

Las competencias operatorias y la conceptualización de un fenómeno físico: un problema de variables relevantes

MARÍA RITA OTERO

Universidad Nacional del Centro

*Facultad de Ciencias Exactas. Departamento de Formación Docente
Pinto 399, 7000 Tandil, Buenos Aires, Argentina*

Recibido el 5 de agosto de 1996; aceptado el 12 de diciembre de 1996.

RESUMEN. Utilizando entrevistas clínicas se exploran las conceptualizaciones de estudiantes secundarios en el contexto escolar, acerca de la explicación de la flotación de cuerpos. Se analiza la actualización preponderante de los aspectos dinámicos en las explicaciones, relacionándola con las variables relevantes para el sujeto y no con la ausencia de las competencias operatorias del pensamiento formal. Se proponen también algunas estrategias didácticas para la enseñanza del tema.

ABSTRACT. Using clinical interviews it is explored the conceptualizations of secondary school students on floating bodies explanation within the school environment. It is analysed the preponderant actualization of the dynamic aspects during the explanations. This actualization is related to the relevant variables for the subject and not to the operating competences absence of formal thinking. It is also proposed some didactic strategies for teaching the above-mentioned theme.

PACS: 01.40-d

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo es un recorte de un proyecto de investigación más amplio acerca de la construcción de conceptos en física y el tipo de modelos que emplean los alumnos para dar explicaciones de un fenómeno físico. En este caso se aborda el tema de la flotación de los cuerpos, que desde la investigación psicológica sobre la construcción de conceptos ha sido ampliamente tratado [1, 2], aunque esto no ha generado las respuestas didácticas correspondientes. Éste es un intento de dar una mirada didáctica, es decir se trata de una investigación que recoge datos en el contexto escolar.

Esta investigación pone en evidencia la influencia que los aspectos dinámicos de un fenómeno tienen en la conceptualización del mismo y el modo en que los sujetos utilizan sus concepciones para explicar o predecir. Piaget denomina así a las referencias relativas a la intervención de fuerzas y de movimiento, tales aspectos son considerados como obstáculos para la comprensión, en las investigaciones psicológicas desarrolladas en torno al fenómeno de la flotación.

En este trabajo se muestra que indagando en un contexto escolar los aspectos dinámicos no desaparecen según se alcanza el pensamiento formal, sino que permanecen y complementan la explicación de un fenómeno físico en el que la consideración de dichos aspectos es decisiva, si lo que se pretende es conseguir una explicación causal.

Piaget e Inhelder [2] trataron de probar que, a la explicación de la flotación, se arriba sólo cuando se está en posesión de los instrumentos operatorios que proporciona el pensamiento formal; recién cuando puede pensar en términos de proposiciones lógicas, el sujeto logra descartar todas sus hipótesis contradictorias, para avanzar hacia una explicación única y consistente de la flotación; que no es producto de la observación sino del ejercicio del pensamiento hipotético-deductivo y del manejo de la lógica proposicional.

Por su parte, Carretero [1] desarrolla una investigación en la que se propone indagar sobre la capacidad de contrastar hipótesis y sobre cuáles son las estrategias utilizadas, en sujetos cuyas edades van desde los 7 a los 17 años; para esto retoma el trabajo piagetiano acerca de la explicación de la flotación. Sin embargo sus conclusiones no han generado aún respuestas didácticas que se implementen en el aula. Investigaciones realizadas en distintos niveles educativos estarían mostrando las dificultades de los alumnos, para dar razones acerca de por qué un cuerpo flota o se hunde [3, 4].

Se adopta un referencial piagetiano para trabajar en el aula [5-10], y con ese punto de apoyo se trata de abordar problemas de aprendizaje pero en una situación más compleja y diferente, aunque relacionada, con la problemática epistemológica de Piaget: la construcción de conocimiento científico en el proceso interactivo del aula escolar.

Esta investigación se desarrolla con 81 sujetos de 15 años de edad, que cursan el tercer año de la escuela media. Se realizó previamente una exploración, que consistió en una entrevista individual sobre flotación similar a la que realiza Piaget. Para la entrevista se presentó al sujeto una colección de 14 objetos y se le solicitó una previsión acerca de si flotarían o no en agua. Luego se contrastaron las previsiones con la experiencia. Esto permitió obtener información acerca de las conceptualizaciones del sujeto indagado. Los temas desarrollados antes de la indagación seguían la secuencia lógica planteada por los contenidos de física de tercer año, que coincide con la secuencia psicológica [8]: noción de sustancia, noción de peso, noción de volumen, noción de densidad.

