

El aprendizaje de empuje y sus variaciones contextuales: un análisis de caso desde la teoría de clases de coordinación

Laura Buteler y Enrique Coleoni

Instituto de Física Enrique Gaviola, CONICET – FaMAF, UNC – Argentina. Emails: lbuteler@famaf.unc.edu.ar; ecoleoni@famaf.unc.edu.ar.

Resumen: Un fenómeno relevado en numerosas oportunidades en el ámbito de la investigación en educación en física, es que la utilización de conceptos físicos durante la resolución de problemas está inexplicablemente relacionada a las diferencias contextuales de los problemas. En este trabajo se adopta la Teoría de Clases de Coordinación (diSessa y Wagner, 2005) para entender cómo dos contextos diferentes están involucrados en la coordinación del concepto de empuje de dos alumnos universitarios de física. Las nociones de proyección y de alineamiento, junto con la consideración de que definiciones diferentes pueden proveer diferentes familias de proyecciones han permitido abordar dos cuestiones en este estudio de caso: a) Por qué los estudiantes pueden resolver un problema y no otro siendo que ambos involucran el mismo concepto, y b) Por qué las explicaciones generadas por el entrevistador, aunque correctas y variadas, no les ayudan a superar su confusión.

Palabras clave: Clases de coordinación, empuje, aprendizaje, resolución de problemas

Title: The learning of buoyancy and its contextuality: a case study from a Coordination Class Theory perspective.

Abstract: There is plenty of evidence that indicates that the use of physical concepts during problem solving depends on context. There is not as yet an understanding of why this happens. Coordination Class Theory (diSessa y Wagner, 2005) is adopted here to illuminate how two different contexts are involved during the coordination of buoyancy by two university physics students while they solve two problems. The theoretical ideas involved in the description of the case study presented are those of alignment, concept projection and that each definition provides a family of projections. This allowed to address two issues: a) Why these students can solve one buoyancy problem and not another one; and b) Why the interviewer's explanations, both correct and diverse, did not help students overcome their misunderstanding.

Key words: Coordination classes, buoyancy, learning, solving problem.

Introducción

Este estudio es esencialmente un estudio de caso sobre cambio conceptual, donde el foco está puesto en un estadio del proceso de cambio. Si se asume que el proceso del cambio conceptual en física es el proceso

por medio del cual las ideas intuitivas de los estudiantes se reorganizan para dar lugar a conceptos físicos normativos, los estudios de tipo “antes” y “después” arrojan poca comprensión sobre cómo ocurre ese cambio. Para ello se utilizará la Teoría de Clases de Coordinación. Esta teoría no pretende modelar el desarrollo de todos los conceptos, sino que se acota a ciertos tipos de conceptos que se denominan clases de coordinación. No sólo especifica cuál es la organización del conocimiento en una clase de coordinación bien desarrollada, sino también varias dificultades que deben ser superadas para lograr tal “estatus” de desarrollo. En este sentido, esta teoría específica, al menos parcialmente, el proceso de desarrollo de una clase de coordinación.

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, hipotetizando paralelismos entre los cambios conceptuales producidos en las comunidades científicas y aquellos producidos en las mentes de los estudiantes en el contexto del aula (Posner et. al, 1982, McCloskey, 1983, Hewson y Hewson, 1984). 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, 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 (Vosniadou y Brewer, 1992, Ioannides y Vosniadou, 2002) proponen un modelo para entender el cambio conceptual suponiendo que los estudiantes poseen teorías marco (implícitas) y que el cambio conceptual consistiría en re-estructurar tales teorías implícitas. A diferencia de los estudios anteriores, estas teorías marco ya no son necesariamente coincidentes con las teorías prevalecientes en la historia de la física, 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. Por lo tanto, una predicción que se desprende de ésta 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 et. al (2004), mostrando cómo la replicación de ese estudio agregando variaciones contextuales a las situaciones y preguntas realizadas por Ioannides y Vosniadou (2002), cambia las categorías obtenidas de forma dramática, refutando así las predicciones realizadas.

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 sobre la base de esa asignación se atribuyen

diferentes propiedades a las entidades que pertenecen a ellas. Así, si la corriente eléctrica es entendida como perteneciente a la categoría "materia" y no como perteneciente a la categoría "proceso", el estudiante debería realizar un cambio o re-asignación de ese concepto de una categoría a otra, que 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 et. al (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.

Estos antecedentes 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 a las diferencias contextuales de las instancias particulares a partir de las cuales se aprenden y se utilizan los conceptos. Dicho en otros términos, ¿los conceptos normativos se aprenden vía un proceso de abstracción y generalización desde las situaciones particulares o vía incorporación de las diferencias contextuales para su uso en múltiples contextos? 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 investigación presupone la segunda de las dos posibilidades, e intentará explicar cómo dos contextos están involucrados de formas diferentes en el concepto de empuje utilizado por dos estudiantes universitarios de Física. Para ello se utilizará la Teoría de Clases de Coordinación que se ubica dentro de un enfoque múltiple y contextualizado de la cognición (o conocimiento en piezas), propuesta originalmente por diSessa y Sherin (1998) y revisada por diSessa y Wagner (2005). Como ya se ha mencionado, esta teoría se acota a los conceptos que se denominan clases de coordinación. 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. Una revisión más y extensa y detallada de estos trabajos se puede encontrar en diSessa y Wagner (2005).

