según ubicación espacial del bloque de metal en las opciones C y D"

La triangulación de la forma y contenido no se incorpora en la tabla VII, porque tiene la misma forma del analizado en la explicación 1 (tabla IV).

El núcleo de la idea del estudiante P se encuentra el *e-prim* (1) *existencia de fuerza empuje* en la situación en la que, el bloque de metal se sitúa en la base del recipiente con agua, pero hay un cambio paradigmático cuando ahora afirma la igualdad de los registros de la balanza para los casos en que esto se manifiesta (opciones C y D). La explicación en un comienzo, ponía en duda la convicción de igualdad de los registros en la balanza, idea que ha ido profundizando y fortaleciendo a lo largo del intercambio de fundamentaciones con su compañero C (el cual no comparte este argumento de la existencia de fuerza empuje, líneas 3-4 y 29, como así también la idea de igualdad en los registros de la balanza, línea 29) y apoyado por el estudiante F (línea 28), que muestra el mismo criterio explicativo. Éste acomodamiento conceptual se realiza mediante la aplicación del modelo empírico del principio de Arquímedes, analizando las ecuaciones y esquemas de diagrama de cuerpo libre. La triangulación de las expresiones del estudiante P, aparecen no sólo en la verbalización de sus explicaciones, sino también en la utilización de esquemas gráficos y analíticos. Se advierte en esta explicación 2, la existencia de los criterios de la dimensión intuición de la evaluación interna.

Nuevamente se observa en la dimensión coherencia local, que todos los elementos de conocimiento que emergen del esquema argumentativo del estudiante P (1, 2, 3 y 4) son coherentes localmente entre sí y sugieren inferencias coherentes, que permiten explicar el fenómeno observado de manera convincente: *existencia del empuje sobre un cuerpo totalmente sumergido en un líquido en las opciones C y D*.

Para el caso del análisis de la dimensión razonamiento *mecánico*, la tabla VIII resume los códigos identificados.

TABLA VIII. Dimensión intuición para la explicación 2, del estudiante P.

(1)	(DFO)	<i>Existencia de fuerza empuje en las opciones planteadas C y D, y la afirmación de los estudiantes P y F, "son iguales" ante la intervención del entrevistador "de acuerdo a ese razonamiento, cómo son los registros".</i>
(2)	(CI)	El bloque de metal en la base del recipiente con agua (opciones C y D), generan iguales registros en la balanza.
(3)	(IE)	Fuerza empuje, fuerza peso, volumen y densidad.
(4)	(IA)	<i>"hay dos empujes actuando", "volumen del líquido desalojado", "si sacas ese pedacito de volumen y pesas"</i>
(5)	(IPE)	Fuerza peso, sistema en equilibrio, flotación
(6)	(IOE)	<i>"si el cuerpo está en el fondo o flota, depende de la densidad del material del cuerpo con respecto a la del agua" "Cuando se introduce el cubo de metal (en el recipiente con agua en la opción C) no va a pesar lo mismo que afuera, pesa ese aumento de volumen (señalando el volumen del líquido desalojado)"</i>
(7)	(EDH)	<i>"el sistema está en equilibrio. Con respecto a lo que él dice (alumno C), si el cuerpo está en el fondo o flota, depende de la densidad del material del cuerpo con respecto a la del agua (.). Por otro lado <u>hay empuje</u>. Cuando se introduce el cubo de metal (en el recipiente con agua en la opción C) no va a pesar lo mismo que afuera, pesa ese aumento de volumen (señalando el volumen del líquido desalojado)"</i>

