

# Un frasco flota en el agua y se hunde en el aceite: ¿cómo los alumnos de bachillerato explican tales hechos y qué predicen para una situación más compleja?



Alejandrina Madrigal García<sup>1</sup> y Josip Slisko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Sinaloa

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

E-mail: jslisko@cfm.buap.mx

(Recibido el 25 de Abril de 2010; aceptado el 14 de Mayo de 2010)

## Resumen

Para los fenómenos de la flotación y del hundimiento, aunque a menudo forman parte de las experiencias cotidianas de los estudiantes, no es fácil para ellos construir espontáneamente los esquemas explicativos viables. Los resultados de la investigación educativa muestran que los estudiantes sostienen sobre esos fenómenos los esquemas explicativos que son monocausales (la flotación y el hundimiento se deben a una sola causa, frecuentemente relacionada con el peso u otra propiedad del cuerpo), mientras la explicación científica es policausal (la flotación de los cuerpos se debe a la relación de las intensidades de dos fuerzas de sentidos opuestos: el peso del cuerpo y el empuje del líquido). En ese artículo reportamos (1) los esquemas explicativos que sostienen los estudiantes sobre la flotación en situaciones simples (un frasco en agua o en aceite) y (2) los esquemas predictivos y explicativos para las situaciones complejas (el mismo frasco en el agua y el aceite). Igual como los estudiantes de escuela primaria y secundaria, los alumnos de bachillerato usan básicamente los esquemas monocausales y no son capaces de elaborar los esquemas policausales, incluso, en la situación compleja. Sin embargo, cuando han conocido el comportamiento hidrostático del cuerpo en la situación compleja, se pueden notar los cambios favorables en las ideas de los estudiantes. Esos cambios, en los diseños didácticos más sofisticados y con una inversión de tiempo mayor, podrían ser la base para un desarrollo cercano a los esquemas explicativos aceptados por los científicos.

**Palabras clave:** Flotación, hundimiento, esquemas explicativos y predictivos, esquemas monocausales y policausales.

## Abstract

For the phenomena of floating and sinking, although they are parts of everyday students' experiences, it is not easy for them to construct spontaneously feasible explanatory schemes. The results of educational research show that students hold, regarding to these phenomena, explanatory schemes which are monocausal (floating and sinking are due to only one cause, frequently related to the weight or other property of the body), while scientific explanation is polycausal (floating and sinking of bodies is due to the relationship between the intensities of two opposite forces: weight of the body and buoyant force of the liquid). In this article we report (1) explanatory schemes sustained by students regarding hydrostatic behavior of small bottle in simple situation (bottle floats in water and sinks in oil) and (2) predictive and explanatory schemes of its hydrostatic behavior in a complex situation (the same bottle in water and oil). Similarly as students of primary and junior-high school, high-school students use basically monocausal schemes and are not able to elaborate polycausal schemes, even in the complex situation. Nevertheless, after they have known the hydrostatic behavior of the bottle in the complex situation, it is possible to note favorable changes in students ideas. These changes, in more sophisticated didactic designs and with major time investment, might be a base for a development toward the schemes which are nearer to explanatory schemes accepted by scientists.

**Keywords:** Historical Floating, sinking, explanatory and predictive schemes, monocausal and polycausal schemes.

**PACS:** 01.40.-d, 01.50.My, 01.50.Pa

**ISSN 1870-9095**

## I. INTRODUCCIÓN

Una de las tareas más importantes de la enseñanza de las ciencias en general, y de la física, en particular, es ayudar a los estudiantes en la construcción y la reconstrucción de los esquemas explicativos sobre los procesos naturales, lo que forma base del desarrollo de sus capacidades del

pensamiento científico [1]. La investigación educativa en la enseñanza de las ciencias ha hecho notar la importancia crucial de conocer las concepciones de los alumnos y, a su vez, ha identificado un número considerable de ideas previas y concepciones alternativas [2]. También se ha evidenciado lo complejo que es transformar estas ideas o concepciones, para lograr, mediante el llamado “cambio

conceptual”, que sean los estudiantes mismos quienes construyan y acepten mejores esquemas explicativos [3, 4, 5, 6].