Teoría de clases de coordinación

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 del mundo físico. 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 (time-like en su idioma original), y que nosotros llamamos tiempo propio. Desde el punto de vista de la teoría de clases de coordinación, se puede decir que hemos aprendido esos conceptos si podemos 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 estrategias que la teoría prevé para realizar tal “lectura” desde situaciones concretas. Es decir, ¿cuáles son los procesos por medio de los cuales somos capaces de leer esa información distintiva de la clase? ¿Son los mismos para situaciones diferentes que involucren un mismo concepto?

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 involucra utilizar un conjunto de variadas estrategias, capaces de actuar sobre un espectro de situaciones distintas y aptas para “leer”, desde cada una de ellas, la misma información distintiva de esa clase de coordinación. Y el proceso de aplicar alguna de esas variadas estrategias de una clase en una situación concreta se denomina proyectar el concepto. Se hace referencia al problema de la expansión cuando tales estrategias son insuficientes para cubrir un dado espectro de situaciones distintas, es decir, cuando hay imposibilidad de proyectar el concepto en ciertas situaciones. Se hace referencia al problema del alineamiento cuando desde ese espectro de situaciones distintas no se “lee” la misma información característica de la clase en cuestión.

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. No se asume que una proyección exitosa de una clase en una situación dada, implique la proyección exitosa en otros contextos. 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 relevan de manera directa la información distintiva de una clase de coordinación. Para ello nos referiremos a dos componentes clave de una clase de coordinación: la red causal y las estrategias para levantar información. La información distintiva o característica de una clase de coordinación no siempre está disponible directamente desde la situación presentada. Cuando esto ocurre, es necesario inferir esa información distintiva desde la información directamente disponible en la situación. El conjunto de tales inferencias se denomina red causal. Es esta red causal lo que permite obtener la información distintiva de la clase a partir de la información directamente percibida. Por ejemplo, los horarios de partida y de llegada escritos en un boleto de avión que conecta dos localidades de distintos países, no nos informa directamente sobre la duración del vuelo. Para conocer esta información es necesario realizar inferencias tomando como base la diferencia de husos horarios de esas dos localidades. 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 de esa clase se obtiene vía inferencias (red causal), las que forman parte del proceso de solución. Para obtener esta información característica o distintiva de una clase es necesario realizar inferencias, que pueden ser cualitativas o cuantitativas -vía ecuaciones-. Ese conjunto de inferencias constituyen la red causal. Esas redes causales son diferentes para distintas situaciones aunque su solución involucre la misma clase de coordinación. Lo que sí debería ser lo mismo es la información distintiva de esa clase que se extrae de cada una de esas situaciones distintas. Cuando eso ocurre se ha logrado el alineamiento.

Las estrategias para levantar información o estrategias de lectura son las que relevan la información directamente percibida a partir de la cual se puede obtener la información distintiva de la clase, vía la red causal. En el caso de los horarios de partida y llegada del boleto del vuelo, la información que proveen las estrategias de lectura son los tiempos precisos de partida y de llegada en ese boleto, y no otra información contenida en el boleto (como número de vuelo, o número de asiento o el nombre de la línea aérea). 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 diferentes para diferentes situaciones, aún cuando se trate de la misma clase de coordinación. En síntesis, la red causal y las estrategias para levantar información, son los procesos de una clase de coordinación que permiten relevar la misma información distintiva de esa clase haciendo distintas cosas ante distintas situaciones. Según esta teoría, aprender un concepto no es abstraer características comunes a muchas situaciones particulares, sino reclutar estrategias específicas asociadas a distintas situaciones particulares como partes constitutivas del concepto y coordinarlas para obtener a partir de todas ellas la misma información distintiva. Esa información distintiva es lo

común entre todas las instancias particulares, pero no se llega a ella por un proceso de abstracción.

Por último, esta teoría prevé dos mecanismos para la construcción de una clase de coordinación. Estos son 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. Cuáles elementos de ese conocimiento se incorporan y cuáles no es uno de los factores que determina que una clase sea 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 ciertos elementos del conocimiento previo de ciertos contextos, pero no de todos los contextos. Es bastante usual que los estudiantes utilicen ciertos razonamientos que ellos consideran que son adecuados en ciertos contextos, cuando en realidad no lo son. Consecuentemente, esos elementos de razonamiento, que provienen de su conocimiento previo y que son experimentadas por ellos como adecuadas, necesitan ser desplazadas *_empezar a no ser usadas_* en esos contextos. Cuáles 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 relación a una instancia particular de un concepto físico aún 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.

Los contextos ocupan un lugar fundamental para la teoría de clases de coordinación de varias maneras. Primero, ellos son el "lugar" en los cuales las personas comienzan a construir un concepto para que logre mayor expansión y mejor alineamiento. Además, los contextos son 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.

El estudio

Los participantes de esta investigación son dos estudiantes de segundo año de una licenciatura de física de una universidad pública de Argentina. Al momento de la entrevista, ellos terminaban de cursar y regularizar Física General II, donde se habían desarrollado contenidos de Mecánica de Fluidos


y de Termodinámica. Es una materia del ciclo básico, por lo que los temas de Mecánica de Fluidos se enseñan al nivel de los presentados en textos como los de Serway (1997) y Sears (1966). El concepto de empuje fue trabajado por el docente de este curso a partir del análisis de las presiones sobre un cubo imaginario en el seno de un fluido homogéneo llegando a obtener que, en el estado de equilibrio, el empuje tiene una magnitud igual al peso del fluido desalojado.

La participación de estos estudiantes fue voluntaria y producto de una convocatoria a todo el grupo de alumnos de esa asignatura. El desempeño académico de estos estudiantes es intermedio, y son representativos de un alto porcentaje de todos los estudiantes de Física General II.

