

# Sobre el aprendizaje (y la enseñanza) del concepto de empuje: un análisis de la dimensión cognitiva y comunicativa de lo que ocurre durante una entrevista grupal

REVISTA  
DE  
ENSEÑANZA  
DE LA  
FÍSICA

Laura Buteler<sup>1</sup>, Enrique Coleoni<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Física Enrique Gaviola, Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba y CONICET Medina Allende y Haya de la Torre. Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba, Argentina.

E-mail: lbuteler@famaf.unc.edu.ar

## Resumen

Mucho se ha discutido sobre la validez ecológica de los resultados derivados de las entrevistas personales realizadas en ambientes artificiales en relación a cuánto colaboran en la comprensión de los fenómenos que suceden en ambientes naturales. En este estudio se analizarán segmentos de una entrevista grupal a tres estudiantes universitarios mientras resuelven un problema de hidrostática, para mostrar que, aunque realizada fuera del contexto del aula y para fines investigativos, lo que acontece es un fenómeno socio-comunicativo durante el cual se produce construcción colectiva de conocimiento alrededor del concepto de empuje. El foco del análisis está puesto en dos dimensiones: la construcción conceptual que ocurre durante la entrevista (dimensión cognitiva) y el abordaje comunicativo que surge durante el encuentro (dimensión socio-comunicativa). Los resultados del análisis permiten revalorizar los resultados que surgen de entrevistas a pequeños grupos de alumnos con fines investigativos y en contexto fuera del aula, para ser tenidos en cuenta en la enseñanza y el aprendizaje en situaciones de aula real.

**Palabras clave:** Aprendizaje, Empuje, Resolución de Problemas, Enseñanza.

## Abstract

Much has been discussed about the ecological validity of results stemming from personal interviews carried out in artificial environments, and on how these ones may, or may not, reflect what goes on in actual classroom environments. In this study, different excerpts will be analyzed, which were obtained from audio/video taped problem solving sessions. The three university students involved solved a hydrostatic problem involving the concept of buoyancy. Although the activity was carried out in an artificial environment, outside a real classroom, results show that there is a knowledge construction process as a result of a socio-communicational interaction, as occurs in a real classroom. The analysis focuses on two dimensions: the conceptual knowledge constructions (cognitive dimension) and the different communicative approaches that are established during the interview (socio-communicative dimension). Results allow reconsidering the results stemming from small-group interviews outside natural classroom environments and their importance on the teaching and learning of Physics in real classroom environments.

**Keywords:** Learning, Buoyancy, Problem Solving, Teaching

## I. INTRODUCCIÓN

El aprendizaje de conceptos en Física en las aulas está íntimamente ligado a la tarea de resolución de problemas por parte de los estudiantes. En general se le atribuye a esta tarea el privilegio de ser casi la única que colabora con ese aprendizaje. Sin embargo, atribuir ese privilegio a esta tarea está más basado en una intuición sobre la enseñanza de la física que en resultados de investigación que indaguen sobre cómo esto ocurre. Si bien advertimos que hacer resolver muchos problemas de física a nuestros estudiantes, no garantiza el aprendizaje conceptual esperado, los físicos profesionales alcanzan gran parte de su comprensión conceptual a partir de resolver muchos problemas. Cabe entonces preguntarse cómo y cuándo ocurre el progreso conceptual de los estudiantes durante la resolución de problemas de física. Este artículo intenta hacer algún avance sobre esta problemática desde dos dimensiones: a) estudiando cómo y

cuándo ocurren cambios en la conceptualización de empuje durante la resolución de un problema por parte de tres estudiantes universitarios entrevistados en un ambiente extra-áulico, y b) analizando cómo esos resultados obtenidos en condiciones supuestamente artificiales, tienen algún correlato con lo que ocurre en las aulas reales de física.

En relación al primer objetivo, los autores de este estudio vienen trabajando desde hace algún tiempo sobre cómo los estudiantes utilizan o re-utilizan su conocimiento previo durante la resolución de situaciones problemáticas concretas para aprender ciertos conceptos físicos (Buteler, Coleoni y Perea, 2014). Este problema de investigación se sitúa en la confluencia de dos áreas: la resolución de problemas y el aprendizaje de conceptos. En relación a la primera de ellas, si bien existen numerosos estudios que encuentran progresos conceptuales en estudiantes de física luego de ciertas prácticas específicas de resolución de problemas (Labra, Gras-Martí y Martínez Torregrosa, 2004; Gil Pérez y Martínez Torregrosa, 1983; Foster, 2000; Leonard, Gerace y Dufresne, 2002; Mestre, Dufresne, Gerace, Hardiman y Tonger, 1993), se trata de estudios que ponen su atención en los resultados (a veces exitosos) de las estrategias de enseñanza, y no en el proceso de aprendizaje *durante* esta tarea. Con respecto a las investigaciones sobre aprendizaje de conceptos, existen aportes actuales que desafían la visión tradicional, que entienden a la conceptualización como un proceso ligado a la abstracción de características comunes compartidas por todas las instancias del concepto, y proponen que este proceso podría estar mucho más relacionado con las diferencias contextuales de las instancias particulares a partir de las cuales se aprenden y se utilizan los conceptos (diSessa, Gillespie y Esterly, 2004; Gupta, Hammer y Redish, 2010). 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. Ésta última será la perspectiva adoptada en este trabajo.

En relación al segundo objetivo, existe cierto escepticismo por parte de algunos investigadores sociales en relación a la validez ecológica de las entrevistas personales realizadas en situación experimental para investigar fenómenos emergentes en ambientes naturales. El reclamo proviene mayoritariamente desde los adherentes a la cognición situada, quienes objetan que los sujetos sean entrevistados fuera de su comunidad y/o historia, y a quienes se les presentan tareas no definidas por ellos, para realizarlas en entornos que no son naturales para estos sujetos (ver por ej. Bannon y Bodker, 1991). diSessa (2007) retoma estos reclamos y analiza, al menos para un tipo de entrevista clínica, que ésta puede ser entendida como un evento que obedece a un patrón interactivo social espontáneo. El propósito de este trabajo es avanzar un poco más, reconsiderando esta discusión para el ámbito educativo y analizando hasta qué punto la técnica de entrevistas personales arroja resultados ecológicamente válidos en el ámbito de la educación en física.