Las entrevistas exploratorias mostraron que estos alumnos de 15 años, estaban lejos de concluir lo que se observa en la entrevista de Piaget-Inhelder [2], para el nivel III: la explicación basada en la comparación de la densidad del cuerpo y del agua. Sin embargo llegaban a tener en cuenta el peso específico, porque eran capaces de comparar volúmenes iguales de dos sustancias distintas, pero no generalizaban esta operación mental extendiéndola al agua; y mucho menos comparaban el volumen del cuerpo, ni con el volumen total de agua del recipiente (como hacen los niños de Jean Piaget [2] en niveles anteriores al III), ni con el volumen de agua desalojada.

Así Piaget [2] encuentra que Al (12,8) dice: "Con el mismo volumen, el agua es más liviana que esta llave. (Para probarlo) tomaría plastilina y modelaría exactamente el contorno de esta llave y pondría agua adentro: tendría el mismo volumen de agua que la llave ... y sería más liviana".

Y dicen Piaget-Inhelder [2] en relación a lo anterior: "Pero no es menos cierto que en el nivel III-B este esquema adquiere su valor general: en efecto, en lo que concierne a la presente cuestión solo alrededor de los 13-14 años conduce a la búsqueda de una

unidad métrica común. Entre los objetos que constituyen nuestro material se encuentran entre otros un cubo de madera, un cubo de hierro y un cubo vacío de plástico (de peso específico cercano a uno), los tres del mismo volumen. Ahora bien, es sorprendente ver que los sujetos del nivel III-B recurren, tarde o temprano, a estas unidades, y son los únicos que recurren a ellas de modo espontáneo”.

En las entrevistas exploratorias, la comparación con el agua no surgió en ningún caso, aunque los sujetos evidenciaron ser competentes para establecer relaciones peso-volumen. Cabe preguntarse: ¿Por qué alumnos que pueden comparar volúmenes iguales de distintas sustancias y establecer su diferencia de pesos, no emplean este concepto ni generalizan esta operación mental al agua en la forma espontánea en que lo hacen los niños con quienes trabaja J. Piaget? Según parece, permanecen sujetos a una intrincada red de hipótesis; sin aparente necesidad de que éstas deriven hacia una explicación única y no contradictoria del fenómeno de la flotación.

2. HIPÓTESIS DE TRABAJO

1. El “descubrimiento de la ley”, tal como es previsto por el análisis de Piaget [2, 5] podría no ocurrir nunca, si no se expone al sujeto a situaciones determinadas, que le demanden la utilización de su competencia operatoria y que le informen de ciertas relaciones, a las que difícilmente arribará solo.
2. Es decir, la comparación espontánea con el peso específico del agua no se presentaría frecuentemente en ninguno de los dos grupos de entrevistas.
3. Si un sujeto de 15 años puede comparar mentalmente los pesos de volúmenes iguales, entonces posee las condiciones necesarias para explicar porqué flotan algunos cuerpos y no otros, pero esa sola competencia podría ser en la práctica insuficiente para arribar a la explicación correcta.
4. La secuencia didáctica utilizada para el volumen y peso específico tendría que incidir favorablemente en las respuestas obtenidas en las entrevistas de flotación, respecto de las entrevistas que se realicen sin la pre-tarea mencionada.

3. METODOLOGÍA

El trabajo se enmarcó en el enfoque cualitativo intentando describir de manera precisa las explicaciones de los adolescentes de 14–15 años sobre la flotación de los cuerpos, antes de recibir instrucción escolar sobre dicho tema.

El instrumento empleado en la indagación fue fundamentalmente la entrevista clínica; sin duda la implementación resultó difícil, porque requiere tanto de un entrevistador preparado como de una intensa tarea de diseño previa.

Se controló que todos los sujetos tuvieran la misma información sobre el último tema tratado, por lo tanto mientras se tomaron las entrevistas no se enseñaron temas nuevos. Para minimizar las consecuencias del intercambio de información entre los entrevistados, el orden en que los sujetos fueron indagados se estableció al azar, informándoles sobre la tarea que realizaba el investigador y solicitando colaboración voluntaria. Las entrevistas se realizaron en el laboratorio de física de la escuela.

Se efectuaron dos series de entrevistas clínicas (A y B), a alumnos pertenecientes a dos grupos de tercer año de la escuela media, de una misma institución escolar. Uno de los grupos ha trabajado la secuencia didáctica previamente diseñada sobre volumen y peso específico, el otro no.

Los grupos fueron caracterizados por medio de las siguientes variables atributivas:

- Todos los sujetos entrevistados son conservadores de volumen.
- Los sujetos no han tratado el problema de la flotación en la escuela.
- La edad de los entrevistados es de 15 años.