La tarea consistió en la resolución de dos problemas de hidrostática (ver figura 1). Los estudiantes fueron incentivados a discutir y analizar las respuestas que iban dando mientras resolvían los problemas. El entrevistador intervenía para mantener y orientar las discusiones cuando consideraba que era necesario y hacia el final de la entrevista, ante circunstancias que luego detallaremos, su rol pasó a ser el de docente. La entrevista se registró en formato audio-visual.

Un bloque de metal (que se hunde 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 se
- 5) no hay suficiente información



Un objeto flota en agua con $\frac{3}{4}$ de su volumen sumergido en agua. Se vierte aceite sobre el agua, cuya densidad es la mitad que la del agua. Prediga qué ocurrirá cuando se alcance el equilibrio.

- 1) El objeto se hundirá más en el agua.
- 2) El objeto permanecerá a la misma altura con respecto al nivel del agua.
- 3) El objeto subirá con respecto al nivel del agua.
- 4) No hay suficiente información.

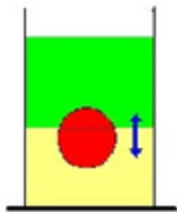


Figura 1.- Los dos problemas dados a los estudiantes (Extraído de Leonard et. al., 2001).

Contestar las preguntas planteadas por ambos problemas implica involucrar el concepto de empuje. En el caso del bloque de metal, éste recibe un empuje del agua al sumergirse, que es igual al peso del agua desalojada por el bloque, cuyo par se encuentra aplicado al agua. Como sobre el agua está aplicada esta nueva fuerza (igual y opuesta al empuje sobre el bloque), la balanza marca exactamente esa fuerza de más. En el

caso de la pelota sumergida en agua y aceite, se puede inferir que la pelota subirá respecto a la superficie del agua. Al agregar aceite, la presión en todos los puntos por debajo de la interfase aumenta en una cantidad igual a la presión del fluido en la interfase (P_i). Por encima de la interfase, la presión aumenta en cantidades que son menores o iguales a P_i , por lo tanto, como el empuje debe seguir siendo igual al peso de la pelota, ésta debe subir con respecto a la interfase.

Si bien la investigación no se lleva a cabo en un entorno natural de aprendizaje (aula real), los estudiantes se involucraron rápidamente en la tarea y en la discusión con su par, dejando muy en segundo plano la filmación y la posible impronta de autoridad generada por la presencia del entrevistador. Como se verá en las transcripciones que se muestran más adelante, la espontaneidad de la interacción entre ellos dos y entre ellos y el entrevistador, da cuenta de esta actitud. Se trata de un estudio de caso, con las consiguientes fortalezas y limitaciones que ello implica. Por un lado, las conclusiones que de él surjan están acotadas al caso mismo, y no son generalizables. Al mismo tiempo, este tipo de estudios es necesario para conocer detalles de los procesos de razonamiento que efectivamente ocurren durante el aprendizaje. Así pues, el valor de este tipo de estudios no reside en su potencial generalización, sino en el desarrollo de hipótesis que aportan a la comprensión de los mecanismos de aprendizaje en Física.

Como se mencionó en la introducción, el concepto de fuerza ha sido considerado una clase de coordinación (diSessa y Sherin, 1998), por lo que se asume que el concepto de empuje, en tanto fuerza, también lo es. La información distintiva de la clase de empuje es su localización, su dirección y sentido, y su magnitud. Una clase de empuje bien formada debería permitir obtener esa información desde una variedad de situaciones distintas. Como se mostrará, estos estudiantes han podido obtener esta información desde uno de los problemas y no desde el otro, observándose que las explicaciones del entrevistador no logran orientarlos.

En términos teóricos, las preguntas que se intenta responder son:

¿Por qué estos estudiantes han podido alinear la proyección de empuje en el problema del bloque de metal introducido en el agua y no la proyección de empuje para la pelota introducida en el agua y el aceite?

¿Por qué las explicaciones ofrecidas por el entrevistador no les ayudan a realizar tal alineamiento?

Resultados y análisis

Primera parte: A y J proyectan empuje sobre el problema de la barra sumergida en agua

A y J entienden este problema como uno de equilibrio, tanto para la barra de metal como para el agua del recipiente. Bajo esas condiciones identifican el empuje sobre la barra hacia arriba y su reacción sobre el agua hacia abajo, lo que les permite decidir que la balanza registrará esa fuerza hacia abajo sobre el agua. Como esa fuerza es la reacción del empuje sobre la barra, determinan que tiene la misma intensidad que éste, al que le asignan una magnitud igual al peso del volumen de agua desalojado por la barra.

A: la balanza... ¿qué va a sentir? El peso del agua lo va a sentir. Que el agua haga fuerza hacia arriba... ¿significa que la balanza va a sentir esa fuerza?

J: sí, claro... yo creo que sí... esperá... ¿no se derrama agua no?

E (entrevistador): no, no se derrama

A: Suponete que vos te parás en una balanza y mide tu peso. Ahora tenés un cilindro colgado de un hilo del techo y lo empujás para arriba... ¿la balanza siente esa fuerza con que vos lo empujás?