Nuestro análisis se circunscribe a entrevistas que consisten en encuentros personales entre un investigador, con una agenda de investigación en mente, y un grupo de dos o tres estudiantes que concurren voluntariamente a este encuentro. Aunque el llamado suele ser realizado en el contexto de una clase de física, el entrevistador nunca es el docente de esa clase y los encuentros ocurren en la oficina o laboratorio del investigador. Los encuentros son usualmente de dos horas cada uno, y en algunos casos se repiten tres o cuatro veces durante un cuatrimestre completo cuando la agenda del investigador así lo requiere. En particular, nuestra agenda actual se circunscribe al estudio del desarrollo conceptual de esos estudiantes alrededor de algún concepto específico y a lo largo de un periodo completo de instrucción. El objetivo de estas entrevistas es el de registrar cuándo y cómo se producen cambios conceptuales en esos estudiantes durante la resolución de un problema o un conjunto de problemas que giran alrededor de los conceptos físicos investigados. Las situaciones problemáticas que se presentan se eligen de manera que pueden ser abordadas desde el sentido común o utilizando conceptualizaciones científicas, cualitativamente o cuantitativamente, dejando a los estudiantes libertad de acción para abordarlas. Esto es así para que las “reglas” de resolución las elijan los estudiantes y no el entrevistador. Los conceptos involucrados en la agenda de investigación son familiares para los entrevistados ya que han sido objeto de enseñanza en sus cursos formales. Suponiendo que el aprendizaje de un concepto no se agota en el período de su enseñanza (la experiencia con este tipo de entrevistas nos muestra que esta hipótesis es muy verosímil), el objetivo que se persigue es entender cómo y cuando se producen episodios de aprendizaje en relación a esos conceptos elegidos.

El rol del investigador durante esos encuentros es el de plantear la situación problemática e intervenir en el debate que se genera a partir de éstos, para alentar y visibilizar todos los procesos de razonamiento que surgen de la búsqueda de respuestas. Lo hace mediante distintas estrategias que van desde pedir aclaraciones sobre las visiones que surgen de la discusión y hacer preguntas sobre los puntos de vista de los participantes, hasta plantear pequeñas variaciones contextuales a las situaciones planteadas para sondear alguna hipótesis surgida en el momento o mantenida por él con anterioridad al encuentro. El

entrevistador intenta no exponer sus puntos de vista a los entrevistados, aunque ciertamente los tiene, sino que procura dar lugar y entender a los que surjan de los entrevistados. Las discusiones entre los estudiantes son, la mayoría de las veces, tan vívidas y comprometidas que el entrevistador interviene en un rol secundario. Las entrevistas se registran en formato audio-visual y posteriormente se transcriben.

El propósito de este artículo es doble: estudiar la construcción conceptual colectiva que acontece durante una de estas entrevistas, y analizar hasta qué punto lo que sucede durante ella es un fenómeno socio-comunicativo comparable al que ocurre durante una clase real. En definitiva, mostrar que lo que ocurre durante este tipo de entrevistas tiene similitudes con lo que podría ocurrir en el aula, tanto en la dimensión cognitiva como en la dimensión social de la comunicación.

## II. REFERENCIALES TEÓRICOS

En vista del doble objetivo de este trabajo, se utilizarán dos referentes teóricos para analizar los extractos de una entrevista grupal del tipo de las caracterizadas en el apartado anterior. Uno de ellos, la Teoría de Clases de Coordinación, desarrollada por diSessa y Wagner (2005), para estudiar el desarrollo conceptual que ocurre durante la entrevista. El otro, es el concepto de Abordaje Comunicativo, desarrollado por Mortimer y Scott (2003), para analizar el discurso en el aula y que aquí utilizaremos para analizar el patrón de comunicación que surge del encuentro entre el entrevistador y los tres estudiantes.

Brevemente, una *clase de coordinación* es un modelo para ciertos tipos de conceptos<sup>1</sup>, que ha probado ser muy fructífero para entender aspectos del desarrollo de ciertos conceptos físicos (antecedentes de la utilización de esta teoría en relación a distintos conceptos físicos pueden encontrarse en diSessa y Sherin, 1998; Parnafes, 2007; Levrini y diSessa, 2008). La teoría especifica cómo sería la organización del conocimiento en una clase de coordinación “bien desarrollada”, y también ciertos obstáculos que deben ser superados para lograr tal estatus. La teoría también especifica (parcialmente) el proceso de desarrollo de una clase.

La Teoría de Clases de Coordinación se enmarca dentro de la perspectiva de “conocimiento en piezas”. Según ésta, un concepto es un conjunto (o clase) de muchos elementos relacionados de múltiples maneras cuya función primordial es “permitir a las personas leer cierta clase particular de información desde una variedad de situaciones en las que el concepto es útil en el mundo real”. De hecho, para que tal lectura pueda hacerse desde variados contextos, la clase debe incluir elementos con especificidades contextuales. Cada concepto define cuál es esa clase particular de información. Esta información distintiva podría ser: a) el punto de aplicación, la magnitud y dirección para fuerza, o b) el número asociado a un par de puntos en el espacio- tiempo (que satisfacen la relación especial llamada tipo tiempo) y que se denomina tiempo propio.