Entonces, no sobra destacar una vez más: Para ayudar a los alumnos a modificar sus ideas y las acerquen a las de los científicos, mediante la construcción (y/o la reconstrucción) de esquemas explicativos, hay que (1) investigar sus preconcepciones y (2) proponer experiencias de aprendizaje adecuadas que hacen posible que al final acaben introduciendo y acomodando en su pensamiento ideas nuevas más compatibles con las ideas científicas.

## **II. EL PENSAMIENTO CAUSAL DE LOS ESTUDIANTES Y EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS**

La habilidad de adquirir el conocimiento causal y usarlo para razonar es una de las más importantes competencias cognitivas [7]. El conocimiento causal sobre el mundo, en el caso de que sea adecuado, nos sirve para (1) predecir con éxito los futuros acontecimientos; (2) determinar las verdaderas causas de los acontecimientos observados; y (3) seleccionar acciones idóneas para lograr nuestros objetivos.

Conceptualizar las experiencias pasadas y formar una visión del mundo y su funcionamiento es algo que todas las personas hacen, incluso sin darse cuenta. Esa visión es necesaria para poder vivir en este mundo. La mayoría de las personas se inclina a imaginar el mundo como un conjunto de acontecimientos que tienen mayor o menor grado de regularidad. De tal manera, la vida se organiza tomando en cuenta la regularidad de los acontecimientos o, en las palabras de di Sessa:

*“Al tratar con el mundo físico, los humanos adquieren gradualmente una elaborada noción del mecanismo, una noción sobre cómo las cosas funcionan, qué tipo de eventos son necesarios, probables, posibles o imposibles.”* [8]

Elaborar la noción del mecanismo de los acontecimientos es el núcleo del pensamiento causal o, en términos generales, el pensamiento sobre las relaciones entre las causas y los efectos. La cantidad y la calidad del pensamiento causal sobre el mundo físico que poseen los alumnos es un factor importante en el aprendizaje de la ciencia escolar [9].

Las diferencias entre el razonamiento causal común, que no involucra el análisis crítico y la verificación experimental, y el razonamiento causal en ciencias, que requiere verificación experimental, afectan negativamente el aprendizaje de la ciencia escolar. Estas diferencias se deben tomar en cuenta en la enseñanza, no solamente como un obstáculo para el aprendizaje de la física sino, también, como un recurso inicial importante con que cuentan los estudiantes [10].

La más influyente teoría sobre el origen y las fases en el desarrollo del pensamiento causal en los niños fue elaborada por Piaget [11, 12, 13]. En las fases del

pensamiento precausal, los niños explican los acontecimientos atribuyendo a las cosas propiedades de voluntad y atributos humanos. Cuando su pensamiento se vuelve causal, en las explicaciones de los acontecimientos los niños comienzan acudir a las propiedades físicas de las cosas, formulando y usando reglas empíricas sobre las influencias de esas propiedades en los acontecimientos [14]. Esas reglas se llaman los *esquemas explicativos*.

Un esquema explicativo es el conjunto de ideas de diferentes niveles de generalidades que utilizan los niños y los estudiantes para explicar un hecho o fenómeno. En principio, pueden ser de dos tipos: *esquema explicativo monocausal* y *esquema explicativo multicausal*. El significado es claro. Un esquema explicativo es monocausal si un efecto se explica conectándolo solamente con una causa. Consecuentemente, el esquema es multicausal si, para explicar un efecto, se tienen que usar dos o más causas.

Los resultados de la investigación muestran que los niños y los estudiantes, para explicar los acontecimientos en el mundo físico, suelen usar los esquemas monocausales. Además, como se verá pronto, en sus primeros esquemas explicativos como factores causales seleccionan las propiedades observables de las cosas.

Hay que destacar que la literatura de sobre el papel de la causalidad en el aprendizaje de la ciencias escolar existe otra terminología, menos obvia, sobre las formas del pensamiento causal. Se habla [15, 16, 17, 18] de una *causalidad lineal* (que sería un esquema monocausal) y una *causalidad no-lineal* (que sería un esquema multicausal).

Aparte de la mencionada diferencia que existe entre el pensamiento causal común y científico, relacionada con la ausencia o presencia sistemática de la verificación experimental, existe una más. Mientras, los esquemas explicativos de los estudiantes suelen ser monocausales, los esquemas explicativos, aceptados científicamente, son casi siempre multicausales.