Se observan también en este caso, la identificación de los siete códigos de la dimensión razonamiento *mecánico*, en la explicación del estudiante P. El debate se amplía con la incorporación de la opción D, a la conflictiva argumentación de la opción C. La organización espacial del bloque de metal está en el centro del debate y no parece haber mayor inconveniente con el bloque de madera, en donde la existencia de la entidad fuerza empuje esta fuera de toda discusión. Se observa un cambio de fundamentación en cuanto al encadenamiento causal, en donde la propiedad de flotación o no de los cuerpos se debe a la entidad densidad y no a la presión que ejerce la columna del líquido en los cuerpos en cuestión. El encadenamiento causal en este caso muestra una conjunción de causas: "propiedad de flotación" debido a la "densidad del material del cuerpo sumergido con respecto a la del agua" y "existencia de la entidad fuerza empuje" debido a la organización espacial del cuerpo de metal "dentro/fuera del recipiente con agua", para argüir lo que sucede en cada caso analizado.

Existe en el debate, visiones distintas acerca de la existencia (afirmación del estudiante P) o no de fuerza empuje (afirmación del estudiante C) en el caso del bloque de metal que se encuentra situado en la base del recipiente con fluido.

Los principales tópicos que dan cuenta de cambios en las explicaciones 1 y 2 del estudiante P, se pueden observar en cada dimensión de validación interna:

Dimensión intuición: se observa un cambio en cuanto a la fuerza de la convicción del estudiante entrevistado P, de la explicación 2 con respecto a la explicación 1. Si bien en la explicación 1 ya aparece en su argumentación la existencia del *e-prim*s fuerza empuje en el bloque de metal en la opción C, cuando está ubicado en la base del recipiente con agua, no hay una clara presencia del *e-prim*s igualdad de los registros de la balanza cuando analiza cada opción en

particular. Esto si se manifiesta en la explicación 2, cuando suma y traza paralelismo entre las opciones C y D y muestra una métrica interna de certeza al afirmar que en los dos casos el registro de la balanza es el mismo.

Dimensión coherencia local: en la explicación 1, activa dos EC temporales (2) distintos registros de la balanza y (4) cuerpo que descansa en la base del recipiente con fluido recibe mayor presión por parte de la columna del fluido y por tanto el registro de la balanza es mayor. Estos EC ya no se ajustan en la explicación 2, y dan lugar a dos EC nuevos; (2) iguales registros de la balanza en las opciones C y D, y (4) la condición que un cuerpo flote o descansa en la base del recipiente, depende de la densidad del material del cuerpo con respecto a la del agua. Surge así el *e-prims: iguales registros de la balanza* en las opciones C y D. De este modo la mayor confiabilidad argumentativa del estudiante P, puede deberse al sumar una nueva opción de análisis (opción D) y al incluir esquemas gráficos para describir y priorizar la explicación 2 por sobre la 1.

Dimensión razonamiento mecánico: si bien en ambos esquemas explicativos, se visualizan todos los códigos, el grado de razonamiento mecanicista en la explicación 2 fue mayor, ya que todos los componentes conducen a explicaciones del fenómeno objetivo, conducentes con los de la ciencia instruccional.

La activación de elementos de conocimientos y la formación de coherencias específicas más sensibles, sustentan la preferencia del modelo explicativo 2 por sobre el modelo explicativo 1. Se deduce ello, en términos de las tres dimensiones de la evaluación interna de las explicaciones. El refinamiento de la argumentación se debió no sólo, a su convencimiento de lo que sucedía en el fenómeno planteado, sino también en el debate con el estudiante C, que lo hacía generar nuevas líneas de pensamiento para validar las suyas y contrastarlas con las generadas por su par.

V. CONCLUSIONES

Consideramos que la utilidad de este trabajo reside, desde la perspectiva del grupo de investigación, en que brinda algunos resultados empíricos que permiten valorar la evaluación interna de las explicaciones de los estudiantes. El estudio de caso de este trabajo, ilustra que este mecanismo permite mostrar la coherencia local en una explicación vertida por los entrevistados y como una explicación es superada por otra. Representa también una forma de visualizar por parte de los investigadores, el camino que conlleva desde la dimensión intuitiva de las explicaciones hasta formulaciones científicas más profundas de comprensión del fenómeno objeto de estudio.