La arquitectura de una clase de coordinación incluye dos elementos: *las estrategias de lectura y la red causal*. Las personas a menudo no somos capaces de relevar de manera directa la información distintiva de una clase. Las estrategias de lectura son las que permiten a las personas poner la atención en información contextual que está relacionada a la información distintiva de esa clase. La red causal consiste en el conjunto de inferencias que se realizan desde la información relevada por las estrategias de lectura hasta la obtención de la información distintiva. Los procesos genéricos que construyen una clase de coordinación son la *incorporación* y el *desplazamiento*. Incorporar es reclutar elementos de conceptualizaciones previas para contribuir parcialmente<sup>2</sup> al desarrollo del nuevo concepto. Desplazar es desestimar elementos de conceptualizaciones previas que pueden inicialmente e inapropiadamente formar parte de las estrategias de lectura o de la red causal de esa clase. Las dificultades características que los estudiantes encuentran en la construcción de una clase de coordinación son dos: el problema de la *extensión* y el problema del *alineamiento*. El problema de la extensión se refiere a lograr reclutar elementos en la clase, capaces de cubrir un amplio rango de contextos en los cuales ese concepto es aplicable. La teoría prevé que “implementar” o “usar” un concepto puede requerir usar diferente conocimiento en diferentes situaciones. El conocimiento particular usado en una aplicación específica del concepto se denomina *proyección del concepto o proyección de la clase*. El problema del alineamiento se refiere a ser capaz de determinar la misma información distintiva del concepto desde distintos contextos en los que ese concepto es aplicable. Es obtener la misma información distintiva de cada una de las proyecciones realizadas. 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 sólo pueden determinar la información distintiva de una clase en diferentes circunstancias, sino cuando

<sup>1</sup> Determinar si un concepto es una clase de coordinación es una cuestión empírica, ya que ciertas categorías teóricas deben ser contingentemente identificadas en los datos

<sup>2</sup> La contribución es parcial porque esos elementos podrán ser usados en algunas circunstancias pero no en otras

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).

Lo anterior permite inferir que los contextos son importantes para la teoría de clases de coordinación en dos sentidos. Ellos constituyen los “lugares” en los que se hace considerable trabajo para compilar un concepto a fin de que logre mayor expansión y mejor alineamiento. Por otra parte, los contextos también son los “lugares” en los que se cristalizan las diferentes proyecciones, cuyas partes permanecen como elementos de la clase en el desarrollo de la experticia.

Para analizar el fenómeno comunicativo que acontece durante las entrevistas grupales, nos apoyaremos en el concepto de Abordaje Comunicativo desarrollado por Mortimer y Scott (2003), que se incluye en el marco de una perspectiva teórica más amplia elaborada por estos autores para entender el fenómeno socio-comunicativo que ocurre en las aulas de ciencias. El Abordaje Comunicativo puede ser entendido a partir de dos dimensiones de la comunicación: dialógica-autoritativa e interactiva-no interactiva. La comunicación es dialógica cuando tienen en cuenta los distintos puntos de vista que surgen de los participantes: el foco de la atención está puesto en los distintos significados vertidos durante el proceso comunicativo. La comunicación es autoritativa cuando la atención está puesta sólo en una visión del mundo: la perspectiva científica. Estos dos son los extremos de una dimensión de la comunicación que analiza la medida en que se tienen en cuenta y se retoman las distintas visiones, las distintas voces de los participantes. Por otra parte, la comunicación se caracteriza como interactiva cuando se permite la participación de todo el grupo, y no interactiva cuando se excluye la participación de todos menos de una persona. Combinando estas dos dimensiones surgen cuatro tipos de comunicación:

**TABLA I.** Tipos de abordajes comunicativos según Mortimer y Scott (2003)

	<i>Interactiva</i>	<i>No interactiva</i>
<i>Dialógica</i>	<i>Dialógica-Interactiva</i>	<i>Dialógica-No interactiva</i>
<i>Autoritativa</i>	<i>Autoritativa-Interactiva</i>	<i>Autoritativa-No interactiva</i>

*Dialógica-Interactiva:* El grupo (docente y estudiantes) consideran un conjunto de ideas/explicaciones y todas ellas se retoman y se profundizan, durante la actividad (durante la clase). La profundización de estas ideas ocurre cuando se ponen a consideración del grupo y éste solicita especificaciones a quienes las aportaron

*Autoritativa-Interactiva:* El docente permite la participación de todos los estudiantes que elaboran respuestas/explicaciones, pero enfoca su atención en un solo punto de vista: el científico.

*Dialógica-No interactiva:* El docente considera todos los puntos de vista, revisitándolos, resumiéndolos, explorando similitudes y diferencias entre ellos.

*Autoritativa-No interactiva:* El docente presenta un único punto de vista al grupo (el científico).

Estas ideas han sido propuestas para entender el discurso en el aula de ciencias, sin embargo se mostrará que también son aplicables para interpretar la dimensión comunicativa de lo que ocurre durante las entrevistas personales antes descriptas.

### III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se utilizan extractos de una entrevista realizada a un grupo de tres estudiantes de una Licenciatura de Física de una Universidad Pública en Argentina, con el objetivo de estudiar algunas características de su desarrollo conceptual de Empuje. Los estudiantes fueron convocados en tres oportunidades para resolver un conjunto de problemas que involucran este concepto. En este trabajo se analizarán extractos correspondientes a una de tales entrevistas (la segunda) durante la que resolvieron el problema que se muestra en la Figura 1.

Estos estudiantes acudieron voluntariamente a esta entrevista y estaban cursando en ese momento la asignatura Física General II, ubicada en el primer cuatrimestre del segundo año de la Licenciatura. Al momento de la entrevista, ya se habían trabajado en el curso los temas correspondientes a hidrostática, y lo hicieron al nivel de los libros de Serway (1997) y Sears y Zemansky (1966). Los estudiantes participantes de este trabajo eran estudiantes regulares de la asignatura y tenían, hasta ese momento, un desempeño promedio en su carrera bastante representativo de la cohorte a la que pertenecían, es decir, tenían regularizadas todas las materias de primer año de la Licenciatura y aprobadas el 80% de ellas.

El problema de la figura fue presentado como parte de una tarea más amplia que tenía como finalidad estudiar los cambios conceptuales acontecidos durante un cuatrimestre completo. Estos estudiantes se encontraron con este problema en dos oportunidades separadas por un mes y medio durante el mismo cuatrimestre. Lo ocurrido durante el segundo encuentro (segunda entrevista) da cuenta de grandes cambios en relación a sus conceptualizaciones de empuje, razón por la cual se seleccionó para su análisis. La sección de la segunda entrevista que se refiere a las discusiones con este problema tiene una duración aproximada de una hora y media, por lo que se muestran sólo algunos extractos que resultan más representativos. El análisis no pretende ser exhaustivo, sino que pretende mostrar la verosimilitud de una opción metodológica (las entrevistas grupales en ambientes extra-áulicos) para producir resultados ecológicamente válidos para pensar la enseñanza y el aprendizaje en ambientes áulicos.