J: sí, la siente... no sé cuánto... pero siente más.... O sea esa fuerza que siente es la misma que le ayuda al hilo a sostener el peso del cilindro

A: ... sí, por analogía... pero no lo veo claro en el agua... Ah!!... El agua hace esa fuerza para arriba... y la barra sobre el agua... pero el agua también está quieta... entonces tiene que aparecer una fuerza más que es la que mide la balanza... que es igual a la fuerza hacia arriba sobre la barra... o sea es el empuje

J: que es el peso del agua desalojada por la barra... eso es lo que mide de más la balanza

Comentario: Se puede interpretar que dos factores hicieron posible la resolución de este problema: la analogía de estar parados en la balanza y "empujar" un cilindro colgado del techo hacia arriba, y una definición de empuje, no verbalizada como tal pero que se trasluce de lo dicho, como una fuerza hacia arriba ejercida por el agua sobre la barra ("A:...Que el agua haga fuerza hacia arriba... ¿significa que la balanza va a sentir esa fuerza?"), que aparece por el desalojo de fluido, y cuya magnitud coincide con la del peso del volumen de líquido desalojado ("J: que es el peso del agua desalojada por la barra... eso es lo que mide de más la balanza"). La analogía sirvió básicamente para que ellos pudieran identificar qué fuerza, de todas las presentes en ese sistema, acusaba la balanza: les permitió establecer una relación estructural y funcional entre el sistema del problema dado y otro imaginado (o quizás experimentado) por ellos, consistente en una balanza, una persona arriba de ella, y una barra sostenida por un hilo fijo al techo y por la persona sobre la balanza. Esta analogía les permitió identificar a la persona con el agua del recipiente y así entender que la fuerza que hace el hombre parado en la balanza sobre la barra, cuyo valor es detectado por la balanza, es la misma que la fuerza que el agua hace sobre la barra. La definición se utilizó para determinar que esa fuerza que el agua hace sobre la barra es el empuje: una fuerza hacia arriba de magnitud igual al peso del fluido desalojado por la barra. Las definiciones son, en general, buenas proveedoras de procedimientos para obtener la información distintiva de una clase de coordinación. Levrini y diSessa (2008), resaltan este aspecto como una de sus conclusiones relevantes. Ellos se refieren a este resultado como un refinamiento natural de la teoría, expresando que las definiciones proveen un buen "proxy" para generar la variedad de proyecciones necesarias involucradas en una clase de coordinación bien formada. Así, cada definición está asociada a un conjunto o familia de proyecciones. En este caso, esta definición provee, para esta situación, procedimientos para generar una proyección de la clase de empuje en este

contexto. A y J, han logrado exitosamente determinar la localización, dirección, magnitud y sentido del empuje sobre la barra sumergida así como su par sobre el agua. Ellos alinearon esta proyección porque a partir de ella lograron relevar la información distintiva de la clase de coordinación de empuje en esta situación.

Segunda parte: A y J proyectando empuje en el problema del agua y del aceite

A y J entienden que sobre la pelota actúan cuatro fuerzas: el peso de la pelota, el empuje que le hace el agua y dos fuerzas ejercidas por el aceite que son un empuje hacia arriba porque hay aceite desplazado, y el peso de la columna de aceite hacia abajo porque está encima de la pelota. Y presuponen que el peso de la columna de aceite supera al empuje del aceite, por lo que predicen que la pelota se hunde un poco más en el agua. Vale notar que, en rigor, el empuje es uno solo: es la presión integrada sobre la superficie del cuerpo. Sin embargo es correcto decir que el módulo del empuje es igual a la suma de dos términos que ellos denominan "empuje del agua" y "empuje del aceite", que son respectivamente iguales a los módulos del peso del agua y del aceite desalojados. En este estudio seguiremos denominando a esos dos términos con los nombres que les asignan los estudiantes.

A: tengo el peso de la pelota, el empuje que le va a hacer el agua... ¿y el aceite como va a actuar? Porque el aceite puede hacer un peso con esta columna... y también le va a hacer empuje... porque yo estoy convencida que el aceite le hace una fuerza para abajo a la pelota, le tiene que hacer una fuerza igual al peso de la columna... y ahí no entiendo la relación que hace el peso de este aceite y el empuje

J: ¿no deberíamos considerar la presión que el fluido de arriba hace sobre la pelota?

A: sí, pero no tenemos información...

J: mirá... esta área, esta superficie de acá arriba, tiene que soportar una presión debido al líquido [aceite] que tiene arriba... no sabemos cuánto vale la presión, pero sabemos que le va a hacer una fuerza hacia abajo... o sea que se va a hundir un poco más... no sabemos cuánto... pero tampoco nos pregunta acá...

A: o sea... el empuje que le haga el aceite a la pelota nunca lo va a hacer subir... pero tampoco va hacer ir para abajo... porque el empuje siempre va para arriba

J: el empuje a lo sumo va a valer el peso del volumen de líquido desalojado

A: y si... empuje... va para arriba...

A: entonces el objeto se hundirá más en el agua, por el peso de la columna de aceite que la empuja hacia abajo... si... tiene una fuerza más hacia abajo...

E: ¿pero no habían dicho que el empuje era para arriba?

A: sí, pero eso no es el empuje... es el peso del aceite que está encima de mi pelota...

A continuación, A y J empiezan a sumar todas las fuerzas sobre la pelota y tienen problemas para incluir la fuerza que hace la columna de aceite porque no saben cómo escribirla

Comentario: La proyección que A y J hacen en este contexto, al igual que en el contexto del problema anterior, parece estar sustentada por una definición de empuje como una fuerza hacia arriba cuyo módulo es el peso del fluido desalojado (esta definición es la provista por el Principio de Arquímedes, y se puede obtener a partir de los enunciados de Pascal). Ellos reconocen el empuje del agua y del aceite sobre la pelota, a partir del líquido que desaloja. Sin embargo, a diferencia del problema anterior, el problema de la pelota en agua y aceite les incita a una lectura muy particular: la columna de aceite empuja hacia abajo sobre la pelota por el sólo hecho de estar sobre ella. Y esta lectura no está relacionada con el empuje sobre la pelota ("A: sí, pero eso no es el empuje... es el peso del aceite que está encima de mi pelota"). Esto les impide obtener la información distintiva de la clase empuje, lo cual resulta en un problema de alineamiento.