Para establecer la comparabilidad de los grupos, a los efectos del análisis y nivel de generalidad de las conclusiones, se tomaron como referencia datos provenientes de pruebas psicométricas estandarizadas sobre cada individuo de cada grupo, estos datos proporcionan un parámetro estandarizado común, que no será empleado en las conclusiones. La evaluación psicométrica de los alumnos está fuera de el enfoque y objetivos de este trabajo. Se utiliza información disponible, porque la institución escolar en la que se trabaja tiene como práctica la aplicación de pruebas psicométricas estandarizadas a toda su matrícula.

Para la entrevista se presentó a cada sujeto una colección de 14 objetos y se le solicitó una previsión acerca de si flotarían en el agua. Luego, se le requería contrastar sus previsiones con la experiencia, esto permitió obtener información acerca de las conceptualizaciones del sujeto indagado. Como además de explorar las conceptualizaciones de los estudiantes, se pretendía comparar la incidencia de la secuencia didáctica sobre volumen y peso específico en las respuestas sobre la flotación, la cantidad de entrevistas a realizar no se determinó por el límite prescripto por la saturación teórica, sino que se entrevistó a todos los sujetos de ambos grupos. Cuando se entrevista a un grupo numeroso de alumnos, llega un momento en el que nuevas entrevistas no aportan más información; en una investigación cualitativa como ésta se trata de caracterizar las respuestas típicas, y esto no depende del número de sujetos abordados, éste es el alcance del concepto de saturación teórica.

Se efectuó un registro grabado de cada entrevista. En relación al tratamiento y análisis de la información contenida en las entrevistas es mencionable el problema del lenguaje y la lectura contextualizada que debe hacerse de los datos. Se emplea un método de análisis que proviene del campo de las ciencias sociales. Se reduce la información a unidades de significado que se pueden codificar, estableciendo relaciones entre dichas unidades (agrupamientos, jerarquización, etc.). Luego, se realiza el meta-análisis que es la comparación de las distintas entrevistas. Esto permite intentar "reconstruir las categorías subjetivas de los sujetos a investigar y con ello su visión del asunto" [11].

Este análisis por unidades de significado, puede llevarse a programas de computación, por ejemplo AQUAD 3.0 [11]. La identificación de unidades de significado en las transcripciones de las entrevistas permite analizar el discurso de cada sujeto, relevando las categorías que tengan importancia para explicar la realidad que lo rodea.

4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

Uno de los objetivos de este trabajo, fue caracterizar las explicaciones que los sujetos dan al fenómeno de la flotación desde un punto de vista didáctico, es decir, desde la óptica de un profesor de física, muy diferente por cierto de la de un psicólogo, en cuanto a las variables relevantes para uno y otro.

Se pueden señalar tres grandes grupos de conjeturas que en modo alguno son excluyentes, en el sentido de que pueden aparecer simultáneamente, formando parte de la batería explicativa de un mismo sujeto: explicaciones dinámicas, explicaciones basadas en la densidad y explicaciones basadas en la oquedad y el aire.

Por el marco teórico escogido, se esperaba que el primer tipo de explicaciones tuviesen escaso significado. Para Piaget [2], estas relaciones dinámicas obstaculizan el acceso del sujeto a la explicación buscada, sin embargo, estas conceptualizaciones aparecen en las entrevistas, efectuadas a sujetos de quince años, con una frecuencia nada despreciable. Por otro lado se trata de ideas bastante correctas, porque no puede prescindirse del planteo de condiciones de equilibrio entre fuerzas a la hora de explicar o predecir si el cuerpo flotará o se hundirá. Es claro a los niños y adolescentes que existe una “fuerza del agua” más allá de que no puedan expresar cuál es su valor [12]. Desde su óptica de análisis, Piaget no considera que el principio de Arquímedes, no es una ley fundamental de la física, sino que se deduce de la aplicación de las leyes de la mecánica.

En el trabajo de Carretero [1], se encuentran cuatro niveles de explicación del fenómeno que nos ocupa:

Primer nivel: “... sujetos que explican la flotación aludiendo a causas desconocidas...”

Segundo nivel: “...a veces incluye lo que Piaget ha considerado ideas dinámicas, atribuyendo por parte del niño una influencia clara a la fuerza del aire, o del agua sobre la flotación, en cierta manera, estas son reminiscencias de estadios anteriores que no desaparecen fácilmente de la mente infantil”.

Tercer nivel: “...los sujetos comienzan a tener en cuenta no sólo el peso de los objetos, que siguen manteniendo en sentido absoluto, sino el peso del agua. Pero este último factor se tiene en cuenta no de forma relativa sino absoluta...”.

Cuarto nivel: “En este nivel en el que se sitúan los sujetos de las últimas edades estudiadas, aparece la explicación correcta del fenómeno de la flotación, es decir, la que se basa en la comparación de las densidades del agua y del cuerpo”.

