

Aprendiendo empuje durante la resolución de problemas: un análisis desde la Teoría de Clases de Coordinación

Learning buoyancy during problem solving: a Coordination-Class Theory approach

Laura María Buteler; Enrique Andrés Coleoni; María Andrea Perea
Facultad de Matemática, Astronomía y Física. Universidad Nacional de Córdoba. Instituto de Física Enrique Gaviola Medina Allende y Haya de la Torre. Ciudad Universitaria. CP 5000. Córdoba, Argentina
lbuteler@famaf.unc.edu.ar, ecoloni@famaf.unc.edu.ar, perea@famaf.unc.edu.ar

RESUMEN • El caso que se presenta en esta investigación arroja luz sobre qué aprendizajes conceptuales ocurren (o no) durante la actividad de resolver problemas. El caso está acotado a tres estudiantes que resuelven tres problemas de hidrostática y a la actividad cognitiva que acontece en torno al concepto de *empuje* durante esas tres instancias de resolución. La Teoría de Clases de Coordinación desarrollada por diSessa y Wagner (2005) permite entender cómo y cuándo estos estudiantes realizan progresos conceptuales a partir de ciertas dificultades encontradas durante el proceso de resolución. Se intenta de este modo «capturar» algunos aspectos de la dinámica de aprendizaje y su relación con las características contextuales de los problemas.

PALABRAS CLAVE: aprendizaje; resolución de problemas; clases de coordinación; empuje.

ABSTRACT • The present work describes certain details of the conceptual understanding that does and does not occur during a particular problem solving activity. The case studied focuses on three introductory physics students (university level) as they approach three problems on static fluids. The cognitive activity registered takes place around the concept of buoyant force. To carry out the analysis, Coordination Class Theory (diSessa and Wagner, 2005) is used to carry out the analysis. Ultimately, we are able to understand how and when these students make a conceptual progress in their understanding after overcoming particular difficulties. A description is achieved of some aspects of the learning dynamics and its relation to the context-specific traits of the situations.

KEYWORDS: learning; problem solving; coordination-class theory; buoyancy.

Fecha de recepción: septiembre 2013 • Aceptado: junio 2014

INTRODUCCIÓN

La tarea de resolución de problemas es considerada por los docentes de Física como una actividad necesaria durante el proceso de aprendizaje. Existe un supuesto (a veces implícito) de que tales actividades ayudan a los estudiantes a mejorar su comprensión conceptual de la Física y/o a aprender formas de razonamiento y argumentación típicos de la actividad científica. Esta asociación entre la resolución de problemas y el aprendizaje de conceptos y prácticas científicas es tan fuerte, que muy a menudo la tarea de resolución de problemas constituye en sí misma un instrumento para evaluar esos aprendizajes. Pero la experiencia docente muestra, con creces, que resolver muchos problemas de física no garantiza el desarrollo conceptual, procedimental y/o actitudinal esperado.

La comunidad de investigadores en educación en Física ha abordado el problema anterior según dos aproximaciones: estudiando el proceso de solución en sí mismo, asumiendo la existencia de cierto conocimiento conceptual, procedimental y actitudinal como «insumo» para la resolución, o utilizando la resolución de problemas como tarea cognitiva para estudiar aspectos del conocimiento conceptual. Es decir, los estudios existentes enfocan alternativamente la atención en uno u otro aspecto, pero usualmente no lo han hecho de manera simultánea en ambos. El estudio que se presenta intenta hacer un aporte para entender mejor cómo estos dos procesos (la resolución de problemas y el aprendizaje conceptual) están relacionados o, dicho de otra forma, cómo y cuándo se desarrollan aspectos conceptuales durante la resolución de problemas en Física. Los estudios existentes relativos a estos dos procesos han sido publicados en dos grandes áreas de investigación, razón por la cual se presentan antecedentes en relación con ambas líneas.

Antecedentes referidos a la resolución de problemas en Física

Una línea de investigación que originó abundante producción en relación con la resolución de problemas en Física en las décadas de los años ochenta y noventa es la denominada Expertos y Novatos. El objetivo de estos estudios fue describir diferencias en las estructuras de conocimiento conceptual y procedimental en expertos y novatos, a partir de los procesos de solución exhibidos en los protocolos verbales (para una revisión más extensa ver Maloney, 1994). Se trata de diferencias «estáticas» (conceptuales y procedimentales) entre expertos y novatos en las que las experiencias de resolución no son consideradas como experiencias de aprendizajes.

Otras investigaciones, de orientación más aplicada, retoman las diferencias entre expertos y novatos para generar estrategias de enseñanza (Foster, 2000; Heller y Heller, 1995; Huffman, 1994; Leonard, Gerace y Dufresne, 2002; Mestre, Dufresne, Gerace, Hardiman y Tonger, 1993). Sin tener en cuenta los razonamientos intuitivos de los novatos, estas estrategias de enseñanza consisten en «llevar de la mano» a los estudiantes por actividades consideradas típicamente expertas para que, eventualmente, las realicen de manera autónoma. La mayor crítica que se ha hecho de estos estudios es que no parten de lo que los estudiantes saben y saben hacer, poniendo así en cuestión la visión constructivista de estos aportes (Buteler y Coleoni, 2009; Sherin, 2006; Tuminaro, 2004).

Otra estrategia de enseñanza muy difundida en los países de habla hispana es el Modelo de Resolución de Problemas por Investigación (Becerra Labra, Gras-Martí y Martínez Torregrosa, 2004; Gil Pérez y Martínez Torregrosa, 1983; Guisasola, Furió, Seberio y Zubimendi, 2003). Este modelo 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). Ellos proponen tipos de problemas y estrategias de enseñanza

que tienden a que los estudiantes realicen un tratamiento cualitativo del problema, formulen hipótesis, elaboren posibles estrategias de resolución, analicen los resultados, etc. El desempeño de los estudiantes es comparado antes y después de aplicada esta estrategia, pero no se registra cómo y cuándo los estudiantes realizan cambios conceptuales y/o aprenden prácticas en sintonía con la actividad científica.

Esta revisión muestra que la aproximación al problema ha sido del tipo «antes» y «después» sugiriendo que, a causa del entrenamiento experimentado, los estudiantes (a veces) modifican su conocimiento conceptual y procedimental, pero no hay registros de cuándo y cómo se habrían logrado tales modificaciones. Entender mejor cómo y cuándo esos progresos ocurren permitiría explicar por qué estas estrategias de enseñanza (no siempre) logran los resultados esperados.

Antecedentes referidos al aprendizaje de conceptos o cambio conceptual

Los primeros intentos de comprensión acerca de cómo las personas aprenden conceptos científicos (o experimentan un cambio conceptual) nacieron a partir de ideas importadas de la filosofía de la ciencia, haciendo hipótesis con paralelismos entre los cambios conceptuales producidos en las comunidades científicas y aquellos producidos en las mentes de los estudiantes en el contexto del aula (McCloskey, 1983; Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982). Más allá de la utilidad de esta hipótesis para entender mejor los errores habituales de los estudiantes, muchas veces similares a los acontecidos en la historia de la Física, esta premisa perdió fuerza cuando los mismos que la propusieron admitieron que la racionalidad y la sistematicidad eran factores imprescindibles en el desarrollo, la selección y aplicación de una teoría por parte de una comunidad científica, pero que no siempre están presentes en los razonamientos de los estudiantes durante el aprendizaje de conceptos científicos (Strike y Posner, 1992).