Comparando la primera y la segunda parte de los resultados, se observa cómo una misma clase –y vía una misma definición– da lugar a dos proyecciones: una alineada y la otra no. El elemento que pone en riesgo el alineamiento (en el contexto de la pelota en agua y aceite) es una lectura provocada por una particularidad del contexto: el aceite sobre la pelota. En términos teóricos, ante el nuevo contexto se activa una estrategia de lectura, la columna de aceite empuja hacia abajo, que los procedimientos que se derivan de la definición de empuje que están manejando no incluyen. Por ello es que estos estudiantes perciben a la columna de aceite como otro agente independiente del "empuje del aceite". Esto que ocurre es algo que la teoría prevé: la expansión de una clase se logra únicamente intentando proyecciones en nuevos contextos. En esos intentos de expandir una clase de coordinación, se pone en riesgo el alineamiento.

Tercera parte: ¿Por qué las explicaciones del entrevistador no funcionan?

Cuando A y J están intentando (sin éxito) obtener una expresión para la fuerza de la columna de aceite sobre la pelota, el entrevistador (E) interviene para preguntarles el origen esa fuerza. Cuando A y J dicen que la fuerza hacia abajo del aceite se debe a que éste toca por arriba a la pelota, E les pregunta si esa fuerza no la habían tenido en cuenta ya en el empuje. Ante esta pregunta A y J entran en un estado de confusión. A dice no saber qué es el empuje, de dónde viene, que cosas incluye y J no dice nada más. A partir de allí el entrevistador asume (sin advertirlo) el rol de docente, y ensaya varias explicaciones distintas, pero ninguna de ellas parece ayudar a que estos estudiantes puedan entender por qué esa fuerza está tenida en cuenta en el empuje.

E: ¿pero esa fuerza que el aceite hace sobre la pelota no la habían tenido ya en cuenta en el empuje del agua y del aceite?

A: vos decís.... (baja mucho el tono de voz, no se escucha lo que murmura)... no, no... no sé.... es que no sé de dónde viene el empuje.... no sé lo que es.... o sea no sé qué me incluye, no sé si eso me incluye el peso de mi columna de aceite...

E: bueno, imaginate que tenés una pelota flotando totalmente sumergida en agua, entonces vos le sacás un poco de agua de arriba, pero la pelota sigue sumergida totalmente, o le agregás agua, en cualquier caso ¿cambia de posición la pelota?

A: ... no sé...supongo que no porque no hay nada que relacione esas cosas....

E: claro, porque el empuje sigue siendo igual al peso de la pelota, y ese empuje ahí no tiene nada que ver con cuánta agua haya arriba de la pelota, ¿sí?

A: pero... es que.... ¿Estamos diciendo entonces que el empuje también me anula la columna de agua sobre la pelota?

E: más que anularla la tiene en cuenta

A: pero si el valor de mi empuje es el mismo y la columna de agua varía... ¿cómo la tiene en cuenta si a la pelota no le pasa nada?

E: cuando vos ponés agua encima de la pelota, cambiás la presión arriba de la pelota, a los costados y debajo de la pelota, en todos los puntos cambia....

A: ¿de tal manera que mi empuje sea igual? (silencio).... No, no, no podría hacerlo....

Comentario 1: E les propone un contexto más simple (pelota sumergida sólo en agua) con la intención de que ellos cuestionen, y eventualmente desplacen su lectura 'el líquido sobre la pelota empuja hacia abajo'. Sin embargo en vez de producirse este desplazamiento, A refuerza este elemento ya que al cambiar la columna de agua no cambia el empuje, con lo cual ambas influencias no muestran evidencias de estar relacionadas. Es más, ante la respuesta de A "no sé...supongo que [el empuje] no [cambia] porque no hay nada que relacione esas cosas....", E contesta reafirmando esta respuesta "claro, porque el empuje sigue siendo igual al peso de la pelota, y ese empuje ahí no tiene nada que ver con cuánta agua haya arriba de la pelota". Más adelante, ante el reclamo de A acerca de cómo un empuje constante tiene en cuenta a una columna de agua que cambia, E menciona los cambios de presión sobre la pelota. Evidentemente, el comentario de E acerca de los cambios de presión sobre toda la superficie de la pelota, es ignorado por A para entender la relación entre el empuje y la columna de agua. A y J intentan proyectar empuje en este nuevo contexto (pelota sumergida totalmente en agua) a partir de la misma definición que usan en el problema anterior (la que proviene del principio de Arquímedes). Y E ofrece explicaciones que alternativamente están basadas en esa definición o en la de empuje como presión integrada sobre la superficie del cuerpo sumergido, que para él son una sola. E no advierte ninguna diferencia entre ellas, y entiende que el empuje es lo que expresan ambas definiciones. Las utiliza indistintamente según le parezca más conveniente en cada caso. Pero A y J no. E falla en advertir que A y J están

proyectando empuje estrictamente a partir de la definición de Arquímedes. Una definición que sólo provee procedimientos para calcular el valor del empuje y asignarle una dirección y sentido, pero que no provee procedimientos para relacionar ese valor con el mecanismo físico involucrado en el fenómeno.