Como es bien sabido, para explicar todos los casos de los fenómenos de flotación y hundimiento, desde el punto de vista científico, es necesario reconocer que en esos fenómenos intervienen dos causas, el peso del cuerpo y la fuerza de empuje que el líquido ejerce sobre ese cuerpo. En la formulación más abstracta y derivada de la relación entre las fuerzas de peso y del empuje, el cuerpo flota si su densidad es menor que la densidad del líquido y se hunda si su densidad es mayor. De tal manera, ese esquema explicativo es multicausal.

## **III. LA FLOTACIÓN Y EL HUNDIMIENTO DE LAS CUERPOS: LOS ESQUEMAS EXPLICATIVOS DE LOS NIÑOS Y ESTUDIANTES**

Sin embargo, la investigación educativa muestra que, para la mayoría de los estudiantes jóvenes, el primer esquema explicativo con respecto a la flotación y el hundimiento es de tipo monocausal [19, 20, 21, 22, 23]. La gran mayoría

de ellos, el único factor causal para la flotación o el hundimiento es el peso del objeto. La minoría menciona, dependientes de la situación, otros factores más particulares: la longitud, el material, la forma, la presencia de los huecos o el aire dentro del objeto, la manera de colocar el objeto en el agua,... etc. Algunos creen que la cantidad, el tipo y la profundidad del líquido también influyen.

Existen varias investigaciones que muestran la relación entre los diferentes grados pensamiento causal, según la teoría de Piaget, y los niveles de progreso en la comprensión conceptual de la flotación en líquidos [24]. Como el concepto de densidad es un concepto abstracto, el esquema explicativo que relaciona la flotación y el hundimiento con la relación entre las densidades del cuerpo y del líquido, lo pueden construir solamente los estudiantes que han logrado alcanzar el nivel pensamiento formal. El progreso de la comprensión conceptual (cambio conceptual) depende, también, del entorno social en el que se realizan las actividades del aprendizaje [25].

Aparte de los ya mencionados factores causales relacionados con las propiedades observables de las cosas, los estudios detallados [26] demuestran la existencia de otros marcos interpretativos que emplean los estudiantes para los fenómenos de flotación y hundimiento:

- (a) Uniformidad de los tamaños y pesos moleculares de diferentes sustancias;
- (b) La direccionalidad de la presión;
- (c) Las fuerzas externas, como gravedad, afectan la presión;
- (d) La presión afecta la densidad y
- (e) El área afecta la acción de las fuerzas externas sobre la presión.

Es obvio que estos marcos interpretativos difieren del marco conceptual científico usado para explicar los fenómenos de la flotación y del hundimiento de las cosas.

Lo que obstaculiza adicionalmente el progreso en la comprensión conceptual de la flotación y del hundimiento de las cosas es que algunos docentes y los autores de los libros de texto comparten con los estudiantes iguales o similares ideas erróneas sobre la flotación y el hundimiento de las cosas [27].

No se trata de un síndrome localizado en un solo país, sino de algo más universal. Por ejemplo, Barral [28] reporta que hay alumnos españoles que piensan erróneamente que los cuerpos ligeros flotan sobre la superficie de agua sin que tengan parte alguna sumergida en el agua. Sin embargo, un libro de texto de física publicado en México obliga a los estudiantes que usan ese libro “aprender” precisamente esa idea errónea como un hecho científico [29].

Además, el mismo libro de texto afirma erróneamente:

*“Si el peso de un cuerpo es menor al empuje que recibe, flota porque desaloja menor cantidad de líquido que su volumen.” (p. 55)*

Esa afirmación errónea se refuerza visualmente en el dibujo relacionado: el vector que representa la fuerza de empuje (E) tiene mayor longitud que el vector que representa el peso del cuerpo (P).

## IV. LA MUESTRA ESTUDIANTIL Y LA METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

En este artículo se presentan los primeros resultados de un estudio realizado a alumnos de tercer grado de bachillerato, en una de las escuelas de la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS). El objetivo de este estudio es investigar cómo esos estudiantes construyen sus esquemas predictivos y explicativos para los fenómenos de flotación y hundimiento de los cuerpos, en situaciones sencillas y situaciones complejas.