Más recientemente, los trabajos de Vosniadou (Ioannides y Vosniadou, 2002; Vosniadou y Brewer, 1992) proponen un modelo para entender el cambio conceptual suponiendo que los estudiantes poseen teorías marco (implícitas) y que el cambio conceptual consistiría en reestructurar tales teorías implícitas. A diferencia de los estudios anteriores, estas teorías marco no son «públicas», básicamente porque no son explícitas y, por lo tanto, no admiten los procesos aplicables a las teorías científicas consensuadas por una comunidad. Una de las implicaciones más difundidas a partir de esta presuposición es que las conceptualizaciones de los estudiantes, surgidas en el seno de estas teorías marco, pueden asumirse como coherentes, limitadas en número y compactamente categorizables. Una predicción que se desprende de esta es que las respuestas de los estudiantes a una clase de situaciones referidas al mismo concepto serán consistentes dado que ellos accederían a la misma teoría marco para una variedad de instancias particulares. Vosniadou y colaboradores corroboran tal predicción. Sin embargo, estos resultados han sido desafiados por diSessa, Gillespie y Esterly (2004) mostrando cómo la replicación de ese estudio a través de la agregación de variaciones contextuales a las situaciones y preguntas realizadas por Vosniadou y Vosniadou (2002) cambia las categorías obtenidas de forma dramática.

También Chi (2005) ha propuesto una explicación para el cambio conceptual basado en la existencia de categorías ontológicas para los conceptos científicos. Según esta autora, los conceptos pertenecen a distintas categorías y se atribuyen diferentes propiedades a las entidades que pertenecen a ellas. La reasignación de un concepto desde una categoría a otra es lo que la autora entiende como un proceso de cambio conceptual fuerte. Las categorías actuarían como «barreras conceptuales» difíciles de cruzar por los estudiantes, y explicarían la robustez de algunas concepciones erróneas. Este estudio ha sido cuestionado recientemente por Gupta, Hammer y Redish (2010), argumentando que no existiría tal barrera entre categorías ontológicas de manera estable, sino más bien que las personas (tanto estudiantes como físicos profesionales) utilizarían distintas categorías dependiendo del contexto de la situación en la que se utiliza el concepto. Estos autores entienden tales categorías no como restricciones fijas y estáticas, sino dinámicas y altamente dependientes del contexto de uso.

Los antecedentes citados muestran que el proceso de cambio conceptual, tradicionalmente entendido como un proceso ligado a la abstracción de características comunes compartidas por todas las instancias del concepto, podría estar mucho más relacionado con las diferencias contextuales (diferencias en las características de las situaciones problemáticas) de las instancias particulares a partir de las cuales se aprenden y se utilizan los conceptos. La diferencia fundamental entre estas dos formas de entender la conceptualización está en el lugar que ocupa el contexto en el proceso de aprendizaje. En el primer caso, las diferencias contextuales se diluyen y desaparecen para lograr la abstracción de características comunes. En el segundo, las diferencias contextuales no se diluyen, sino que se incorporan al concepto mismo como ingrediente fundamental. Esta última será la perspectiva adoptada en este trabajo.

El objetivo del presente estudio es entender cómo distintos contextos intervienen en el aprendizaje del concepto de empuje de tres estudiantes durante la resolución de tres problemas. En este sentido, se pretende contribuir a entender mejor cómo y cuándo las personas aprenden conceptos mientras resuelven problemas. Para ello se utilizará la teoría de Clases de Coordinación, que es una teoría de cambio conceptual que incorpora la dimensión contextual como parte sustancial de ese proceso.

LA TEORÍA DE CLASES DE COORDINACIÓN

Esta teoría (diSessa y Wagner, 2005) surge para explicar algunos puntos ambiguos sobre el proceso de cambio conceptual e intenta describir, de manera más detallada que sus antecesores,¹ qué es aquello que cambia durante el proceso de cambio conceptual. Muchos de los conceptos físicos que habitualmente se enseñan en el nivel medio y universitario han mostrado ser buenos candidatos para ser modelados como clases de coordinación. La teoría ha sido utilizada para entender mejor los retrocesos y los avances durante el aprendizaje del concepto de fuerza en Mecánica (diSessa y Sherin, 1998), de tiempo propio en Relatividad Especial (Levrini y diSessa, 2008), de oscilación armónica en Física (Parnafes, 2007) y de la ley de los grandes números en Estadística (Wagner, 2006), entre otros.

Nivel I: Función primordial de una clase de coordinación

La función primordial de una clase de coordinación es «leer» cierta clase particular de información desde una gran variedad de situaciones en el mundo. El verbo *leer* es utilizado aquí en un sentido metafórico para comunicar la idea de focalizar la atención sobre cierta información y relevarla. De manera que una clase de coordinación ha cumplido su función si ha podido determinar cuál es esa información particular o distintiva. Esa información podría ser, por ejemplo, el punto de aplicación, la magnitud y dirección de una fuerza, o el número asociado con un par de puntos en el espacio-tiempo, que satisface la relación especial tipo-tiempo en Relatividad Especial, que es el tiempo propio. Desde esta perspectiva, aprender un concepto es poder relevar esa información particular desde una variedad de situaciones distintas (la extensión de tal variedad es una cuestión abierta y volveremos a ella al final de la sección). Sin embargo, el punto importante para entender qué es una clase de coordinación no reside únicamente en esa información, sino en la comprensión de los procesos y las estrategias que la teoría prevé para realizar esta «lectura» desde una variedad de situaciones distintas.

1. Para una discusión comparativa más extensa entre teorías de cambio conceptual, consultar diSessa y Sherin (1998) y Levrini y diSessa (2008).

Nivel II: Dificultades observables

Obtener la misma información distintiva que define a una clase de coordinación desde diferentes situaciones es problemático para la mayoría de los estudiantes de Física. «Leer» la información particular de una clase de coordinación desde una situación A involucra ciertos procesos o estrategias que no necesariamente son los mismos que los que permiten «leer» esa misma información desde otra situación B. El aprendizaje de un concepto del tipo clase de coordinación implica utilizar un conjunto de variadas estrategias capaces de actuar sobre un espectro de situaciones distintas para «leer», desde cada una de ellas, la misma información distintiva de esa clase. El proceso de aplicar esas estrategias variadas en una situación concreta se denomina *proyectar* el concepto. Se dice que existe un problema de *expansión* cuando hay imposibilidad de proyectar el concepto en ciertas situaciones. Se dice que existe un problema de *alineamiento* cuando desde ese espectro de situaciones distintas no se «lee» la misma información distintiva de la clase. Expandir una clase es proyectarla en situaciones distintas, y alinear una clase es poder obtener, desde cada una de esas proyecciones, la misma información distintiva. Pero la teoría también hace referencia a otro tipo más potente de alineamiento que se denomina *alineamiento articulado* o *articulación*. La articulación ocurre cuando los estudiantes no solo pueden determinar la información distintiva de una clase en diferentes circunstancias, sino cuando además logran explícitamente relacionar las distintas proyecciones, logrando ver las similitudes y diferencias en cada una de ellas. Esta forma más potente de alineamiento es un proceso metaconceptual y constituye una expansión natural de la versión original de la teoría (Levrini y diSessa, 2008).