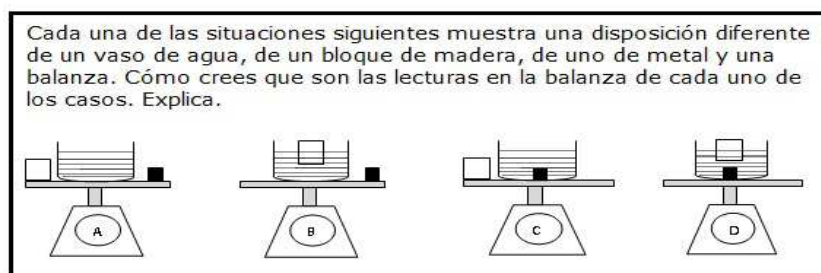


FIGURA 1. Tarea dada a los estudiantes.

### A. La primera entrevista<sup>3</sup>

Se sintetizará lo que ocurrió con el problema de la Figura 1 durante la primera entrevista para contextualizar lo que ocurre en la segunda entrevista con este mismo problema. Cuando este grupo se encuentra por primera vez con este problema, expresan que las lecturas son iguales en A y C y, a su vez, que son iguales en B y en D. En A y C no tenían dudas y hacían el siguiente razonamiento: la balanza marcaría la suma de los pesos del agua, el recipiente y los dos cubos, ya que al estar el cubo de metal hundido éste no recibía empuje y por lo tanto, la lectura de la balanza era la suma de todos esos pesos. En cambio dudaban sobre la lectura de la balanza en B y D, por la presencia del cubo de madera flotando, y pensaban que sería menor a la lectura registrada en A y C. Mientras trataban de dilucidar qué registraría la balanza en B, se dieron cuenta, a partir de un problema parecido trabajado durante sus clases, que la balanza registraría (además de los pesos del agua, el recipiente y el cubo de metal) una fuerza igual en módulo al empuje que recibe el cubo de madera, que el agua ejerce sobre el fondo del recipiente. Dado que el cubo de madera está en equilibrio en el agua, el empuje es numéricamente igual a su peso, concluyen que la lectura de A es igual a la de B y por lo tanto que las cuatro balanzas registran la misma lectura. Durante estas discusiones mantenidas durante la primera entrevista hay una idea que no se cuestiona: los cuerpos hundidos en un líquido y apoyados en el fondo del recipiente no reciben empuje. Ellos consideran en este primer encuentro que el problema está resuelto.

### B. La segunda entrevista

A partir de lo acontecido en el primer encuentro, en esta segunda entrevista se intenta, entre otras cosas, brindarles una oportunidad para que ellos puedan revisar sus respuestas. Al principio concluyen que las lecturas de A y de B son iguales por las mismas razones que en la primera entrevista. Luego se detienen en el tercer caso preguntándose qué registraría la balanza en C. Esta duda genera un extendido proceso de discusión (90 minutos aproximadamente) en el que ocurren importantes cambios en la conceptualización de empuje. Si bien estos cambios se distribuyen en forma gradual a lo largo de la entrevista, se mostrarán algunos fragmentos representativos de los cambios observados. Los extractos de la entrevista que se muestran son secuencias continuas de turnos del habla.

Episodio 1[3:10 min]: “Suponiendo que no hay nada de líquido entre el cubito y el fondo”

1. J: ahora en este caso (caso C) tenemos este cubo totalmente sumergido...

<sup>3</sup> El análisis cognitivo de esta primera entrevista, que incluye otros problemas además del aquí presentado, se realizó en un trabajo previo (Buteler et. al, 2014).

2. A: que dijimos como que el empuje no le hace nada porque estaba en contacto con la parte de abajo
3. J: si no tiene líquido debajo de él
4. A: entonces la balanza mide la normal que le hace el fondo del recipiente que en módulo es igual al peso (J dice lo mismo)
5. J: suponiendo que no hay nada de líquido entre el cubito y el fondo
6. A: ¡esas cosas ideales que nos venden! (risas)
7. Ent.: ¿y si fuera una pelotita en vez de un cubito?
8. A, J y M: lo mismo, es lo mismo
9. A: es como que si vos pensás... debajo de la panza de la pelota... si la pelota es gigante y está en un tanque enorme... si va a tener empuje... porque toda esta parte así (con las manos indica la superficie de la pelota más cerca del fondo) está recibiendo un empuje (indica con sus manos vectores hacia arriba)
10. Ent.: ¿y si es chiquita la pelota?
11. A: ah, no, sería despreciable... no, no, no se
12. A: es como que si la pelota es grande hay mucha superficie de la pelota en contacto con el agua (se refieren a la mitad inferior) y se nota el empuje... es como que en una pelota, un único punto estaría apoyado, por así decirlo, en la base del recipiente... y todo lo otro se levanta desde esa base y todos esos puntos reciben empuje (hace un gesto con sus manos)... no se me parece (M y J sólo miran)
13. Ent.: lo que digo es qué pasa si yo cambio el cubito sumergido por una pelota del mismo material e igual volumen, sólo cambia la forma, en ese caso, ¿siguen contestando lo mismo que para el cubo?
14. J: y, tiene agua por debajo en ese caso
15. Ent.: ¿qué quiere decir que tiene agua por debajo?
16. J: porque ahí con el cubito, yo supongo que está totalmente en contacto con la base del recipiente, entonces no queda agua entre el cubito y el recipiente
17. Ent.: aja, o sea, ¿está seca la base del cubo?
18. J: (hace un gesto sonriendo, como diciendo que mi apreciación es exagerada)... sí...
19. A: o sea... idealmente... (irónicamente)
20. A: es como decir... imaginate que hay un cubo cuadrado, pero tenés un recipiente con la base en forma así (indica una superficie cóncava con sus manos), entonces ahí tenés agua entre la base del recipiente y la base del cubo... entonces lo que nosotros decimos es al revés: tenés la base del recipiente plana y la bolita apoyada sobre ella, entonces ahí también tenés agua
21. M: para mí no tiene nada que ver con la forma, porque nunca te fijabas en la forma para calcular el empuje
22. A: sí... o sea
23. J: claro, el empuje no depende de la forma, únicamente del volumen, entonces en este caso (cubo en el fondo) sí tendrías empuje...
24. A: (confundida)... entonces sería lo mismo.... sería lo mismo que acá.... (refiriéndose a la comparación entre pelota y cubo)
25. Ent.: hmm....
26. M: está sumergido o sea que empuje tiene
27. J: está sumergido, entonces desplaza algún volumen de agua
28. Ent.: hmm...
29. M: la densidad es mayor [que el agua], por eso va a quedar abajo
30. J: ojo porque vieron que cuando veíamos el porqué del empuje era porque el volumen de agua desplazada era sostenido por el agua que tenía debajo... entonces eso genera el empuje... pero sí importa que haya agua debajo o no