En estas transcripciones se evidencia un cambio de rol asumido por E, a partir de algunas expresiones afirmativas y confirmativas (claro, ¿sí?, etc.). Más que indagar los razonamientos de los estudiantes, E invita a que ellos sigan el suyo. Este cambio produce una interacción mucho más parecida a la que ocurriría en una situación de aula real.

E: yo creo que ustedes ya lo estaban haciendo (les indica las fuerzas que ellos habían planteado sobre la pelota en agua y aceite) es más....lo dijeron tan claramente.... Hay un empuje del agua y un empuje del aceite porque hay líquido desalojado... es todo lo que necesitan saber

Ante el silencio y la expresión de desconcierto de A y J, E ensaya otra explicación:

E: supongamos que la pelota está totalmente sumergida en aceite, y el aceite es menos denso que la pelota, entonces ¿qué fuerzas actúan sobre la pelota? El peso que la tierra ejerce a la pelota y el empuje que le hace el aceite. Nada más. Como el peso es mayor que el empuje la pelota se va al fondo y cuando toca la base del recipiente aparece la normal y se equilibran todas las fuerzas, entonces la pelota queda en equilibrio. Pero el aceite está encima, sin embargo el empuje que le hace el aceite ¿para donde va? Para arriba. Entonces vamos a la ecuación que escribieron allí (el peso de la pelota igual al empuje del agua más el del aceite)... entonces si ahora resuelven esa ecuación fíjense a dónde llegan

A: (después de resolver la ecuación para el nuevo volumen sumergido en agua con el aceite encima)... pero... ¡no llegamos a lo mismo! ¡Nos da un medio y antes estaba sumergida tres cuartos!

E: entonces, ¿la pelota se hundió más?

A: menos... ¡¿por qué?!... ah! ¿Se agregó el empuje del aceite?... (asombro)

Comentario 2: Nuevamente, E propone un contexto más simple de una pelota sumergida solo en aceite con la misma intención que antes: que ellos cuestionen, y eventualmente desplacen la lectura 'el líquido sobre la pelota empuja hacia abajo'. Pero A y J no desplazan ese elemento: "pero... ¡no llegamos a lo mismo! ¡Nos da un medio y antes estaba sumergida tres cuartos!" Lo que obtienen es un resultado inesperado para ellos porque se contradice claramente con la estrategia de lectura que activaron en este contexto. E sigue intentando que ellos entiendan el problema de la pelota en agua y aceite con la idea de empuje como peso de volumen desalojado posiblemente porque esta idea incluye, de manera obvia para él, que el origen del empuje son las presiones hidrostáticas en la superficie del cuerpo sumergido, incluyendo las de la parte de la pelota en contacto con el aceite. A y J, en cambio, no incluyen en su definición de empuje esta característica.

A y J están razonando con una definición de empuje diferente de la que subyace en las explicaciones de E.

Entonces E ensaya su tercera explicación. Les hace notar que cuando la pelota sólo estaba sumergida en agua, desalojaba agua y aire, entonces recibía dos empujes: del agua y del aire. Y el empuje del aire se considera despreciable frente al del agua. Si ahora se reemplaza el aire por aceite, el empuje del aceite deja de ser despreciable, entonces la pelota sube un poco con respecto a la situación agua-aire. Y para convencerlos de esa explicación, les dice que se puede experimentar y ver que efectivamente la pelota sube con respecto al nivel del agua cuando se le vierte aceite encima.

E: es más, se puede hacer el experimento, yo les voy a buscar los elementos para que lo hagan. A medida que le vas agregando aceite al agua, la pelota va subiendo, lo podés ver.

A: Ah, mirá vos....no pensé que pasaba eso (indiferente)

E: pero hay algo que es importante, que ustedes tenían claro y dijeron en un momento, que el empuje era hacia arriba siempre, aunque el aceite estuviera encima de la pelota...

A: Sí, y no sé cómo hará para empujar para arriba....

Comentario 3: Tampoco logra E con esta comparación entre el aire y el aceite desalojado por la pelota que A y J entiendan la relación entre el empuje y la columna de aceite. E utiliza en su explicación una definición de empuje estrictamente ligada al desalojo de fluido y no hace referencia en ella al peso de la columna de fluido sobre la pelota, aunque muy posiblemente lo incorpore automáticamente en su pensamiento. En la proyección de E, las presiones hidrostáticas, el fluido desalojado y el fluido por encima del cuerpo sumergido son elementos coordinados de su clase. Pero, en su comunicación con A y J, pone énfasis en procedimientos que provienen de la definición dada por Arquímedes y no advierte que ellos no coordinan estos elementos de la misma forma. La coordinación que los estudiantes no pueden hacer (vinculando la lectura con la definición de empuje como peso de líquido desalojado) necesita de un elemento que está ausente en la proyección de éstos últimos.

La cuarta explicación de E comienza con una nueva descripción para el empuje.

E: el tema es qué es el empuje. El empuje es igual a la fuerza que yo tengo que hacer para sacar una porción de fluido que desalojo y poner ahí una porción de material

A: ¿pero de dónde sale?

E: sale de la presión hidrostática de todos los puntos que rodean esa porción de material

A: pero acá (la superficie de pelota en contacto con el aceite) todas las presiones son hacia abajo o a lo sumo horizontales

E: bueno pero imagínate un casquete como ese en el fondo de un recipiente con líquido, ¿hacia dónde apuntan las fuerzas debidas a las presiones sobre él?