Para los dos psicólogos citados, la explicación del fenómeno se basa en la comparación operatoria de las densidades del cuerpo y del fluido en cuestión, no conciben el problema de la flotación como una relación entre fuerzas: peso del cuerpo-empuje, es decir como una situación dinámica, que se trata estáticamente cuando se llega al equilibrio, no obstante la flotación es tanto para la física como para los sujetos entrevistados, una cuestión de fuerzas. Esta concepción debe ser contemplada e incorporada a una explicación que contextúe todas las hipótesis infantiles.

Como se ha dicho, según Piaget [2] y Carretero [1], los aspectos dinámicos tienden a desaparecer en el nivel del desarrollo en el que nos encontramos. Los resultados aquí obtenidos contradicen esta suposición.

TABLA I. Frecuencias porcentuales de aparición de los códigos dinámicos y de PV.

	P	PA	EF	PV
Serie A ($n = 22$)	77	41	41	55
Serie B ($n = 30$)	93	50	50	30

4.1. RESULTADOS COMPARATIVOS DE LA SERIE A Y B REFERIDOS A LOS ASPECTOS DINÁMICOS

Presentamos a continuación los códigos dinámicos que se elaboraron para analizar las dos series de entrevistas y el que revela la comparación de pesos y volúmenes:

P: Se emplea cuando se alude a que lo pesado se hunde o a que lo liviano flota. Ambos registran alusiones al peso del objeto, como variable relevante para explicar la flotación.

PA: Los sujetos suelen emplear expresiones del tipo “el tapón es más pesado que el agua”, estableciendo una comparación que a veces es entre sustancias y otras muchas está referida a que el cuerpo en cuestión “realiza más fuerza que el agua”; o que “el agua no lo puede sostener”, o que simplemente se hunde, circunscribiendo el peso al hundimiento, más que a lo que en física consideramos peso. Es un código que en la mayoría de los casos identifica relaciones dinámicas.

EF: Es un código estrictamente dinámico, expresa la mención explícita por parte del alumno de relaciones entre fuerzas, aplicadas a la explicación de que el cuerpo flota o se hunde. Por ejemplo, “la piedrita se hunde porque el agua no la puede aguantar arriba” o también “si el agua le hace mucha resistencia el cuerpo no se hunde”.

PV Se refiere a la comparación operatoria de los pesos de volúmenes iguales.

Cabe aclarar que en total se definieron para el análisis 13 códigos incluidos los dinámicos. A la construcción de estos códigos, se llega a partir de una primera versión de codificación que se va ajustando mediante la lectura de todas las entrevistas, esto permite relevar las explicaciones más frecuentes, que pueden o no tener correlación con la versión original que es la que el entrevistador hace en base a las respuestas esperadas. Redefinida varias veces ésta se transforma en la que será la estructura definitiva, que se aplicará al análisis de la totalidad de entrevistas. En la Tabla I se presentan los resultados porcentuales obtenidos.

El porcentaje de aparición del código peso (P): (en la serie A, 77%, y en la serie B, 93%), estaría indicando que este argumento es muy significativo a la hora de dar explicaciones del fenómeno.

El código EF no presenta diferencias significativas entre las dos series, (para la serie A, 41%, y para la serie B, 50%). Esto significa que en un alto porcentaje los sujetos entrevistados piensan el fenómeno desde un análisis dinámico que involucra relaciones entre fuerzas, contrariamente a las expectativas iniciales.

Como se ha expresado, una hipótesis fuerte de este trabajo es que la aplicación previa a la entrevista, de la secuencia sobre volumen-densidad-peso específico, a la serie A y no a la serie B, podía modificar las respuestas dadas por uno y otro grupo, en relación al fenómeno de la flotación.

Tal como se esperaba, la explicación del fenómeno en términos de comparación entre la densidad del cuerpo y la del agua, como los encontrados por Piaget en sujetos de 12 años, es poco frecuente, tanto en la serie A (9%) como en la serie B (6.6%).

Las explicaciones dinámicas aparecen menos en la serie A que en la B. Si bien *están presentes en un alto porcentaje en ambas series*; el grupo al que se había aplicado la secuencia sobre los conceptos de volumen, densidad y peso específico, recurrió menos a este tipo de explicaciones que aquel que accedió a la entrevista sin la pre-tarea mencionada. Esto podría deberse a que los sujetos de la serie A actualizan sus conocimientos frente a las preguntas del entrevistador y a la demanda de la tarea. En ella encuentran aspectos relacionados con el tema densidad-peso específico, ya que estuvieron comparando volúmenes y pesos en el laboratorio. En modo alguno se interpreta este resultado como una evolución de las hipótesis dinámicas hacia la explicación piagetiana, basada exclusivamente en la comparación de densidades.