Es importante destacar que si bien los requerimientos de expansión y alineamiento son esenciales para una clase de coordinación bien formada, no se asume que los estudiantes de Física los satisfagan. Es decir, una proyección exitosa de una clase en una situación dada no implica una proyección exitosa en otro contexto. Estas consideraciones resultan importantes porque nos proveen de un marco explicativo para estudiar el proceso de desarrollo de conceptos que aún no han cumplido con los requerimientos de expansión y alineamiento.

Nivel III: Arquitectura de una clase de coordinación

En este nivel se especifican los procesos por los cuales es posible lograr la expansión y el alineamiento. En general, las personas no extraen de manera directa la información distintiva de una clase de coordinación, lo hacen a través de dos procesos: la red causal y las estrategias de lectura. La información distintiva o característica de una clase de coordinación no siempre está disponible directamente desde la situación presentada. El conjunto de inferencias realizadas para obtener la información distintiva de la clase desde la información directamente disponible se denomina red causal. En Física, cuando se resuelve un problema involucrando una clase de coordinación, la información directamente disponible está en el enunciado del problema y la información distintiva se obtiene por medio de inferencias (cualitativas o cuantitativas a través de ecuaciones), las que forman parte del proceso de solución. Esas redes causales son diferentes para distintas situaciones aunque su solución involucre la misma clase de coordinación.

Las estrategias de lectura son las que detectan la información directamente percibida. Las estrategias de lectura son las que «deciden» cuál es la información disponible útil para una clase de coordinación y cuál no. Al igual que la red causal, estas estrategias son distintas para diferentes situaciones, aun cuando se trate de la misma clase de coordinación. En síntesis, la red causal y las estrategias de lectura son los procesos de una clase de coordinación que permiten extraer la misma información distintiva de esa clase haciendo distintas cosas ante distintas situaciones.

Por último, esta teoría prevé dos mecanismos para la construcción de una clase de coordinación: la incorporación y el desplazamiento. El conocimiento previo es la fuente desde la cual se construyen las clases de coordinación. Por lo tanto, la incorporación se lleva a cabo desde elementos del conocimiento previo del sujeto. Qué elementos de ese conocimiento se incorporan y cuáles no es uno de los factores que determina que una clase esté bien formada o no. También debe haber desplazamientos en la construcción de una clase. Desplazar no tiene aquí una connotación de reemplazo, sino que se refiere a desplazar el uso de algún elemento de cierto contexto, pero no de todos los contextos. Es bastante usual que los estudiantes utilicen ciertos razonamientos que ellos consideran que son adecuados en cierto contexto, cuando en realidad no lo son. Estos elementos, que provienen de su conocimiento previo y que son experimentados por ellos como adecuados, necesitan ser desplazados –empezar a no ser usados– en ese contexto. Qué elementos del conocimiento previo se desplazan y cuáles no es otro de los factores que determina cuán coordinada está esa clase.

Esta perspectiva para la conceptualización trae consigo importantes implicaciones para el proceso de aprendizaje. En primer lugar, no se debería esperar una línea definida entre «saber» y «no saber» un concepto. Si los conceptos se construyen a partir de la coordinación de múltiples elementos estableciendo múltiples relaciones entre ellos, es posible que, desde el punto de vista normativo, una persona muestre un desempeño competente en una situación particular de un concepto físico, aun cuando alguna de las múltiples relaciones requeridas no exista o sea errónea. Más aún, hay razones para sospechar que los humanos podemos no lograr nunca una construcción conceptual perfecta o bien que tal estado de completitud no es especificable. En este sentido, los estados más interesantes de describir serían los intermedios, aquellos que se transitan mientras aprendemos, seguramente incompletos, y no aquellos correspondientes a «sabe» o «no sabe» el concepto X.

Otra implicación que se desprende de esta teoría es que los contextos ocupan un lugar fundamental durante el aprendizaje de varias maneras. Primero, ellos son el «lugar» en el que las personas comienzan a desarrollar un concepto para que logre mayor expansión y mejor alineamiento. Además, los contextos son también el «lugar» donde se construyen las diferentes proyecciones, las cuales permanecen como parte sustancial del concepto en la experticia. Es decir, constituyen el terreno para el punto de partida de la coordinación de un concepto, pero también pasan a constituir una parte sustancial de él mediante su expansión.

METODOLOGÍA

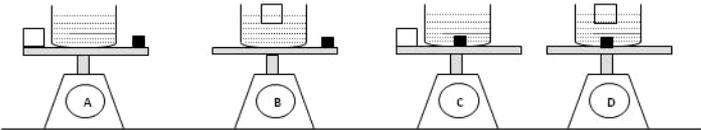
Los participantes de esta investigación son Ana, María y Juan (seudónimos), estudiantes de segundo año de una licenciatura de Física de una universidad pública de Argentina. En el momento del estudio, estaban tomando un curso de Física General II, en el que se desarrollan contenidos de Mecánica de Fluidos y de Termodinámica. Los contenidos de Mecánica de Fluidos ya habían sido trabajados en el curso al nivel de los que se presentan en textos como Serway (1997) y Sears y Zemansky (1966). La entrevista grupal realizada a estos estudiantes fue independiente del curso que ellos estaban tomando y ocurrió posteriormente al desarrollo de los temas de Hidrostática. Su participación fue voluntaria y producto de una convocatoria realizada a todo el grupo de estudiantes de esa asignatura. El desempeño académico de los participantes es intermedio y representativo de un alto porcentaje de todos los estudiantes del curso.

La tarea consistió en la resolución de tres problemas de hidrostática (ver figura 1). La consigna que se dio a los estudiantes fue que intentaran resolver los problemas, expresando y discutiendo entre ellos las ideas que iban surgiendo durante la resolución. El objetivo final era que pudieran consensuar una solución o respuesta. Las intervenciones del entrevistador se realizaron siempre en términos de

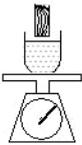
preguntas, que apuntaban a pedir aclaraciones o a que percibieran alguna contradicción en sus razonamientos. Esta técnica de entrevistar a grupos (de dos o tres personas) tiene dos ventajas respecto de las entrevistas individuales. Una de ellas es que disminuye el nivel de «artificialidad» del ambiente de la entrevista individual, en la que a menudo los estudiantes se guían por el principio de autoridad y por las supuestas expectativas del entrevistador más que por sus propias ideas. Los estudiantes no reconocen el principio de la autoridad en sus pares y son más críticos con los razonamientos y respuestas de sus compañeros. La otra ventaja es que entre ellos se plantean discusiones que provocan mejores y más extensas verbalizaciones.