Al principio, ellos consideran que el empuje es cero en esta situación de cuerpos sumergidos y hundidos en el fondo del recipiente. Desde la perspectiva teórica adoptada ésta es una proyección no alineada. Si bien el resultado al que arriban es correcto (la balanza registra lo mismo en cualquiera de las cuatro situaciones), las razones que evocan no lo son. Estos estudiantes perciben una característica de la situación que les lleva a concluir que el empuje es cero en este caso porque *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 y esa es la estrategia de lectura que utilizan aquí. Esta estrategia de lectura es una candidata a ser desplazada para que la proyección de empuje pueda, en este caso, alinearse. Con esta idea en mente, el entrevistador cambia la situación por otra que tiene una bolita en lugar de un cubo. Cuando ellos proyectan empuje para el caso de la bolita lo hacen alineadamente (o presumiblemente alineadamente ya

que no le asignan el valor cero al empuje), tal como se puede ver en los turnos 9, 12 y 20. También intentan articular esta proyección con la que antes hicieron para el cubo, como se observa en los turnos 21, 23 y 24. Habiendo concluido que la bolita sí recibe un empuje, comparan con el caso del cubo: el cubo también debería recibir empuje por parte del agua. Articular dos proyecciones es entender porqué dos proyecciones en distintos contextos, debería arrojar la misma información distintiva. En este caso esa información es el valor, la dirección y el sentido del empuje. La articulación entre estas proyecciones se ve obstaculizada por una estrategia de lectura: no hay líquido debajo del cubo de metal, como puede observarse en el turno 30. La teoría prevé que la articulación es un proceso complejo para la mayoría de los estudiantes ya que es un proceso meta-conceptual que implica elaboración consciente y sistemática por parte de ellos.

En la dimensión comunicativa, el discurso que se establece es dialógico y participativo. Todas las ideas son tenidas en cuenta y ninguna es evaluada y/o desestimada por el entrevistador. Sus únicas intervenciones son para preguntar y para parafrasear lo que los estudiantes dicen, siempre siguiendo los razonamientos de los estudiantes.

Episodio 2[18:53 min]: “*Habría una lámina muy muy chiquita abajo*”

Luego de algunos intentos fallidos de articulación, el entrevistador toma un rol más activo en el intercambio de ideas. Como se muestra en el extracto que sigue, el entrevistador “lleva” a los estudiantes a: 1) considerar la existencia de agua debajo del cubo y 2) considerar la presión de esa agua.

1. Ent.: entonces el razonamiento de ustedes es que porque no hay agua debajo del cubo, no hay empuje... habría que ver si eso de que no hay agua es cierto...
2. A: es que... habría [agua]...
3. M: si habría una lámina muy muy chiquitita abajo.... ¡pobrecita esa agua!
4. Ent.: supongamos por un ratito que existe esa laminita de agua. Y yo me propusiera a medir la presión en el fondo del recipiente, incluyendo la parte de la laminita ¿Cómo sería la presión en todos los puntos del fondo del recipiente, suponiendo esa laminita ahí? ¿Sería en todos los puntos igual? ¿o abajo del cubo sería distinta que en el resto del fondo?

Los tres piensan y no contestan

5. Ent.: supongamos que tenemos esa laminita de agua, porque si no hay agua, ¿Qué habría? Cuando yo tomo el cubito y lo meto en el agua, se moja. ¿Cómo haría para que desapareciera esa agua al llegar al fondo? Lo mojado del cubito ya es una laminita de agua.
6. J: si está esa capita de agua hay empuje
7. Ent.: bueno, entonces yo quiero medir la presión en el fondo. ¿Cómo es la presión en esos puntos?
8. M: tiene que ser siempre lo mismo ¿no es Bernoulli?
9. J: porque depende de la altura de agua que tenga encima, y si es todo agua... la presión es la misma
10. Ent.: ¿y abajo del cubo también?
11. J: y... pero... abajo del cubo... (hace un gesto como que abajo del cubo es incómodo decir que sí)
12. M: pero vos te acordás en el experimento ese que tenías una bola sumergida y vos le ejercés presión en un punto y como que la presión se equi-distribuye para todos lados igual (hace un gesto con las manos) ¿era Bernoulli?
13. J: Pascal
14. M: sí, el de la bola con las mangueritas (A asiente)
15. Ent.: como que la presión se trasmite en todas las direcciones
16. M: igual en todas las direcciones... entonces si yo le ejerzo una presión acá (señala un punto debajo del cubo), se distribuiría igual para todos lados... no es que la presión es mayor sólo debajo del cubo
17. A: claro, pero por ejemplo yo... bueno.... Es como que me viera tentada de decir que como acá si en vez del cubo tuviera una columna de un líquido más denso... entonces es como que la presión que ejerce esa columna es mayor que donde no hay columna...no sé por qué, porque en todos los puntos (del fondo) tendría que tener la misma presión...

Los estudiantes comienzan a aceptar que debería haber una lámina de agua debajo del cubo. De manera que la estrategia de lectura: como no hay agua debajo del cubo, se desplazó de esta situación. En su lugar se activa otra que percibe agua debajo del cubo, sin contacto con el fondo. Además comienza a prestarse atención a una propiedad del agua antes no considerada: la presión y su variación con la altura

del agua. En términos teóricos esto último puede entenderse como una inferencia antes ausente: a mayor altura, mayor presión en el fondo. En este episodio han ocurrido un desplazamiento y una incorporación de una estrategia de lectura y la incorporación de una inferencia nueva.