La investigación se realizó por medio de entrevistas grabadas que a continuación se describen. Fue realizada a 32 alumnos de tercer año de bachillerato cuya elección fue al azar.

Las entrevistas se realizaron formando ocho equipos de cuatro alumnos. En los primeros cuatro equipos, la parte principal del equipo para demostraciones consistió de a un frasco de plástico **opaco**. Al frasco se le agregó arena, suficiente para que apenas flotara en un recipiente con agua y se hundiera hasta el fondo al introducirlo en un recipiente con el aceite de comer.

A los otros cuatro equipos se utilizó un frasco de vidrio **transparente** que también se calibraba con arena hasta que flotara en agua y se hundiera en el aceite de comer. Estos detalles no lo sabían los alumnos porque se hacía antes de las entrevistas.

En la estructuración de las entrevistas se usaba la secuencias Predecir – Observar – Explicar [30]. De tal manera, antes de introducir los frascos en el agua y el aceite, se les preguntaba a los alumnos qué sucedería (fase de Predicción). Después de introducirlos en los líquidos, ellos pudieron observar el comportamiento del frasco (fase de Observación). Finalmente, se les preguntaba que explicaran lo observado (la fase de Explicación).

A la situación en que frasco se introduce en un solo líquido, sea ese el agua o el aceite, la nombramos como “situación sencilla”. Lo desafiante de esas situaciones es que una, el frasco flota y en la otra se hunde. De tal manera se pretende que los estudiantes examinen críticamente la idea de que los cuerpos se dividen en los que solamente flotan y los que solamente se hunden.

## V. LOS RESULTADOS PARA LAS SITUACIONES SENCILLAS

### A. Frasco dentro del agua

La primera situación sencilla, en que el frasco flota en el agua, está presentada en la Figura 1.

La mayoría de los estudiantes revela que considera que el peso del frasco es el único factor que determina si el frasco se flota o se hunde en el agua. Sin embargo, como fue encontrado en los estudios anteriores, también aparecen otros factores relacionados con el frasco. Para conocer los detalles, ver la Tabla I.



FIGURA 1. El frasco flota en el agua.



FIGURA 2. El frasco se hunde en el aceite.

TABLA I. Los esquemas de los estudiantes comentados.

\* Flota porque tiene poco peso.  
\* Se hunde porque es pesado.  
**Comentario:** Se nota que se necesita aclarar qué es flotar y hundir. Los estudiantes ajustan su esquema explicativo según lo que creen ver (flotar – poco peso; hundir – pesado).

\* Flota porque tiene aire adentro.  
\* Flota porque es de plástico.  
\* Los objetos dentro del agua flotan o se hunden debido a su forma.  
\* Flota porque esta cerrado y no le entra agua.  
**Comentario:** Estos esquemas son monocausales, usando un factor diferente de peso.

\*El peso del frasco y el aire que contiene dentro lo mantienen en la superficie del agua.  
**Comentario:** Esto es un esquema formalmente multicausal, aunque ambos factores se refieren al frasco.

\*Los objetos que flotan al ras de la superficie del agua quedan hasta ahí, no salen fuera del agua porque el agua les aplica una fuerza hacia abajo.  
**Comentario:** Esto es un esquema policausal, aunque no muy elaborado. Se podría inferir que el estudiante piensa que el frasco, por su naturaleza, debería subir más, pero el agua le aplica una fuerza hacia abajo.

### B. Frasco dentro de aceite

La segunda situación sencilla, en que el frasco se hunde en el aceite, está presentada en la Figura 2.

Es muy importante destacar que los estudiantes en sus esquemas cambian el enfoque: ahora se fijan en las propiedades del aceite, mientras antes se fijaron en las propiedades del frasco. Sin embargo, no llegan a determinar que el factor importante es la magnitud de la fuerza de empuje que ejerce el aceite sobre el frasco. Para conocer los detalles, ver la Tabla II.

TABLA II. Los esquemas de los estudiantes comentados.

\* Debido al peso del aceite, éste hace que los objetos se hundan en él.  
\* Los objetos se hunden en aceite porque se resbalan.  
**Comentario:** Estos esquemas no son suficientemente elaborados para poder comprenderlos. Obviamente, no se tiene idea de la fuerza de empuje.