A: bueno pero ahí abajo tenés líquido, entonces también tenés fuerzas hacia arriba...

E: pero cuando tenés dos casquetes unidos es lo mismo, pasa lo mismo... no te convence....

A: sí, lo creo... pero no lo veo... no veo las fuerzitas así... (hacia arriba)

Comentario 4: E comienza acompañando su explicación con una gesticulación que indica el proceso de desplazar un volumen dentro del fluido para que el mismo sea ocupado por el cuerpo. En rigor, el empuje y esa fuerza a la que E hace referencia, constituyen un par acción-reacción. De esta manera, su explicación pone énfasis en el empuje como la fuerza (igual y opuesta) necesaria para desalojar un volumen de fluido, y ante la pregunta de A sobre el origen de esa fuerza, E hace referencia a las presiones hidrostáticas. Como nunca antes, A parece prestar atención a las presiones e intenta proyectar empuje desde una definición nueva sugerida por E “[el empuje] sale de la presión hidrostática de todos los puntos que rodean esa porción de material”. Ella utiliza este nuevo “proxy” para obtener la fuerza que la columna de agua hace sobre la pelota y concluye que ésta apunta hacia abajo. El resultado que obtiene a partir de la definición sugerida por E es inconsistente con otra proyección anterior realizada desde la definición de Arquímedes: el empuje del aceite es una fuerza que siempre apunta hacia arriba. Aún sin poder obtener la información distintiva de la clase, el avance de A en este último fragmento es notable. Ella proyecta empuje (que ella entiende es el “del aceite”) sobre este contexto por primera vez desde una definición que involucra las presiones e intenta articular explícitamente esta proyección con la que realizó desde Arquímedes. Aunque lo que ella pretende obtener (el empuje del aceite) es algo que realmente no existe como tal, el intento de articular dos proyecciones de una clase desde distintas definiciones es un proceso de pensamiento meta-conceptual sofisticado. Este proceso fue observado por Levrini y diSessa (2008) desde sus registros e incorporado a la teoría como una extensión natural.

Comentario final: Mientras que es evidente que el entrevistador puede extender el concepto de empuje a múltiples contextos, extrayendo de todos ellos la misma información distintiva de la clase, estos estudiantes no lo pueden hacer. Ellos parecen trabajar con una única definición de empuje como una fuerza hacia arriba ejercida por el fluido sobre un cuerpo que aparece por el desalojo de fluido, y cuya magnitud coincide con la del peso del volumen de fluido desalojado. Esta definición les provee procedimientos (si hay fluido desalojado hay empuje, es hacia arriba y es igual al peso del volumen de fluido desalojado) que les resultan fructíferos en algunos contextos, pero no en todos. En el contexto de la pelota sumergida en agua y aceite, ellos usan estos mismos procedimientos y no pueden coordinarlos con una lectura llamada por el contexto que es evidente para ellos: ‘la columna de aceite empuja hacia abajo’. El entrevistador les dice que esa fuerza (la realizada por la columna) ya está contenida en el empuje, lo que les produce confusión. E intenta ayudarlos a resolver este conflicto mediante múltiples ejemplos, explicaciones y nuevas descripciones, pero no lo logra. E entiende que esa lectura particular que hacen en el problema de

la pelota en agua y aceite es problemática, e intenta que la desestimen, que no la tengan en cuenta. Lo que E no advierte es que las explicaciones que ofrece constituyen proyecciones que se basan en una definición de empuje que conjuga el Principio de Arquímedes con el de Pascal. Y A y J parecen basarse en una definición dada estrictamente por el principio de Arquímedes. De hecho, la definición provista por el principio de Arquímedes no incluye las causas del empuje, con lo cual resulta insuficiente para asociar al empuje con la columna de aceite sobre la pelota. Más allá de lo infructuosas que parecieran haber resultado estas explicaciones, hacia el final de la entrevista, A realiza un avance. Ella intenta articular dos proyecciones: desde la definición de Arquímedes y desde otra sugerida por E “[el empuje] sale de la presión hidrostática de todos los puntos que rodean esa porción de material”.

Conclusiones

Existen estudios descriptivos que han abordado la conceptualización de empuje en estudiantes secundarios y universitarios (Fernández Fernández, 1987, Barral, 1990, Alurralde y Salinas, 2003, Mazzitelli y Maturano, 2006, entre otros). Esos estudios centraron su atención en la detección y caracterización de las conceptualizaciones de los estudiantes en comparación con las científicamente correctas, a) independientemente del contexto en que las relevaron y b) independientemente de un modelo de aprendizaje de conceptos. Otros, en cambio, centraron su atención en los efectos que distintas estrategias de enseñanza tienen sobre el aprendizaje de empuje (She, 2002 y 2005). Estos estudios comparan las conceptualizaciones antes y después de aplicada la estrategia, sin involucrarse en el análisis de estadios durante el proceso de aprendizaje. El presente estudio de caso difiere de los trabajos anteriores porque propone un modelo de aprendizaje para explicar cómo dos contextos intervienen en el aprendizaje de empuje de dos estudiantes en un estadio del proceso que transcurre durante la resolución de dos problemas. Los registros y análisis muestran, tal como la teoría de clases de coordinación lo prevé, el rol fundamental que juegan los contextos en el aprendizaje del concepto de empuje. También se corrobora que las definiciones son buenas proveedoras de proyecciones. Concretamente, esta teoría permite entender cómo intervienen algunas diferencias contextuales en el aprendizaje del concepto de empuje y abordar dos cuestiones: a) por qué estos estudiantes pueden resolver un problema y no otro cuando el concepto involucrado es el mismo en ambos casos, y b) por qué las explicaciones generadas por E no resultaron útiles para estos estudiantes, aunque todas brindaran abordajes diferentes y fueran correctas.