El estudio es exploratorio y basado en el análisis de un caso, por lo que las conclusiones se referirán a este caso y a los modos de razonamiento de estos estudiantes ante estos problemas. El diseño que se propone es microgenético (Schoenfeld, Smith y Arcavi, 1993) ya que es el más idóneo para estudiar el desarrollo cognitivo, arrojando luz sobre los detalles de procesos y factores que los favorecen u obstaculizan.

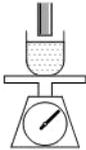
Problema 1:
Cada una de las situaciones siguientes muestra una disposición diferente de un vaso de agua, de un bloque de madera, de uno de metal y una balanza. Cómo cree que son las lecturas en la balanza de cada uno de los casos. Explique.



Problema 2:
A) Un bloque de madera (que flota en el agua) se sumerge 10 cm en un recipiente con agua, sin tocar el recipiente. La balanza, ¿marcará más, menos o lo mismo que antes de sumergirlo?
1) más
2) menos
3) igual
4) no sé
5) no hay suficiente información



B) Un bloque de metal (que no flota en el agua) se sumerge 10 cm en un recipiente con agua y sin tocar el recipiente. La lectura de la balanza, ¿será mayor, menor o igual que antes de sumergirlo?
1) mayor
2) menor
3) igual
4) no sé
5) no hay suficiente información



Problema 3:
A) Una pelota de goma flota en agua, de modo que $3/4$ de su volumen se halla sumergido en el líquido. ¿Qué relación hay entre la densidad de la pelota y la densidad del agua?



B) La misma pelota se sumerge ahora en un aceite cuya densidad es la mitad de la del agua. ¿Qué ocurre con el objeto?
1) Flota con $V/3$ por encima del aceite.
2) Flota con $V/4$ por encima del aceite.
3) Flota pero con todo su volumen V sumergido.
4) Se hunde hasta el fondo del aceite.
5) Ninguna de las anteriores
6) No hay suficiente información.

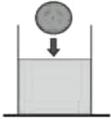


Fig. 1. La tarea realizada por los estudiantes.

RESULTADOS

Los resultados se organizan en torno a los mecanismos de desarrollo propuestos por la teoría de clases de coordinación. Estos son: proyecciones, alineamientos, articulaciones, desplazamientos e incorporaciones. Se intentará mostrar los progresos conceptuales realizados por estos estudiantes en términos de tales mecanismos. Excepto en el resultado mostrado en primer lugar (en los que no hay tal progreso), en todos los demás estos progresos ocurren luego de ciertas respuestas o resultados problemáticos para ellos.

Un candidato a ser desplazado: «*Si no hay agua debajo del cubo, el empuje es cero*»

Estos estudiantes comienzan comparando los registros de las balanzas para los casos A y C del problema 1. En este primer extracto de la entrevista, hay una característica muy particular en los razonamientos de los estudiantes: cuando un cuerpo está hundido en un recipiente con líquido y tocando el fondo del recipiente no hay empuje, y la fuerza de contacto normal de la superficie (fondo del recipiente) es exactamente la misma que si no hubiera líquido. Según ellos, tanto en A como en C la balanza registra las normales que las superficies de contacto ejercen sobre el cubito de metal que en ambos casos suponen iguales a su peso. Cuando dicen que la situación A es equivalente a C, lo hacen asumiendo que el empuje es cero en el caso C.

Ana y María: (dirigiéndose al entrevistador) decimos que el A mide lo mismo que el C porque no hay empuje.

Ana: decimos que acá en «C» el empuje no actúa, que lo que mide la balanza es el peso de las tres cosas porque el cuerpo está apoyado sobre el piso... o sea para que tenga efecto el empuje tiene que estar flotando.

Juan: (mirando sus apuntes de clase) acá dice que *todo* cuerpo sumergido total o parcialmente recibe empuje...

María: nunca vimos el caso del cuerpo tocando el fondo.

Juan: nunca lo vimos apoyado.

María: si está apoyado en el fondo, la única fuerza hacia arriba es la normal que le hace el fondo, entonces no tenés ningún empuje para arriba.

María: porque no hay líquido abajo que... (hace un gesto con las manos hacia arriba).

Ellos consideran que el empuje es cero en esta situación de cuerpos sumergidos y hundidos. Aun así, están satisfechos con la resolución que llevan adelante y creen que están determinando correctamente el valor que registra la balanza. Desde la perspectiva teórica adoptada, esta es una proyección no alineada. Si bien el resultado al que arriban es correcto (la balanza sí registra lo mismo en cualquiera de las cuatro situaciones), lo es por razones equivocadas. Estos estudiantes perciben una característica de la situación que les lleva a concluir que el empuje es cero en este caso: no hay líquido *debajo* del cubo de metal. Ellos perciben que la superficie del cubo y la del recipiente están en contacto sin agua entre ellos. La estrategia de lectura que utilizan es: como no hay agua debajo del cubo, la única interacción es con la superficie del recipiente y el empuje es igual a cero. Esta estrategia de lectura es una candidata a ser desplazada para que la proyección de empuje, en este caso, pueda alinearse.

Una nueva proyección realizada a partir de un ejemplo de clase

Con el mismo razonamiento anterior, ellos concluyen que $B = D$. Para terminar la comparación, contrastan A con B. Al principio todos compartían la idea de que la balanza en B debería registrar una lectura menor que en A; pero a partir de un ejemplo ya trabajado en clase, ellos fueron modificando esa idea inicial y pudieron decidir que la balanza tendría que marcar lo mismo en ambos casos. El ejemplo ya trabajado en clase jugó un papel decisivo en ese proceso.

- Ana:* en un ejemplo de clase habíamos visto que si teníamos un cuerpo parcialmente sumergido en agua en un recipiente sobre una balanza, lo que registraba de más la balanza cuando se sumergía el cuerpo era el empuje.
- Ent.:* ¿se acuerdan de por qué?
- Juan:* es como acción y reacción. El agua hace una fuerza hacia arriba sobre el cuerpo y este una hacia abajo.
- Ana:* el cuerpo le hace una fuerza al agua, el agua a la balanza y así... o sea, medía el peso de ese recipiente con agua más ese empuje.
- María:* pero no tenemos una tensión acá (situación B).
- Ana:* sí, es cierto, en el ejemplo teníamos una tensión.
- Juan:* en el ejemplo teníamos tensión más empuje igual a peso ($T+E=P$), entonces si no hay tensión...
- Juan:* el empuje es igual al peso, entonces es igual al caso A.
- María:* si partimos de esto (el análisis del ejemplo de clase), llegamos a que los dos casos (A y B) miden lo mismo.
- Ana:* y claramente no lo es.
- Ent.:* ¿por qué rechazan ese resultado?
- Juan:* yo no lo rechazaría, si ¿qué estás cambiando? En el caso de clase ¿por qué mide menos? Porque tenés la tensión hacia arriba, en este caso es lo mismo.