Como se ha dicho, el planteo de fuerzas es necesario para la explicación física del fenómeno y resulta útil como punto de partida. En esto se marca una diferencia importante con el rol que los psicólogos Piaget y Carretero dan a las explicaciones dinámicas, a las que consideran de *status inferior*, o resabios del pensamiento infantil. Los datos muestran que ambos tipos de explicaciones coexisten, actualizándose según la demanda de la tarea. *Es decir, un sujeto capaz de comparar pesos de volúmenes iguales de distintas sustancias, puede simultáneamente pensar la flotación en términos de fuerzas. El desafío didáctico es entonces integrar ambos puntos de vista en un todo coherente.*

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS REFERIDOS A LA PRIMERA RESPUESTA PUESTA EN JUEGO POR LOS SUJETOS

También se analizó cuál fue la primera respuesta que los sujetos indagados dieron en la entrevista como causa o explicación del fenómeno, ya que tiene la característica de no registrar ninguna influencia del entrevistador, porque el sujeto ha efectuado las previsiones y luego las ha contrastado experimentalmente. Estos datos arrojan una abrumadora presencia de respuestas basadas en el peso, en ambas series de entrevistas, si bien en los sujetos expuestos a la secuencia de volumen (serie A) el porcentaje es menor.

Se indagó en una prueba de lápiz y papel, a una tercera serie de sujetos caracterizados con las mismas variables que los de las series A y B, que hubiesen estado expuestos a la misma secuencia. Se presentaron los objetos y se hizo responder en una tabla cada previsión, luego se contestaba por escrito sobre que base se efectuaba la misma. Los resultados, expuestos en la Tabla I, dieron valores porcentuales casi idénticos a los de la serie de entrevistas sometidas a la secuencia (serie A). Así confirmamos que las representaciones dinámicas tenían un *status propio*.

La Tabla II, muestra los porcentajes de respuestas que en primera instancia aluden al peso como causa de hundimiento o flotación del cuerpo. Es decir, corresponden al relevamiento de cuál fue en cada entrevista la primera respuesta que dio el sujeto cuando se le preguntó por primera vez: "¿Por qué algunos cuerpos flotan y otros se hunden?"

Los datos corresponden a tres series distintas, pero comparables, de sujetos de 15 años de tercer año de escuela media. En las series A y C, los sujetos habían trabajado previamente la secuencia didáctica sobre peso-volumen- densidad, en la serie B, no se

TABLA II. Frecuencia de aparición del código P como primera respuesta.

Serie A ($n = 22$)	63.0%
Serie B ($n = 30$)	83.3%
Serie C ($n = 29$)	65.5%

TABLA III. Porcentajes de respuesta positiva a la flotación por objeto, en la serie C.

Madera grande	Tapón de goma	Esfera de acero	Tiza	Vela	Limón grande	Limón chico	Palito de madera	Piedra grande	Piedra chica	Corcho
58.6	75.8	0	72.4	65.5	17.2	41.4	89.6	3.44	13.8	95.5

había trabajado con la secuencia. En ninguno de los tres casos se había tratado el tema flotación en la escuela al momento de hacer la pregunta.

Obsérvese que las series A y C, tienen valores muy similares (63% y 65.5%), mientras que en el caso de la serie B, no sometida a la secuencia de volumen, la aparición es de 83.3%.

Cuando decimos que en primera instancia se alude al peso nos referimos a respuestas del tipo:

- “Porque iban a ser más pesadas y entonces se iban a hundir...”
- “Lo menos pesado lo que podía llegar a pesar menos como madera...”
- “Claro yo pienso que es muy livianita, que no se puede hundir...”
- “El tronquito me parecía pesado para flotar...”
- “No sé, me pareció que la goma iba a flotar, iba a quedar, que no era tan pesado para bajar, en cambio la madera me pareció que tenía más fuerza, pero me quedé con la duda si iba a flotar...”

Podría pensarse que no tenemos evidencia acerca de qué significa para cada sujeto la palabra pesado, pero al menos en la primera elaboración, es decir sin mediar la interacción con el entrevistador, el sujeto parece estar recurriendo a sus explicaciones más intuitivas y básicas, y éstas lo orientan hacia el peso. El peso es el primer esquema que el sujeto actualiza, esto no quiere decir que no posea otros, sino que los dinámicos son los que primero pone en juego.

Esto se hace más evidente a partir del análisis de los datos provenientes de la prueba de lápiz y papel, efectuada a los sujetos de la serie C, en relación a las predicciones acerca de cuáles objetos flotarían.