\* Si un objeto flota en agua y se hunde en aceite es porque el agua es menos pesada que el aceite.  
\* Es más grueso y más pesado el aceite que el agua, por eso los objetos flotan en agua y se hunden en aceite.  
**Comentario:** Es preocupante que en el último grado de la preparatoria todavía hay estudiantes que no tienen claridad sobre los valores de la densidad de agua y aceite.

\* El aceite es más ligero que el agua, el aceite flota en agua, por eso los objetos que flotan en agua se hunden en aceite.  
**Comentario:** Esto no es un esquema explicativo porque, aparte de no ser universal, no proporciona cómo se relacionan estas dos situaciones.

## VI. LOS RESULTADOS PARA LA SITUACIÓN COMPLEJA

La situación compleja consistió, en que primeramente se introducía el frasco en alguno de los dos líquidos, ya sea agua o aceite. Si el líquido era aceite se le preguntaba que pasaría si aparte del aceite se le agregaba agua o viceversa. Después, estando el frasco dentro de la mezcla agua-aceite, se les decía que explicarían lo observado. También se les pedía que dibujaran sus respuestas antes y después de realizado el experimento. La situación compleja en que el frasco está dentro de mezcla de agua y aceite se presenta en la Figura 3.



**FIGURA 3.** El frasco se levanta en el agua debido a la presencia del aceite.

### A. Las predicciones

No es fácil, incluso para los estudiantes de la carrera de física, predecir lo que va a ocurrir en la situación compleja. La predicción más popular es que el frasco, si está sobresaliendo, se va a hundir, o si, está al ras, se quedará así. De tal manera, esos estudiantes usan un esquema general: poniendo algo encima de los objetos que flotan, estos deben hundirse más. Esta predicción también fue presente entre los estudiantes de bachillerato.

Cabe destacar que varios alumnos de ese último nivel no pudieron predecir lo que sucedería, es decir, fue notable en ellos la falta de habilidad de elaborar más sus esquemas explicativos. Ellos pueden decir *ad hoc* dónde puede quedar el frasco pero no pueden confeccionar los argumentos respaldar su respuesta. Los detalles de sus predicciones se dan en la Tabla III.

**TABLA III.** Predicciones comentadas.

\* Un frasco que está en una mezcla de agua y aceite queda entre los dos líquidos, porque agua y aceite no se mezclan.

\* El frasco queda en medio. debido a la cantidad de agua y aceite y a su densidad

**Comentario:** Aunque esas son formalmente las predicciones “correctas”, tienen poco elaborada su estructura causal.

\* El peso del aceite mantiene al frasco abajo en el agua.

\* Si un objeto está dentro del agua y está flotando, al agregarle aceite, no pasa nada porque agua y aceite no se mezclan.

\* El agua queda abajo y el aceite arriba, por eso el frasco flotará únicamente en el agua.

\* Al mezclar agua y aceite, se pone más denso el aceite y no va a permitir que, al estar revuelto con agua, el frasco suba.

**Comentario:** Estos son predicciones intuitivas según las cuales el frasco que flota en el agua no puede subir al agregar el aceite.

\* El agua queda arriba y el aceite abajo y el frasco dentro del agua sin tocar aceite.

**Comentario** Aunque no tiene una estructura causal, esta elaboración muestra cómo los estudiantes en la elaboración de una predicción pueden conjugar creencias erróneas (“el agua queda arriba”), que se deben a la falta de las experiencias prácticas (o a la aplicación de la idea de que aceite es más denso que el agua), con lo observado anteriormente (el frasco flota en la superficie del agua y por eso no puede “tocar aceite” que debería estar por debajo del agua).

### B. Las explicaciones

El hecho contra-intuitivo “el frasco, al agregar el aceite, no se hunde más sino sube” no se presta a una explicación fácil de construir. En la primera vista es misterioso cómo el aceite, cuyo peso actúa hacia abajo, hace que aumente la fuerza de empuje de agua. Para comprenderlo, hay que usar el Principio de Pascal que dice que la presión externa (en este caso, la que ejerce el aceite sobre la superficie del agua que no ocupa el frasco) se transmite a todas direcciones a través del líquido, llegando así, también, aumentar la presión sobre el fondo de frasco. Como la presión del aceite sobre la tapa del frasco es menor que la presión sobre la superficie del agua, aparece una fuerza adicional arriba que levanta el frasco. El equilibrio se reestablece cuando el peso del frasco se iguala a la fuerza de empuje.