Ellos usan un ejemplo previo trabajado en clase (un objeto flotando en agua sostenido de un hilo sobre una balanza), lo analizan, le introducen las modificaciones necesarias (quitan el hilo), se convencen de que esta nueva situación es verosímil («En el caso de clase ¿por qué mide menos? Porque tenés la tensión hacia arriba, pero en este caso es lo mismo») y resuelven la comparación de A con B. La forma en la que usaron este ejemplo previo fue un «ingrediente» fundamental para el progreso que Ana, María y Juan hacen respecto de su primera respuesta (que la balanza marcaría menos en B que en A). En este sentido, el ejemplo previo sirvió como un *proxy* para construir una nueva proyección de la clase de empuje para el caso B, un caso en el que el empuje es igual al peso. Este resultado, aunque simple, pone en evidencia que el proceso de proyectar una clase involucra «reclutar» piezas de conocimiento ya existentes y coordinarlas a fin de obtener la información distintiva. En este sentido, «aplicar» un concepto no parece ser recuperar esquemas abstractos para resolver situaciones concretas, sino lo contrario: recuperar piezas de conocimiento concreto utilizadas en situaciones previas en otros contextos, y coordinarlas para obtener la información distintiva de la clase.

Dos articulaciones en distintos contextos

Durante la resolución del problema 2, se puede observar cómo estos estudiantes utilizan distintos contextos para desarrollar su clase de empuje. Y lo hacen comparando entre contextos próximos y entre contextos lejanos. En primer lugar, comparan los resultados que obtienen para el empuje sobre la barra de metal y la barra de madera (contextos próximos), y dilucidan por qué el empuje es el mismo en las

dos situaciones. Los estudiantes entienden que aunque el peso de las barras y las fuerzas exteriores son diferentes para ambos casos, el empuje que marcará la balanza es exactamente el mismo. Ese proceso es identificado como una articulación, porque no solo son capaces de obtener la información distintiva (alineada) en cada uno de los contextos, sino que entienden por qué esa información es la misma en ambos casos aunque las proyecciones sean distintas. Luego, hacia el final de esta resolución, hacen una comparación entre contextos lejanos (el problema actual y uno resuelto en el laboratorio) a partir de la cual surge una aparente inconsistencia entre dos «moralejas contradictorias». Se interpreta este fenómeno también como una articulación.

Ana: lo que mide la balanza es el peso de la barra (de madera) más la fuerza que le hago hacia abajo, que sumadas son iguales al empuje... entonces lo que mide la balanza es el peso del agua más el peso del recipiente más el empuje.

Cuando ven el caso de la barra de metal, rápidamente lo asocian al anterior, marcando la diferencia en el sentido de la fuerza de la mano tal que el empuje es la diferencia entre el peso y esa fuerza, pero identificando que el valor que mide la balanza es el empuje, que es el mismo del caso anterior.

Ana: es la misma situación de antes.

María: sí, nada más que ahora la fuerza (de la mano) es al revés.

Ana: ahora en vez de tener que el empuje es igual al peso más la fuerza que vos le estás haciendo, ahora vos tenés el empuje, la tensión y el peso, y el empuje más la tensión es igual al peso, ahora lo que marca de más la balanza es el empuje, que es el peso menos la tensión... ¡qué bueno!, nunca había entendido esto...

Juan: y eso siempre es igual al peso del volumen de agua desplazado... entonces en los dos casos marca lo mismo.

La expresión de Ana «... ¡qué bueno!, nunca había entendido esto» pone en evidencia un proceso metaconceptual porque estos estudiantes no solo determinan exitosamente la información distintiva de la clase de empuje en distintas circunstancias (barra de metal y barra de madera), sino que además pueden explícita y articuladamente ver la relación entre ambas proyecciones. Este mecanismo metaconceptual es interpretado como una forma más fuerte de alineamiento que se denomina alineamiento articulado.

Luego, María advierte una inconsistencia con un ejemplo que recuerda de una clase anterior. Recupera un ejemplo en el que la medida de empuje era utilizada en un experimento para determinar densidad (Método de Arquímedes). Aquel recuerdo es aparentemente conflictivo con el actual: según aquel experimento, medir empujes permite diferenciar densidades, mientras que en el presente, la densidad no afecta la medida del empuje.

María: vos estás diciendo que lo que marca la balanza es lo mismo... o sea si metés un lápiz de metal o uno de madera la balanza te va a marcar lo mismo, pero vos a esto lo usabas para determinar la densidad de un cuerpo.

Juan: pero la tensión que tenés que hacer arriba es distinta.

María: ¡pero del empuje estamos hablando!... me confundo con lo que hice en el laboratorio, que usábamos eso para ver la densidad del cuerpo sumergido... entonces es como que si cualquier cosa que yo sumerja me va a dar lo mismo ¿cómo voy a encontrar diferencias en las densidades?

Juan: me quedé pensando en el laboratorio de Arquímedes, que usamos el empuje para determinar densidades... entonces si tengo dos cuerpos de distinta densidad, colgados de un hilo, ¡me va a dar el mismo empuje!

María: ¡claro! ¡Eso es lo que me confunde a mí!

Juan: sí, pero se me mezclan las ideas.

María necesita entender que los empujes que «ve» en dos situaciones distintas (el caso del experimento para determinar densidades y el caso del problema que están resolviendo ahora) son coherentes entre sí y corresponden al *mismo* concepto, es decir, necesita articular esos alineamientos. En un caso, el empuje parece ser una cantidad que da cuenta de la densidad del cuerpo sumergido, mientras que en el otro, aparece como una cantidad que es independiente de la densidad («me confundo con lo que hice en el laboratorio... si cualquier cosa que yo sumerja me va a dar lo mismo [el mismo empuje] ¿cómo voy a encontrar diferencias en las densidades?»). En las alocuciones siguientes veremos cómo Juan llama la atención sobre un detalle que había pasado inadvertido, lo cual les permite resolver esa inconsistencia y concluir exitosamente esa articulación:

María: pero vos nunca medís la tensión en la experiencia, solamente te fijás en lo que marca la balanza.

Ana: pero la balanza tiene que ver con la tensión.

María: no, estás diciendo que la balanza solo te marca el peso del volumen desalojado.

Ana: pero la balanza te marca el empuje y el empuje depende de la tensión.

María: sí, pero en el laboratorio vos ves un número: lo que marca la balanza, el empuje, y con eso calculás la densidad.

Ana: Sí... te entiendo.

Juan: Pero ¿cómo lo calculás? Después, pesando el cuerpo...

María: Sí.

Juan: Y ahí está la respuesta, porque los pesos son distintos aunque es el mismo empuje.

María: ¡Claro, entonces estaba bien, pueden tener distintas densidades por su peso!

Ana: ¡Qué bueno! ¿No? Me emociona cuando nos salen los problemas.