Se puede observar también que lo que acontece en este episodio es, en gran medida, “inducido” por el entrevistador. Si bien las contribuciones son generadas por los estudiantes, las preguntas e intervenciones del entrevistador han colaborado, de alguna manera, a que ocurran. Esto se puede interpretar como un cambio en el abordaje comunicativo en relación al episodio 1: si bien todos participan en la discusión, hay un punto de vista privilegiado en el diálogo: el del entrevistador. En el turno 5 el entrevistador intenta persuadir a los estudiantes de que tiene que haber agua en la base del cubo y en el turno 7 el entrevistador no registra, o bien desestima, la contribución de J del turno 6. Esta contribución de J es sobre el empuje, y no sobre la presión del agua en el fondo, que es la idea que tiene en mente el entrevistador. También en el turno 15, el entrevistador pone en términos científicos el principio de Pascal que los estudiantes están tratando de recordar en los turnos 12 a 14 y verbalizan en términos poco apropiados desde el punto de vista científico. Esa última intervención puede entenderse como una instancia evaluativa por parte del entrevistador. En síntesis, se puede caracterizar este episodio como uno en el que el abordaje comunicativo es participativo y autoritativo, ya que las contribuciones que ocurren están alineadas con un sólo un punto de vista: el del entrevistador.

### Episodio 3[24:37 min]: “*El peso es igual al empuje*”

Este episodio muestra que al considerar que hay agua debajo del cubo de metal, perciben que la única fuerza que actúa sobre el cubo es el empuje y que la normal que le ejerce el fondo es cero. El razonamiento que hacen es: si hay agua, la interacción es sólo con el agua.

1. *Ent.: bueno, si aceptamos esto, que vino porque aceptamos que exista una laminita de agua... entonces volvamos al ejemplo del cubito en el fondo, o al de la pelota, el que les guste más*
2. *M: es lo mismo, cualquiera podemos tomar*
3. *J: (toma el lápiz y empieza a dibujar las fuerzas sobre la pelotita, dibuja el peso y duda antes de dibujar el empuje, A le dice ¡no tengas miedo, pone el empuje! Y ahora no dibujan la normal)*
4. *Ent.: ¿y de dónde sale ese empuje? Porque ustedes me habían dicho que el empuje era la fuerza que el líquido debajo le hace a los cuerpos*
5. *A: es como la reacción que ejerce... así como una superficie sólida te ejerce una normal, ahora un líquido te ejerce un empuje... lo que se llamaba normal, bueno, es como que ahora en un líquido le ponemos empuje (risas)... es como que ahora el líquido tiene masa entonces en contacto con otra cosa... se ejercen una fuerza entre ellos*
6. *J: cuando habíamos visto este tema, se acuerdan que habíamos hecho algo así? (dibuja una porción cúbica de fluido dentro del fluido y marca las presiones arriba y debajo de ese cubo ideal y las profundidades) y veíamos las presiones en la cara de abajo y en la de arriba y con eso calculábamos la fuerza sobre el cubo... entonces si ahora tenemos el cubo en el fondo (dibuja el cubo en el fondo) acá abajo tenemos la presión de toda esta columna de agua y en la cara de arriba otra presión menor entonces, las fuerzas de estas presiones más el peso nos da cero porque el cubo está en equilibrio.*
7. *(El entrevistador los guía mediante preguntas para que, a partir del reconocimiento de las presiones en todas las caras del cubo, ellos lleguen a la conclusión de que la fuerza resultante sobre el cubo, debida a esas presiones, es hacia arriba y es el empuje. A continuación les dice que ese empuje tiene un módulo igual al peso del líquido desalojado)*
8. *Ent.: entonces volvamos a nuestro problema del cubo hundido... y nos preguntamos si hay empuje o no hay empuje*
9. *M: entonces si tomamos esto (la definición de empuje) entonces sí hay empuje... porque acá abajo tenés líquido, aunque sea una laminita, la presión de ahí abajo por esa área con la presión acá arriba por esa área, la diferencia de ambos te da un empuje... sino, tendría que ser igual la presión acá arriba y acá abajo y eso no puede ser...*
10. *J: entonces si hay agua debajo seguimos teniendo un resultado distinto a la otra vez (se refiere a que antes habían dicho que  $E=0$  y  $P=N$  para el caso C)*
11. *M: no, sigue siendo el mismo resultado (se refiere a que todas las balanzas marcan lo mismo)*
12. *A: ¡sigue siendo lo mismo!*
13. *M: sigue marcando lo mismo que la balanza de acá al lado (caso B) porque el empuje es igual al peso porque si el empuje fuera mayor al peso lo levantaría*
14. *Ent.: tenemos el empuje y el peso, ¿y no tenemos normal?*
15. *J: NO, no hay normal sobre el cubo pero...*



16. *M: sobre el cubo no*

17. *J: pero el empuje es igual al peso y ese empuje es el que nota la balanza*

El desplazamiento de la estrategia de lectura reportada en el episodio 1 ocurrió a partir de la aceptación de la lámina de agua debajo del cubo. Por otra parte, la inferencia incorporada en el episodio 2 (a mayor altura, mayor presión en el fondo), dio lugar en este episodio, a la recuperación de la definición de empuje (en parte orientada por el entrevistador) como resultante de las presiones integradas sobre las caras del cubo, tal como se muestra en los turnos 6 y 7. El desplazamiento de la estrategia de lectura del episodio 1 más esta definición de empuje, les permitió generar una proyección de empuje (otra vez no alineada, ya que el empuje no es igual al peso) en esta situación. Hasta ahora ellos han desplazado una estrategia de lectura en el episodio 1, han incorporado otra en el episodio 2, y han proyectado empuje en este episodio a partir de una definición, pero incorporando también otra lectura: la base del cubo no está en contacto con el fondo. Ellos han incorporado una estrategia de lectura en este episodio que, otra vez, los lleva a realizar una proyección no alineada para el empuje. En términos teóricos, toda nueva proyección pone en riesgo el alineamiento. Esto ha sucedido aquí: ellos han generado una proyección nueva, bastante más compleja que la antes reportada, sin embargo, la presencia de una estrategia de lectura inapropiada dio lugar a una proyección no alineada.