En general, se piensa que la madera flota en el agua (los contraejemplos como el ébano no son tenidos en cuenta), sin embargo, la madera grande confunde a los sujetos porque la ven “pesada”, sólo responden que flota el 58.6%, no así al palito de madera de nogal en el que la previsión es correcta en el 90% de los casos .

Nadie cree que la esferita de acero flotará. La tiza y la vela flotan en agua, en general aquí los sujetos no cuentan con su experiencia previa y deciden porque son livianas, a

TABLA IV. Número de sujetos por edad que creen en la hipótesis del peso.

Edad	7 años $n1 = 10$	9 años $n2 = 10$	11 años $n3 = 10$	13 años $n4 = 10$	15 años $n5 = 10$	17 años $n6 = 10$	N = 60
Nº de sujetos	6	4	5	5	4	4	28

esto se deben los porcentajes de respuestas correctas del orden del 72% y 65.5%, respectivamente. En el caso de los limones, que flotan en el agua, los sujetos son nuevamente guiados por la hipótesis del peso, y predicen erróneamente en mayor proporción con el limón grande, que es “pesado”. Es notable cómo mejora el valor de la predicción para el limón pequeño (41%). *Es decir, que en los casos dudosos es el peso el que guía la predicción del sujeto.*

Por otra parte, si se analizan detenidamente los datos obtenidos en el trabajo de Carretero [2], aunque los objetivos sean distintos, se obtiene evidencia que confirma hasta qué punto los sujetos creen en la hipótesis del peso, independientemente de su edad. Es llamativo que frente a la actividad de contrastar hipótesis referidas a la flotación, a la hipótesis “Las bolas flotan porque pesan poco”, intentan verificarla el 47% de los sujetos cuyo intervalo de edades es desde 7 a 17 años, según se muestra en la Tabla IV.

Es claro que los sujetos buscan casos confirmatorios porque creen en la hipótesis del peso y es evidente que existe una distribución homogénea de los sujetos en cuanto a la edad.

Parece fundado entonces, que estas respuestas dinámicas no son reminiscencias de estadios anteriores, sino más bien un aspecto de la explicación del fenómeno, más perceptivo, que convive con otras explicaciones y que debe integrarse en un todo coherente, no espontáneamente sino a través de la enseñanza.

5. CONCLUSIONES FINALES

Si bien aquí no estamos presentando el análisis completo referido a todos los códigos, pues nos estamos centrando en los aspectos dinámicos. Los datos obtenidos ponen de manifiesto que no se observa una explicación única sino dos grandes grupos:

- (a) Respuestas centradas en los cambios, en los aspectos dinámicos que se orienta a la consideración de relaciones entre fuerzas y alcanzan mayor o menor grado de desarrollo.
- (b) Respuestas centradas en la conservación de volumen (PV), en un aspecto que podríamos denominar estático, revelador de competencias operatorias propias del estadio formal.

Los dos grupos de respuestas coexisten, la presencia de uno no implica necesariamente la ausencia del otro. Al respecto, resulta interesante considerar la Tabla V, en la que se desagregan las frecuencias de aparición de competencias para comparar operatoriamente, pesos de volúmenes iguales, codificadas como PV, y la aparición simultánea del código dinámico por excelencia EF.

TABLA V. Porcentajes de aparición conjunta de códigos estáticos y dinámicos en la serie A y la serie B.

	PV	PV sin EF	PV con EF	EF	EF sin PV	EF con PV
Serie A	12	10	2	9	7	2
%	100	83	17	100	78	22
Serie B	9	4	5	15	10	5
%	100	44	56	100	67	33

Como puede apreciarse, en la serie A la aparición del código referido a aspectos estáticos es más “pura”, en el 83% de los casos el código se presenta solo. Lo mismo parece ocurrir en la serie B en lo referido al código dinámico. Quizás la tarea previa referida a la densidad a la que fuera sometida la primera serie, hizo que al actualizar comparaciones entre pesos y volúmenes los sujetos se centraran en ese aspecto y relegaran el otro. Contrariamente, los sujetos de la serie B reflejan una aparición más pura de los aspectos dinámicos, al no tener disponibles, al menos desde la enseñanza, los aspectos estáticos.

La presencia de concepciones dinámicas tiene un alto grado de significatividad, tanto en la serie A como en la serie B. Esto es muy relevante a la hora de pensar como enseñar el tema [15]. Las diferencias obtenidas entre las respuestas de la serie A y de la serie B, son significativas para los códigos referidos a la densidad. Esto revela la efectividad de la secuencia para producir la puesta en juego de ciertas operaciones mentales en la entrevista de flotación y por consiguiente en el tratamiento didáctico del tema. Los dos aspectos detectados en las explicaciones de los sujetos son esenciales para desarrollar una secuencia didáctica con presupuestos constructivistas para flotación [15].