De la experiencia de laboratorio recuperan una «moraleja» o «corolario»: medir el empuje que recibe un cuerpo permite determinar su densidad. Ahora, en este problema de las barras, la moraleja es otra: el empuje que recibe un cuerpo es independiente de su densidad. Lo que María está intentando hacer es articular alineamientos porque la información distintiva que obtuvo mediante las dos proyecciones correspondientes parece llevarla a resultados contradictorios. Concretamente, en un caso el empuje es independiente de la densidad, y en el otro, el empuje sirve para diferenciar densidades. Juan aporta un elemento que permite conciliar esas dos «moralejas» y explicitar de manera articulada la relación entre las dos proyecciones en cuestión («ahí está la respuesta, porque los pesos son distintos aunque es el mismo empuje»). Este proceso de articulación les permite entender, al mismo tiempo, que el empuje que reciben las barras es independiente de su densidad y que en la situación de laboratorio evocada, la medición del empuje permitía encontrar un valor para la densidad del cuerpo.

Un desplazamiento y una incorporación

En este apartado se pondrá en evidencia cómo estos estudiantes logran, luego de llegar a varias inconsistencias, desplazar que $E=P$ cuando la pelota está al fondo del recipiente con aceite (problema 3), y al mismo tiempo incorporar que $N \neq 0$ en esa misma situación. Para mostrar la complejidad de este proceso, el análisis se realizará en dos partes en las que por un lado se identificarán las inconsistencias que los estudiantes detectan en sus razonamientos, y por otro se mostrará cómo esas inconsistencias resultan factores decisivos para una nueva comprensión.

a) *Ana, María y Juan descubren inconsistencias en sus razonamientos*

Ante la consigna B del problema 3, dicen que la pelota se hundirá completamente y terminará en el fondo del recipiente. Para corroborar ese resultado, escriben las fuerzas sobre la pelota, igualando el peso con el empuje. Esto los lleva a un resultado absurdo: la pelota desplaza un volumen de agua mayor a su propio volumen.

María, Ana y Juan: El cuerpo es más denso (que el aceite) o sea que el cuerpo se hundiría...

María: ¿Qué queremos escribir?

Ana: El peso igual al empuje.

(A partir de la igualdad $P = E$ despejan el volumen desalojado.)

María: Es como que está sumergido más que el volumen de la pelota.

Ana: ¡Es verdad! (risas).

Ent.: ¿Qué les queda?

Ana: ¡Que la pelota está sumergida $3/2$ del volumen de la pelota!

María: Algo está mal.

Entonces Ana retoma el problema 1 que resolvieron al principio de la entrevista y recuerda, contrariamente a lo que en realidad hicieron, que allí decían que el empuje era igual al peso. Esto la lleva a otro resultado problemático: si $E = P$ y el volumen del líquido desplazado es igual al volumen del cuerpo, las densidades del cuerpo y del líquido deberían ser iguales.

Ana: O sea, lo que decíamos antes era que si vos tenías acá el cubo pegado (dibuja la situación C del problema 1), tu empuje, suponiendo que existía, era igual al peso, entonces en ese caso tendríamos $E = P$, pero el empuje sería con todo el volumen desplazado, entonces tendrías que las densidades son iguales.

Juan: Es que llegó al fondo y no puede bajar más, no tiene para donde ir.

María: Y por eso nos da un volumen más grande... es como si yo en un vaso tiro una tuerca... se va a ir al fondo.

Ana: Sí, ya sé que se va al fondo... es que ahora me da dudas de lo que hicimos al principio (problema 1). ¿Cómo puede ser entonces que ahí la densidad del cuerpo fuera igual a la del líquido?

María: ¡No hablábamos de densidades ahí!

Ana toma la hoja en la que habían resuelto el problema 1 y se fija en que habían planteado que, para el cubo de metal sumergido en el recipiente, habían dicho que $P=N$ y $E=0$. Este resultado la lleva a otro resultado sorprendente y contradictorio para ella: como el empuje es cero, entonces la densidad del líquido no tiene incidencia en el problema de la pelota en aceite.

Ana: No, ya sé, pero en este (vuelve a la hoja del problema 1) decíamos que supuestamente no había empuje porque en realidad la fuerza que había era la normal.

Juan: Es que si está en contacto ahí no hay empuje.

Ana: Bueno, entonces si esta pelota se va al fondo es como que no habría empuje, habría normal. Y la normal sería igual al peso, entonces el empuje desaparecería y ¡no te importa la densidad del líquido!

Hasta este momento se pueden observar tres resultados sorprendentes y contradictorios para ellos. En primer lugar, que si el peso es igual al empuje, el volumen de cuerpo sumergido debería ser mayor que el volumen de la pelota («¡que la pelota está sumergida $3/2$ del volumen de la pelota!»). En segun-

do lugar, que si el peso y el empuje tienen la misma magnitud, y el volumen sumergido es igual al de la pelota, las densidades del líquido y de la pelota tendrían que ser iguales («en ese caso tendríamos $E = P$, pero el empuje sería con todo el volumen desplazado, ¡entonces tendrías que las densidades son iguales!»). Por último: cuando hay contacto con la superficie inferior, y si la normal tiene una magnitud igual al peso, ¿cómo interviene la densidad en este problema? («entonces el empuje desaparecería y ¡no te importa la densidad del líquido!»).

b) *Entendiendo lo que no entienden*

Las inconsistencias hasta ahora detectadas por Ana, María y Juan son consideradas conjunta y explícitamente estableciendo un escenario en el que se cristaliza una nueva comprensión de la situación. Esta nueva comprensión se describe en términos de un desplazamiento y una incorporación a la clase empuje.

Juan: No, es que a vos te confunde el hecho de que sea una pelota y vos te la imaginás como que flota... pero imaginate una bola de metal... se va al fondo... y si vos ponés una balanza abajo mide el peso.

Ana: No, sí, yo entiendo eso, pero yo también entiendo otra cosa que no coincide con lo que entiendo: yo entiendo que se va a ir al fondo y el empuje va a ser igual al peso.

Juan: Bueno, pero ya no estoy tan seguro de que haya empuje.

Ana: Eso es lo que vos decís... ¿o ya no decimos eso?

Juan: (Duda) siempre y cuando haya empuje... bueno... sí, supongamos.

Ana: Entonces si tenemos que el empuje es igual al peso, el volumen desplazado es igual al volumen total... o sea ¡las densidades serían iguales! Eso es como que entiendo esto (que $N = P$ en el P1) y entiendo esto (que $E = P$ en el P3) pero es como que no coinciden.

Juan: Es que... ¡el empuje no es igual al peso!

María: Claro, no es igual al peso, el peso es más grande que el empuje, acá el peso es más grande que el empuje.

Juan: Claro, esto que planteamos acá ($P = E$) está mal.

Ana: O sea que acá el peso es más grande que el empuje... o sea que tenés una normal para arriba... tendríamos un peso igual a un empuje más una cierta normal que te está ayudando ($P = E + N$).

María y Juan: Claro.

Ent.: Y si ahora cambio esa pelota por otra más densa, ¿qué pasa?

María y Ana: La normal es más grande y el empuje es el mismo.

Ana: O sea este resultado ilógico (que el v sumergido es mayor al v del cuerpo) es porque hay una cierta normal porque llega hasta el fondo.

Juan: O sea que esto ($E = P$) está errado.

Ana: (aplaude).

Juan: ¡Qué afilados que estamos!