La definición que A y J manejan en ambos contextos (una fuerza hacia arriba ejercida por el fluido sobre un cuerpo que aparece por el desalojo de fluido, y cuya magnitud coincide con la del peso del volumen de fluido desalojado) da lugar a dos proyecciones: de una de ellas se obtiene la información distintiva de la clase y de la otra no (“es que no sé de dónde viene el empuje.... no sé lo que es.... o sea no sé qué me incluye, no sé si eso me incluye el peso de mi columna de aceite...”) ¿Por qué ocurre esto si esta definición con la que están trabajando provee, en principio, los procedimientos necesarios para proyectar alineadamente empuje en ambos

contextos? Este caso muestra que estos estudiantes, ante el problema de la pelota en agua y aceite, ejecutan una estrategia de lectura: 'la columna de aceite ejerce una fuerza sobre la pelota hacia abajo', que es correcta siempre que no se agregue como una fuerza independiente del empuje. Pero que A y J la agregan como una interacción más. Vemos que este contexto en particular llama a una estrategia de lectura que junto con procedimientos que en otros contextos resultan fructíferos, no permiten lograr una proyección alineada. Esto es algo que la teoría predice: extender la expansión de una clase es un proceso que necesariamente pone en riesgo el alineamiento.

En la tercera parte del estudio se muestran una serie de explicaciones que el entrevistador ofrece a raíz de la confusión que manifiestan los estudiantes cuando se les aclara que la fuerza que hace el aceite encima de la pelota ya está contenida en el empuje. La teoría ha permitido entender el desencuentro entre el docente/entrevistador y los estudiantes a partir las proyecciones de uno y de otros, las cuales son generadas desde proxys diferentes. E no advierte que para entender que la columna de aceite ya está contenida en el empuje, los estudiantes necesitan incorporar en su proyección un elemento que el proxy que utilizan no les provee: la relación entre empuje y presión hidrostática expresada en el Principio de Pascal.

Implicaciones para la instrucción

Las conclusiones anteriores permiten hacer algunas consideraciones en relación a la instrucción. Si bien estos resultados no constituyen una receta para decidir qué contextos incluir en el aula, sí alertan acerca del nivel de participación de los contextos durante el proceso de aprendizaje. Así, el contexto ya no es más una característica pintoresca o accesoria durante el aprendizaje, sino que es un ingrediente fundamental en la construcción de un concepto. Concretamente, las ideas de proyección y alineamiento propuestas por la Teoría de Clases de Coordinación, permiten entender mejor la dinámica cognitiva involucrada en el aprendizaje y uso de los conceptos en el aula. Para aprender un concepto, los estudiantes tienen que hacer cosas diferentes en contextos diferentes. Estar alerta a esta cuestión, nos posiciona mejor como docentes para entender e intervenir en sintonía con el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

Referencias bibliográficas

Alurralde, E. y J. Salinas (2003). ¿Cómo explican los estudiantes la flotación?. Memorias de la Decimotercera Reunión Nacional de Educación en Física. Actas en CD.

Barral, F. M. (1990). ¿Cómo flotan los cuerpos que flotan? Concepciones de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, 8, 3, 244-250.

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

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

diSessa, A. y J. Wagner (2005). What coordination has to say about transfer. En J. Mestre (Ed.), *Transfer of learning: From a modern multidisciplinary perspective* (pp. 121-154). Greenwich: Information Age Publishing.

diSessa, A.; Gillespie, N. y J. Esterly (2004). Coherence vs fragmentation in the development of the concept of force. *Cognitive Science*, 28, 843-900.

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, 27-32.

Gupta, A.; Hammer, D. y E. Redish (2010). The case for dynamic models of learners ontologies in physics. *The Journal of The Learning Sciences*, 19, 3, 285-321.

Hewson, P. y M. Hewson, (1984). The role of conceptual conflict in conceptual change and the design of science instruction. *Instructional Science*, 13, 1-13.

Ionnades, C. y S. Vosniadou, (2002). The changing meanings of force. *Cognitive Science Quarterly*, 2, 5-61.

Levrini, O. y A. diSessa (2008). How students learn from multiple contexts and definitions: Proper time as a coordination class. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 4, 010107, 1-18.

Leonard, W., Dufresne, R., Gerace, W. y J. Mestre (2001). *Minds on Physics – Complex Systems*. Iowa: Kendall/Hunt Publishing Company.

Mazzitelli, C. y C. Maturano (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, 33-50.

Mc Closkey, M. (1983). Naive theories of motion. En D. Gentner y A. Stevens (Eds.), *Mental Models* (pp. 299-324). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Parnafes, O. (2007). What does "fast" mean? Understanding the physical world through computational representations. *The Journal of the Learning Sciences*, 16, 3, 415-450.

Posner, G.; Strike, K.; Hewson, P. y W. Gertzog (1982). Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.

Sears, F. y M. Zemansky (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, 981-996.

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, 609-624.

Strike, K. y G. Posner (1992). A revisionist theory of conceptual change. En R. Duschl and R. Hamilton (Eds.), *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice* (pp. 147-176). Albany: State University of New York Press.

Vosniadou, S. and W. Brewer (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 4, 535-585.

Wagner, J. (2006). Transfer in pieces. *Cognition and Instruction*, 24, 1, 1-71.