Parece bastante claro que el “descubrimiento de la ley”, tal como es previsto por el análisis de Piaget [2], puede no ocurrir nunca, si no se expone al sujeto a situaciones determinadas, que le demanden la utilización de su competencia operatoria y que le informen de ciertas relaciones, a las que difícilmente arribará solo.

Para comprender el fenómeno de la flotación es necesario integrar los conceptos peso, volumen y peso específico, [13, 14], si un sujeto de 15 años puede comparar mentalmente los pesos de volúmenes iguales, entonces posee las condiciones necesarias para explicar por que flotan algunos cuerpos y no otros, pero la sola competencia parece insuficiente [15]. Se requieren actividades que remitan al sujeto a los aspectos dinámicos y a los estáticos, no puede esperarse que espontáneamente el alumno “descubra”, cuáles son las variables relevantes del fenómeno, las funciones de mediación entre el alumno y el conocimiento son el ámbito específico de la labor del docente.

Se requiere plantear el problema en términos de fuerzas, tal como muchos entrevistados hacen y atribuir a la fuerza ascensional un valor equivalente al peso del fluido desplazado, primero si el cuerpo está totalmente sumergido y luego si lo está parcialmente, ya en equilibrio [16].

Para una descripción detallada de la secuencia didáctica sugerida véase la Ref. 15, se presentan aquí algunas líneas generales que pueden ser útiles sobre la base de que

se trabaja con sujetos conservadores de volumen o que están en vías de conseguir la conservación, a partir de los 11 años aproximadamente:

- 1) Proponer actividades predictivas de la flotación o hundimiento de diferentes objetos en agua, con el fin de explicitar las hipótesis de los alumnos y sus explicaciones. Se trata de partir de las ideas del alumno y de tomarlas en cuenta, intentando mostrar cómo la explicación final conjuga e integra las diferentes hipótesis en un sistema coherente, más abarcador y predictivo.
- 2) Analizar en términos de fuerzas, situaciones de equilibrio y desequilibrio, cuerpos que flotan y que se hunden, es una primera aproximación a alguna explicación, que puede aplicarse en todos los casos. Pero aún no explicamos el origen de la fuerza que hace el agua.
- 3) Se propone el análisis de fuerzas para cubitos de agua imaginarios en reposo en el interior del fluido en equilibrio. El objetivo de la actividad es dar razones que expliquen el equilibrio de los cubos de agua en agua, haciendo intervenir al peso y al empuje, insistiendo en que éste es independiente de la localización del cuerpo en el fluido. Se trata de establecer el valor del empuje en este caso, es clave analizar en términos de fuerzas como en el paso (2). Luego se extiende la idea a otros cuerpos y se conjetura acerca de lo que sucedería si se cambia el cubo de agua por el de madera. El empuje no varía, el desequilibrio se explica porque ha cambiado la fuerza hacia abajo. "La fuerza del agua" tiene el mismo valor que antes, es igual al peso que tendría un cubo idéntico pero de agua. Se trata de volver razonable y predictiva esta idea y de mostrar su potencia explicativa en todas las situaciones que continúan.

Aquí es decisiva la intervención del docente, pues es él quien introduce la información nueva, marcándola como probablemente válida y nueva.

Si es posible, se experimenta esto con un dinamómetro. Se explican asimismo las situaciones de equilibrio. Si bien el correlato teoría-experiencia es decisivo, la sola constatación empírica resulta insuficiente, debe ser posible concebir, imaginar, representar mentalmente el problema. En este sentido, no hay evidencia observacional a favor del hecho de que al cambiar el cuerpo imaginario de agua, por uno idéntico de madera o hierro, el empuje seguirá siendo el mismo, es una hipótesis "colocada" por el docente, cuya solidez se irá afirmando en el transcurso de la secuencia.

- 4) Se centra el análisis en el fluido aplicando la idea trabajada en el momento (3) de esta secuencia. Se propone la siguiente situación experimental, solicitando que se efectúe el análisis de fuerzas. El peso se mide con un dinamómetro, el volumen con un vaso graduado.

¿Por qué el mismo huevo se hunde en agua corriente y flota en agua saturada de sal?

¿Qué resultados se obtienen al comparar el peso del huevo con el peso de un volumen idéntico pero de agua y de agua con sal?

¿Cómo se explica que el hierro flote en mercurio? Se propone una experiencia y se repite el análisis anterior (3).