Ana comienza planteando el panorama completo de inconsistencias cuando dice: «Eso es como que entiendo esto (que $N = P$ en el P1) y entiendo esto (que $E = P$ en el P3) pero es como que no coinciden». Más que entender que $N = P$, en realidad entiende el resultado problemático que esa igualdad le arroja, al igual que cuando dice entender que $E = P$. Pero ella va más allá, y advierte que además esos resultados problemáticos son también inconsistentes entre sí. Un resultado le indica que las densidades del cuerpo hundido y el líquido deben ser iguales, y el otro, que la densidad del líquido no interesa para predecir si los cuerpos se hunden. De alguna manera, Ana está cuestionando cada una de las igualdades (porque son distintas cuando las situaciones son comparables) y también su coexistencia

para entender la situación de la pelota sumergida en aceite. Este claro panorama de las inconsistencias es el punto de partida del desplazamiento de $E = P$ y de la incorporación de $N \neq 0$. Una sucesión de evidencias dan cuenta de que este proceso fue realizado entre los tres: «Juan: Es que... ¡el empuje no es igual al peso!». «María: Claro, no es igual al peso, el peso es más grande que el empuje, acá el peso es más grande que el empuje». «Ana: o sea que acá el peso es más grande que el empuje... o sea que tenés una normal para arriba... tendríamos un peso igual a un empuje más una cierta normal que te está ayudando ($P = E + N$)».

CONCLUSIONES

Durante la resolución de estos tres problemas, se han podido observar varios progresos que pueden entenderse como instancias de aprendizaje del concepto de empuje: *a*) una proyección realizada a partir de un problema resuelto en clase que les permite decidir que en los casos A y B del problema 1 las lecturas de la balanza son iguales; *b*) dos articulaciones durante la resolución del problema 2 que permiten consolidar que el empuje experimentado por cuerpos de distinta densidad y sumergidos igual volumen en un mismo líquido es independiente de la densidad del cuerpo, y *c*) un desplazamiento de un elemento ($P = E$) y una incorporación ($N \neq 0$), en el problema 3, que les permite proyectar exitosamente empuje para este caso. También se han explicitado cuáles han sido los factores que hicieron posibles tales procesos, distintos entre sí, pero que siempre involucraron conocimiento previo bajo la forma de experiencias previas de resolución, como si «partes» de esas previas proyecciones fueran reutilizadas para coordinar empuje en nuevos contextos. En el caso *a*) se recurrió a un problema resuelto en clase; en el caso *b*), al problema resuelto en el laboratorio, y en el caso *c*), al problema 1 abordado al comienzo de la entrevista. Se ha puesto así en evidencia cuál es el conocimiento previo que estos estudiantes involucraron en la resolución de estos problemas y cómo esa actividad dio lugar a nuevos aprendizajes. En este sentido, se ha logrado «capturar» minuciosamente cómo y cuándo el conocimiento previo es reutilizado por estos estudiantes para aprender algo nuevo. Se ha podido observar que la recuperación del conocimiento previo no consiste en recuperación de estructuras abstractas del concepto involucrado, sino en proyecciones (o partes de ellas) realizadas anteriormente en otros contextos. En todo caso, lo más abstracto de los procesos observados consiste en los intentos de estos estudiantes de querer «ver» lo mismo en distintos contextos. Pero ese proceso no se hace abstrayendo características comunes a muchas situaciones, sino reclutando estrategias específicas asociadas a distintos contextos y coordinándolas para obtener a partir de todas ellas la misma información distintiva.

También se ha observado la presencia de un elemento (una estrategia de lectura) que necesitará ser desplazada para poder proyectar empuje en el problema 1. En este sentido, este es un obstáculo observado en esta primera entrevista, cuyo desplazamiento se observa recién en una segunda entrevista realizada a estos mismos estudiantes y que será objeto de análisis en un trabajo posterior. Como se mostrará en ese futuro trabajo, el desplazamiento aquí reportado en el problema 3 ($P = E$) no es lo mismo para ellos que desplazar, para la situación del cubo hundido y sumergido, que $P = N$ en el problema 1. Desplazar $P = N$ en el problema 1 les lleva, como se reportará en el futuro trabajo, mucho más tiempo y esfuerzo. Este fenómeno es uno previsto por la teoría: una proyección exitosa en un contexto no necesariamente implica otra proyección exitosa en otro contexto.

Como ya se ha expresado anteriormente, los resultados obtenidos se circunscriben al caso estudiado, y no pretenden generalización. Sin embargo, estos resultados arrojan luz en relación con detalles que están ausentes en gran parte de la literatura relativa a la conceptualización de empuje (Barral, 1990; Fernández, 1987; Heron, Loverude, Shaffer y McDermott, 2003; Loverude, Kautz y Heron, 2003; Mazitelli y Maturano, 2006; She, 2002; 2005; Wong, Lim, Munirah y Foong, 2010). Esos estudios enfocan la atención en las incomprendiones o concepciones previas de los estudiantes en relación con

este concepto y, en algunos casos, los resultados refieren al porcentaje de respuestas correctas después de sesiones de enseñanza específicamente diseñadas para superar esas incomprendiones. Sin embargo, no reportan cómo los sujetos involucrados en esos estudios modifican esas concepciones alternativas. Este estudio aporta otra información, más minuciosa y más local, acerca de cuáles son y cómo ocurren ciertos aprendizajes a partir de las conceptualizaciones previas de estos estudiantes: estos son los desplazamientos, las proyecciones, los alineamientos y las articulaciones reportados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRAL, F.M. (1990). ¿Cómo flotan los cuerpos que flotan? Concepciones de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (3), pp. 244-250.
- BECERRA LABRA, C.; GRAS-MARTÍ A. y MARTÍNEZ-TORREGOSA, J. (2004). Análisis de la resolución de problemas de física en secundaria y primer curso universitario en Chile. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), pp. 275-286.
- BUTELER, L y COLEONI, E. (2009). Is There Something Useful In Students' Mistakes?: A Cognitive Resources-Based Approach. *Electronic Journal of Science Education*, 13 (2), pp. 117-135.
- CHI, M. (2005). Commonsense Conceptions of Emergent Processes: Why Some Misconceptions Are Robust. *Journal of the Learning Sciences*, 14, pp. 161-199.
http://dx.doi.org/10.1207/s15327809jls1402_1
- DISESSA, A.; GILLESPIE, N. y ESTERLY, J. (2004). Coherence vs fragmentation in the development of the concept of force. *Cognitive Science*, 28, pp. 843-900.
<http://dx.doi.org/10.1080/0950069980201002>
- DISESSA, A. y SHERIN, B. (1998). What changes in conceptual change? *International Journal of Science Education*, 20 (10), pp. 1155-1191.
- DISESSA, A. y WAGNER, J. (2005). What Coordination Has to Say About Transfer. En J. Mestre (eds.). *Transfer of Learning: From a modern multidisciplinary perspective*. Greenwich: Information Age Publishing, pp. 121-154.
http://dx.doi.org/10.1207/s15516709cog2806_1
- FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, J.M. (1987). Estudio del grado de persistencia de ciertos preconceptos sobre estática de fluidos en alumnos del BUP. *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (1), pp. 27-32.
- FOSTER T. (2000). The development of student problem-solving skills from instruction emphasizing qualitative problem solving. Tesis doctoral, Minnesota University. Disponible en línea: <<http://groups.physics.umn.edu/phised/>>.
- 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), pp. 447-455.
<http://dx.doi.org/10.1080/0140528830050408>
- 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, pp. 17-28.
- GUPTA, A.; HAMMER, D. y REDISH, E. (2010). The Case for Dynamic Models of Learners Ontologies in Physics. *The Journal of The Learning Sciences*, 19 (3), pp. 285-321.
<http://dx.doi.org/10.1080/10508406.2010.491751>
- HELLER, K. y HELLER, P. (1995). *The competent problem solver*. Calculus version. Minneapolis, MN: Author.