El discurso obedece, en distintos momentos, a dos patrones: dialógico-interactivo e interactivo-autoritativo. Entre los turnos 1 y 6 el abordaje comunicativo es dialógico e interactivo. En los turnos 7 y 8 el entrevistador dirige la atención hacia una definición científica para el empuje. Particularmente en el turno 7 (el diálogo en el turno 7 es bastante extenso, razón por la cual se decidió hacer un resumen de lo que ocurre) las preguntas del entrevistador son seguidas por las respuestas de los estudiantes, pero todas ellas en la dirección del razonamiento provisto por el entrevistador para arribar a la definición de empuje. Todos intervienen en el diálogo, pero hay sólo un punto de vista tenido en cuenta: el del entrevistador. El abordaje en esos turnos es interactivo-autoritativo. En los turnos siguientes se retoma el mismo abordaje que al comienzo de este episodio: las voces de los estudiantes vuelven a ser escuchadas.

Episodio 4[49:00 min]: *es como poner OTRO cubo afuera pero más liviano*

En este episodio, estos estudiantes encuentran otra alternativa para refutar que el empuje del cubo de metal hundido sea igual a su peso. Bajo el supuesto de que todas las lecturas tienen que ser iguales (algo que mantienen desde la primera entrevista), “desglosan” la lectura de la balanza en una suma de varias reacciones (que ellos denominan normales) ejercidas por ella sobre cada uno de los objetos que interactúan con ella. Entonces llaman  $N_1$  a la reacción de la balanza sobre el agua y  $N_2$  a la reacción de la balanza sobre el cubo de metal, ambos en la situación A. Y crean una situación imaginaria, análoga a la situación C, y que los libera de tener que analizar las fuerzas sobre el cubo hundido. Ellos imaginan una situación en la que tienen el mismo recipiente pero con más agua que en A (la cantidad de la situación A más una capa de agua cuyo volumen es igual al volumen del cubo de metal), más un cubo de metal apoyado directamente sobre la balanza. Denominan  $N_1'$  a la reacción de la balanza sobre el agua en esta nueva situación análoga a C, y  $N_2'$  a la reacción de la balanza sobre un cubo de metal imaginario ubicado sobre la balanza pero fuera del agua. Apartan del análisis a las reacciones debidas al cubo de madera y al recipiente porque éstas no cambian en las situaciones A y C. La creación de esta situación análoga a C les permite decidir que, si las lecturas de A y C son iguales, entonces el empuje recibido por el cubo de metal en la situación C no puede ser igual a su peso, contrariamente al resultado al que habían arribado en el episodio 3.

1. *M: yo lo que pienso es así. Entre estos dos (casos A y C), bueno, no consideremos el cubo de madera de afuera que es igual en los dos casos, la normal que mide la balanza debido al líquido más la normal debido al cubo de metal en A tiene que ser igual a la nueva normal debido al líquido en C, que va a ser mayor porque el agua está más alta, más el empuje del cubito de metal sumergido, que va a ser menor que la normal del cubito del caso A, para que ambas lecturas (A y C) me den lo mismo. Entonces es como que sumadas (las normales debidas al agua más el cubo de metal) van a ser iguales en A y en C.*
2. *Ent: ¿podes repetir?*
3. *A: es como si ahora el cuerpo (cubo de metal en situación C) tuviera menos peso*
4. *A: o sea, si estas dos cosas tienen que ser iguales (lecturas en A y C), lo que dice ella (M) ¡que es lo que yo quería decir! Es como que este volumen de más de agua que hay acá (caso C) es el mismo que el del cubo sumergido, y...*
5. *Ent.: (interrumpe e interpreta algo que no es lo que ellos quieren decir. ¡No! contestan todos)*

6. *A: si vos acá tenés una normal  $N_1$  (caso A) correspondiente a la presión de esta altura de agua y además tenés esta normal  $N_2$  (sobre el cubo de metal fuera del agua en la situación A) que es igual a su peso. Ahora si vos mirás acá (situación C), yo ahora puse el cubo adentro, entonces yo ahora me fijo solamente en la nueva normal del agua por este nuevo volumencito acá arriba (el agua desplazada por el cubo sumergido) y yo tengo esta nueva altura, o sea que la presión acá abajo va a ser distinta, y va a ser mayor, o sea que yo voy a tener una nueva normal  $N_1'$  que va a ser mayor que  $N_1$ . Pero yo supuse desde el principio que las dos lecturas tienen que ser iguales, entonces si fueran iguales, es como si yo tuviera el bloque de metal afuera pero con un peso distinto*
7. *M: con un peso igual al empuje que recibe cuando está en el agua, que es mas chiquito que el peso del bloque en la situación A.*
8. *A: claro, o sea yo ahora tengo  $N_1$  más  $N_2$  tiene que ser igual a  $N_1'$  que es mayor que mi  $N_1$ ... o sea si yo quiero que sean iguales (situación A y C) y ahora en vez de poner el cubo sumergido lo pongo sobre la balanza y yo partí de que ambas lecturas tienen que ser iguales, entonces la nueva normal  $N_2'$  sobre este cubo puesto afuera tendría que ser menor a  $N_2$ ... entonces es como que le cambió el peso al cubo...*
9. *M: es que es el empuje ahora (esa nueva normal es igual al empuje)... entonces es como que llegas que el peso no es igual al empuje (en la situación C) pero que la suma da lo mismo al final... o sea que el empuje es más chiquito que el peso, pero la suma da lo mismo*
10. *Ent.: ¿cómo?*
11. *M: es como poner OTRO cubo (en la situación C) afuera pero más liviano y que su peso sea igual al empuje*
12. *A: lo que yo digo es que si yo parto de que son iguales (lecturas A y C), y supongamos que yo considero que.... Ay... es un lío....*
13. *J: es como que yo me perdí entre tantos cubos...*