- 5) Se efectúa una síntesis tendiente a establecer que: *Si se compara el peso de un cuerpo, con el peso de un cuerpo idéntico en volumen, pero de agua, se puede predecir si éste flotará o se hundirá al sumergirlo en ella.*

Se generaliza a otros fluidos, porque al trabajar con solución saturada de agua con sal y luego con mercurio, se ha preparado el camino. *Además se cuenta ahora con una hipótesis que predice correctamente, en todos los casos analizados y que permite reunir la mayor parte de las explicaciones que suelen dar los estudiantes.*

- 6) Se presenta y discute la flotación de cuerpos no homogéneos, conservando el volumen total constante y variando la densidad promedio. Se solicita generar un procedimiento experimental, que permita obtener un cuerpo cuya densidad promedio es igual a la del agua, usando envases de película fotográfica, por ejemplo. *Ésta es una instancia de evaluación de la secuencia. Se está generalizando la hipótesis (5) a cualquier cuerpo y si la comprensión es correcta, los alumnos tienen que encontrar un procedimiento que supere al ensayo-error, el cuerpo en cuestión deberá pesar lo mismo que un cuerpo idéntico pero de agua.*
- 7) Finalmente se puede formalizar escribiendo matemáticamente el valor del empuje y proponer problemas y aplicaciones. La formalización no debe a nuestro juicio preceder a la conceptualización y debe estar en correlación a la edad y nivel de competencia formal de los estudiantes.

Como señalan Pozo y Carretero [16], es muy optimista suponer una tendencia espontánea del pensamiento natural a evolucionar hacia el pensamiento científico. Pensar científicamente no sería una tendencia natural humana sino un modo de explicar el mundo bajo reglas lógicas específicas, al que se arriba en base a prácticas y demandas particulares; que en primera aproximación, podrían comenzar a aprenderse en la escuela. La práctica escolar tiene un rol fundamental en la adquisición del modo de pensar científico. Si bien la escuela no tiene como finalidad formar científicos, se debe profundizar en las posibilidades de colaboración que ésta pueda efectuar, en la dirección de conseguir que los alumnos piensen científicamente en un marco y contexto determinado sobre un contenido específico.

REFERENCIAS

1. M. Carretero, "De la larga distancia que separa la suposición de la certeza", en M. Carretero y J.A. García Madruga (Eds.) *Lecturas de Psicología del Pensamiento*, (Alianza, Madrid, 1984).
2. J. Piaget, y B. Inhelder, *De la Lógica del Niño a la Lógica del Adolescente*, (Ed. Pionera, Argentina, 1976).
3. A.M. Figueroa y T. Monmany, "Una experiencia piloto para investigar sobre nociones intuitivas en Física en los primeros niveles de la educación", *Rev. de Enseñanza de la Física VIII*. Rosario, Argentina (1993) 301.
4. P. Fernández, A. Jardón, R. Laura y G. Utges, "La comprensión de la flotabilidad de los cuerpos en alumnos universitarios", *Rev. de Enseñanza de la Física VIII*. Rosario, Argentina (1993) 339.
5. J. Piaget, *La Causalidad Física en el Niño*, (Espasa Calpe, Madrid, 1934), 1927 la edición en francés.

6. J. Piaget, *La Representación del Mundo en el Niño*, (Ed. Morata, Madrid, 1983) 1933 la edición en francés.
7. J. Piaget, *Introduction a l'epistemologie genetique. II: La pensee physique*, P.U.F., París (1950). Traducción castellana: *Introducción a la epistemología genética. II: El pensamiento físico*, (Paidós, Buenos Aires, 1975).
8. J. Piaget y B. Inhelder, *El Desarrollo de las Cantidades en el Niño*, (Ed. Morata, Madrid, 1971).
9. J. Piaget, *L'équilibration des structures cognitives*, P.U.F., Paris (1975). Traducción castellana: *La equilibración de las estructuras cognitivas*, (Siglo XXI, Madrid, 1978).
10. J. Piaget y R. García, *Las Explicaciones Causales*, (Barral edit. Barcelona, 1973).
11. G.L. Huber, *Análisis de datos cualitativos con ordenadores*, (Editorial Carlos Marcelo, Sevilla, 1991).
12. C. Dibar Ure, N. Baade, C. Escudero, A. Figueroa, V. Katz, S. Krapas, R. Otero, R. Pozzo, C. Speltini, B. Toledo y G. Utges, *Revista de Enseñanza de la Física* **7** (1994) 16.
13. M.R. Otero, *Memorias de la Rev. de Enseñanza de la Física VII* Mendoza, Argentina (1991) p. 350.
14. M.R. Otero, *Memorias de la Rev. de Enseñanza de la Física VIII* Rosario, Argentina (1993) p. 37.
15. M.R. Otero, "Concepciones Dinámicas y Flotación: Una Propuesta", *Proceedings en el II Simposio en investigación y Educación en la Física*, UBA. Buenos Aires, Argentina (1994).
16. J.I. Pozo, y M. Carretero, *Infancia y Aprendizaje* **38** (1987) 35.