- HERON, P.; LOVERUDE, P.; SHAFFER, P. y MCDERMOTT, L. (2003). Helping students develop an understanding of Archimedes' principle. II. Development of research-based instructional materials. *American Journal of Physics*, 71, 1188.
<http://dx.doi.org/10.1119/1.1607337>
- HUFFMAN, D. (1994). The effect of explicit problem solving instruction on students conceptual understanding of Newton's Law. Tesis doctoral. Minnesota University. Disponible en línea: <<http://groups.physics.umn.edu/physed/>>.
- IONNADES, C. y VOSNIADOU, S. (2002). The changing meanings of force. *Cognitive Science Quarterly*, 2, pp. 5-61.
- 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), pp. 387-400.
- LEVRINI, O. y DISESA, A. (2008). How students learn from multiple contexts and definitions: Proper time as a coordination class. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 4, 010107, pp. 1-18.
- LOVERUDE, M.; KAUTZ, C. y HERON, P. (2003). Helping students develop an understanding of Archimedes' principle. I. Research on student understanding. *American Journal of Physics*, 71, 1178, doi: 10.1119/1.1607335.
<http://dx.doi.org/10.1119/1.1607335>
- MALONEY, D. (1994). Research on problem solving: physics. En D. Gabel (ed.). *Handbook on Research of Science Teaching and Learning*. New York: Mc Millan Publishing Company, pp. 327-354.
- MAZZITELLI, C. y MATURANO, C. (2006). Identificación de dificultades conceptuales y procedimentales de alumnos y docentes de EGB sobre flotación de los cuerpos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3 (1), pp. 33-50.
- MC CLOSKEY, M. (1983). Naive theories of motion. En D. Gentner y A. Stevens (eds.). *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, pp. 299-324.
- 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), pp. 303-317.
<http://dx.doi.org/10.1002/tea.3660300306>
- PARNAFES, O. (2007). What Does «Fast» Mean? Understanding the Physical World Through Computational Representations. *The Journal of the Learning Sciences*, 16 (3), pp. 415-450.
<http://dx.doi.org/10.1080/10508400701413443>
- POSNER, G.; STRIKE, K.; HEWSON, P. y GERTZOG, W. (1982). Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, pp. 211-227.
<http://dx.doi.org/10.1002/sce.3730660207>
- SCHOENFELD, A.; SMITH, J. y ARCAVI, A. (1993). Learning: The Microgenetic Analysis of One Student's Evolving Understanding of a Complex Subject Matter Domain. En Glaser (ed.). *Advances in Instructional Psychology*, vol. 4. NY: Erlbaum, pp. 55-175.
- SEARS, F. y ZEMANSKY, M. (1966). *Física General*. Madrid: Aguilar, S. A. de Ediciones.
- SERWAY, R. (1997). *Física, Tomo I*. Distrito Federal: McGraw-Hill Interamericana Editores.
- SHE, H. (2002). Concepts of a higher hierarchical level require more dual situated learning events for conceptual change: A study of air pressure and buoyancy. *International Journal of Science Education*, 24 (9), pp. 981-996.
<http://dx.doi.org/10.1080/09500690110098895>

- SHE, H. (2005). Enhancing eighth grade students' learning of buoyancy: The interaction of teachers' instructional approach and students learning preference styles. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 3, pp. 609-624.
<http://dx.doi.org/10.1007/s10763-004-6113-9>
- SHERIN, B. (2006). Common sense clarified: The role of intuitive knowledge in physics problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, 43 (6), pp. 535-555.
<http://dx.doi.org/10.1002/tea.20136>
- STRIKE, K. y POSNER, G. (1992). A revisionist theory of conceptual change. En R. Duschl y R. Hamilton (eds.). *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice*. Albany: State University of New York Press, pp. 147-176.
- TUMINARO, E. (2004). A Cognitive Framework for Analyzing and Describing Introductory Students' Use and Understanding of Mathematics in Physics, Ph.D. dissertation, University of Maryland.
<http://www.physics.umd.edu/perg/dissertations/Tuminaro/>
- VOSNIADOU, S. y BREWER, W. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24 (4), pp. 535-585.
[http://dx.doi.org/10.1016/0010-0285\(92\)90018-W](http://dx.doi.org/10.1016/0010-0285(92)90018-W)
- WAGNER, J. (2006). Transfer in Pieces. *Cognition and Instruction*, 24 (1), pp. 1-71.
http://dx.doi.org/10.1207/s1532690xci2401_1
- WONG, D.; LIM, C.; MUNIRAH, S. y FOONG, S. (2010). Student and Teacher Understanding of Buoyancy. Physics Education Research Conference.
<http://www.compadre.org/per/perc/2010/Detail.cfm?id=3543>

Learning buoyancy during problem solving: a Coordination-Class Theory approach

Laura María Buteler; Enrique Andrés Coleoni; María Andrea Perea

Facultad de Matemática, Astronomía y Física. Universidad Nacional de Córdoba. Instituto de Física Enrique Gaviola
Medina Allende y Haya de la Torre. Ciudad Universitaria. CP 5000. Córdoba, Argentina
lbuteler@famaf.unc.edu.ar; ecoleoni@famaf.unc.edu.ar; perea@famaf.unc.edu.ar

Problem solving is and has been a major concern for the Physics Education community of teachers and researchers for over quite a few years. To understand and address students' difficulties in the matter, several approaches have been adopted. Work conducted in the expert-novice line of research has allowed to comprehend many differences between the knowledge structure of students who are learning Physics (novices) and teachers/researchers who master the domain knowledge (experts). On this basis, teaching strategies have been proposed to promote expert-like knowledge in students, mostly by generating environments that help students mimick expert behavior. Results have been encouraging, in the sense that these strategies often produce the desired expert-like behavior in students, but nevertheless, these "before and after" approaches fall short in allowing to understand how and when conceptual ideas evolve in students' knowledge structure.

The present work describes certain details of the conceptual understanding that does and does not occur during a particular problem solving activity. The case studied focuses on three introductory physics students (university level) as they approach three problems on static fluids. The cognitive activity registered takes place around the concept of buoyant force. Coordination Class Theory (diSessa and Wagner, 2005) is used to carry out the analysis. Ultimately, we are able to understand how and when these students make a conceptual progress in their understanding after overcoming particular difficulties. A description is achieved of some aspects of the learning dynamics and its relation to the context-specific traits of the situations.