En este episodio están intentando proyectar empuje para el cubo de metal sumergido en la situación C y encuentran, a diferencia de antes, que ese empuje no puede ser igual al peso de ese cubo. Aunque todavía no han podido extraer la información distintiva, en tanto que no han podido obtener el valor del empuje en esa situación ( $E=P-N$ ), este intento de proyección los acerca mucho más hacia ese objetivo. Hasta este momento de la entrevista, ellos no han desplazado la estrategia de lectura incorporada en el episodio anterior (el cubo no tiene contacto con el fondo) para el caso C. No obstante ello, utilizaron una analogía para justamente evitar el uso de esta estrategia de lectura. La situación análoga a C les permite no tener que usar esta estrategia de lectura, y por ello, les permite acercarse hacia una proyección alineada para empuje, decidiendo que el empuje tiene que ser menor que el peso del cubo. Interpretamos que el progreso conceptual en este episodio es importante porque generan una situación análoga que justamente deja fuera de juego una estrategia de lectura que está bajo sospecha, pero que les permite relacionar elementos clave de las situaciones A y C: las reacciones ejercidas por la balanza sobre el agua y sobre el cubo de metal. Es un intento de articulación entre dos proyecciones que les arrojan resultados contradictorios: para el caso C del episodio anterior les arroja que  $E=P$  y para el caso análogo a C de este episodio les arroja que  $E < P$ .

El abordaje comunicativo es dialógico y participativo. El entrevistador sólo interviene mínimamente para pedir aclaraciones en los turnos 2 y 10. En el turno 5 intenta resumir el punto de vista de ellos, pero los estudiantes no acuerdan con esa interpretación. En este episodio sólo tienen protagonismo las contribuciones de los estudiantes.

#### IV. CONCLUSIONES

En relación a la dimensión cognitiva, se han observado importantes avances en el desarrollo de la conceptualización de empuje. Comenzando por el intento de articulación entre proyecciones distintas para el empuje sobre el cubo en el fondo y el empuje sobre la bolita (episodio 1), siguiendo por el desplazamiento de una estrategia de lectura en el episodio 2 (no hay agua debajo del cubo), y por la incorporación de una inferencia también reportada en el episodio 2 (a mayor altura, mayor presión). Por último, el intento de articulación reportado en el episodio 4, mediante el cual intentan resolver dos resultados contradictorios para el caso C:  $E=P$  y  $E < P$ . Por motivos de espacio, no hemos incluido aquí segmentos posteriores de la entrevista en la que estos estudiantes terminan desplazando la estrategia de lectura reportada en el episodio 3 (el cubo no tiene contacto con el fondo), modelan la superficie inferior del cubo como una irregular con algunos puntos de contacto con la superficie del recipiente, y concluyen finalmente que  $E=P-N$ . Este resultado al que arriban no puede interpretarse aisladamente sino a partir de a

todos los cambios antes reportados. Por ello se privilegió el análisis de todo lo previo a este resultado. El análisis completo de los registros es objeto de un trabajo futuro.

En relación a la dimensión comunicativa, se puede concluir que el concepto de abordaje comunicativo se adaptó naturalmente a los registros de este estudio, poniendo así en evidencia que, al menos para el tipo de entrevistas aquí analizadas, el proceso comunicativo que surge tiene semejanzas con algunos patrones de comunicación que podrían surgir en el aula. Por cierto, el aula involucra más variables que no surgen en el contexto de estas entrevistas y no es nuestra intención igualar ambas situaciones, sino revalorizar ciertas semejanzas. En este sentido entendemos que algo relevante que surge de este trabajo es la revalorización de diseños de investigación alternativos a la observación de la clase, para ser utilizados en algunas etapas de la investigación educativa.

El análisis en la dimensión comunicativa de esta entrevista también nos ha permitido reflexionar sobre el rol del entrevistador (uno de los autores del trabajo). Nuestra intención inicial era mantenernos siempre al margen de nuestros puntos de vista, lo cual se trasladaría a categorizar todo el proceso comunicacional como dialógico-interactivo. Sin embargo, hemos observado que en algunas oportunidades nos hemos apartado de ese patrón: eso ha sucedido cada vez que identificamos el diálogo como interactivo-autoritativo. Aunque este apartamiento podría considerarse una deficiencia en el proceso investigativo, entendemos que esto no es necesariamente así. Este “corrimento” nos permitió acercarnos más a los patrones comunicativos que efectivamente ocurren en el aula, donde se hace necesaria la “tensión” entre el discurso dialógico y autoritativo, tal como lo plantean Scott et. al (2006). En todo caso lo que es importante es hacer explícito el rol del entrevistador e incluirlo como elemento a ser interpretado. En tanto el fin último de nuestras investigaciones es la educación formal en física, destacamos la relevancia de explicitar el rol del entrevistador durante la entrevista analizando los patrones de comunicación que allí ocurren.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo mediante el subsidio correspondiente al proyecto de investigación PICT-2008-1834.

## REFERENCIAS

- Bannon, L. y Bodker, S. (1991). Beyond the interface: Encountering artifacts in use. En J. M. Carroll (Ed.). *Designing interaction: Psychology and the human-computer interface* (pp. 227-253). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Becerra Labra, C., Gras-Martí A. y Martínez-Torregrosa, J. (2004). Análisis de la resolución de problemas de física en secundaria y primer curso universitario en Chile. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), pp. 275-286.
- Buteler, L., Coleoni, E. y Perea, A. (2014). Aprendiendo empuje durante la resolución de problemas: Un análisis desde la Teoría de Clases de Coordinación. *Enseñanza de las Ciencias*, 32 (3), 511-528.
- diSessa, A. (2007). An Interactional Analysis of Clinical Interviewing. *Cognition and Instruction*, 25(4), 523-565.
- 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 (Ed.). *Transfer of Learning: From a modern multidisciplinary perspective* (pp. 121-154). Greenwich: Information Age Publishing.
- 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.

Foster, T. (2000). The development of student problem-solving skills from instruction emphasizing qualitative problem solving. Tesis doctoral, Minnesota University: <http://groups.physics.umn.edu/physed/>. Consultado el 30-05-2014.

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

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.

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 diSessa, 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.

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.

Mortimer, E. and Scott, P. (2003). Meaning making in secondary science classrooms. Maidenhead, UK: Open University Press.

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.

Scott, P., Mortimer, E. y Aguiar, O. (2006). The Tension Between Authoritative and Dialogic Discourse: A Fundamental Characteristic of Meaning Making Interactions in High School Science Lessons. *Science Education*, DOI 10.1002/sce.20131, pp. 605-631.

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.