Los resultados de la aplicación de este mecanismo de evaluación, sugieren la necesidad de fortalecer las acciones de validación del discurso de los estudiantes, con cada una de las dimensiones analizadas en el contexto de resolución de problemas, con estudios posteriores más completos, retroalimentando el proceso de evaluación con otros estudios de casos transferibles a dominios específicos en el proceso de enseñanza y aprendizaje en el aula.

REFERENCIAS

Bassi Follari, J. E. (2015). El código de transcripción de Gail Jefferson: adaptación para las ciencias sociales. *Quaderns de Psicologia*, 17(1). doi: 10.5565/rev/qpsicologia.1252

Bechtel, W., y Abrahamsen, A. (2005). Explanation: A mechanist alternative. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 36(2), 421-441. doi: 10.1016/j.shpsc.2005.03.010

Braden, M. y Wind-chill, M. (2011). Working toward a stronger conceptualization of scientific explanation for science education. *Science Education*, 95, 639-669. doi: 10.1002/sc.20449

Brigandt, I. (2016). Why the difference between explanation and argument matters to science education. *Science & Education*, 25(3), 251-275. doi: 10.1007/s11191-016-9826-6

De Andrade, V., Freire, S. y Baptista, M. (2019). Constructing Scientific Explanations: A System of Analysis for Students' Explanations. *Research in Science Education*, 49(3), 787-807. doi: 10.1007/s11165-017-9648-9

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

Kapon, S. y diSessa, A. (2012). Reasoning Through Instructional Analogies. *Cognition and Instruction*, 30(3), 261-310. doi:10.1080/07370008.2012.689385

Kapon, S. y Parnafes, O. (2014). Explanations that Make Sense: Accounting for Students' Internal Evaluations of Explanations. In Joseph L. Polman, Eleni A. Kyza, D. Kevin O'Neill, Iris Tabak, William R. Penuel, A. Susan Jurow, Kevin O'Connor, Tiffany Lee, and Laura D'Amico (Eds.). *Learning and Becoming in Practice: The International Conference of the Learning Sciences (ICLS) 2014*. Volume 2, 887-894. Colorado, CO: International Society of the Learning Sciences

Machamer, P., Darden, L. y Craver, C. (2000). Thinking about Mechanisms. *Philosophy of Science*, 67(1), 1-25. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/240548010_Thinking_About_Mechanisms

Mazzitelli, C., Maturano, C., Núñez, G. y Pereira, R. (2006). Identificación de dificultades conceptuales y procedimentales de alumnos y docentes de EGB sobre la flotación de los cuerpos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(1), 33-50. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92030104>

Nieva, V., Buteler, L. y Coleoni, E. (2014). Estudio preliminar y discusión de la evolución del razonamiento *mecánico* en la resolución de problemas en física. *Revista de Enseñanza de la Física*, 26(Número Extra), 175-183. Recuperado de: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/9748/10486>

Parnafes, O. (2012). Developing Explanations and Developing Understanding: Students Explain the Phases of the Moon Using Visual Representations. *Cognition and Instruction*, 30(4), 359-403, doi: 10.1080/07370008.2012.716885

Russ, R., Scherr, R., Hammer, D. y Mikeska, J. (2008). Recognizing Mechanistic Reasoning in Student Scientific Inquiry: A Framework for Discourse Analysis Developed from Philosophy of Science. Wiley Periodicals, Inc: *Science Studies and Science Education*, 92(3), 499-525, doi: 10.1002/sce.20264

Sandoval, W. y Reiser, B. (2004). Explanation-driven inquiry: Integrating conceptual and epistemic scaffolds for scientific inquiry. *Science Education*, 88(3), 345-372. doi: 10.1002/sce10130

Sherin, B. L., Krakowski, M. y Lee, V. R. (2012). Some assembly required: How scientific explanations are constructed during clinical interviews. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(2), 166-198, doi:10.1002/tea.2045