Tomando en cuenta la alta demanda conceptual de la explicación, no se esperaba que los estudiantes del bachillerato la logren construir. Lo más importante fue conocer cómo serán sus esquemas explicativos para esta situación. Los detalles se prestan en la Tabla IV.

**TABLA IV.** Explicaciones comentadas.

\* Por el peso del aceite el frasco no pudo salir de entre ambos líquidos.

\* El peso del agua es mayor que el aceite y lo empuja para arriba.

\* El recipiente tendió a subir, por la misma fuerza que empujó el agua al frasco hizo que este penetrara al aceite.

**Comentario:** Al ver subir el frasco, los estudiantes se dan cuenta de la necesidad de existir una fuerza de agua que actúa hacia arriba. En otras palabras, finalmente la conceptualización de la situación compleja les permite a los estudiantes elaborar una concepción encaminada hacia un esquema policausal. Sin embargo, las conceptualizaciones iniciales de los estudiantes son incoherentes. Por un lado, el peso del agua puede empujar arriba o la fuerza de empuje de agua aumento de manera misteriosa (obviamente un ajuste según lo observado).

\* Si cambia la densidad del líquido, también cambia la flotabilidad del objeto dentro de él.

**Comentario:** Es importante notar la flexibilidad que tienen los estudiantes con respecto a modificar sus esquemas. Mientras antes la flotabilidad del objeto fue su característica intrínseca, ahora se permite la posibilidad de que la misma puede depender, también, de la densidad del líquido, lo que sería un buen punto de partida para elaborar un esquema multicausal del fenómeno.

## VII. CONCLUSIONES E IMPLICACIONES PARA ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN

Los resultados iniciales de esta investigación muestran que los estudiantes de bachillerato, igual como los estudiantes de escuela primaria y secundaria, comienzan la conceptualización del fenómeno de flotación con los esquemas monocausales, siendo el peso del objeto el factor que determina si éste flota o se hunde. Tales esquemas pueden cambiar al extender sus experiencias, presentándoles a ellos diferentes situaciones desafiantes:

(1) el frasco flota en agua y se hunde en el aceite y,



(2) el frasco que flota en el agua sube al agregar el aceite.

Las modificaciones detectadas, aunque parezcan modestas, son favorables y en buena dirección (se introducen los factores relacionados con el líquido). Por eso, en los diseños didácticos más sofisticados y con una inversión de tiempo mayor, esos cambios pueden ser la base para un desarrollo conceptual hacia los esquemas más parecidos a los científicos que son esquemas policasuales.

Tomando en cuenta los resultados de investigación educativa, se concluye que la conceptualización de la flotación y el hundimiento es un proceso complejo cuyo acercamiento a la conceptualización científica depende fuertemente del nivel cognitivo de los niños y alumnos, pues requiere el manejo de los patrones del razonamiento formal. Esos patrones no los promueve la enseñanza tradicional y por eso, incluso, los estudiantes universitarios, terminando sus primeros cursos de física, todavía revelan dificultades conceptuales en la comprensión de la fuerza de empuje, responsable, junto con la fuerza gravitacional, de los fenómenos de la flotación y del hundimiento [31].

Para inducir el cambio conceptual en los temas científicos difícil de comprender, muchas veces, es indispensable lograr que los estudiantes desglosen una idea vaga en varias ideas más precisas. Por ejemplo, en la mecánica, para pasar de la concepción aristotélica “un movimiento implica una fuerza” a la newtoniana “una aceleración implica una fuerza neta”, se tienen que lograr formulaciones de diferentes concepciones intermedias, que se prestan, cada vez más, a la verificación experimental [32].

Para el caso de la flotación, los estudiantes deben tener las oportunidades de concluir que solamente una característica del cuerpo (el peso) no basta para explicar por qué los cuerpos flotan o se hunden y que es necesario considerar la influencia del líquido (la fuerza de empuje). El cuerpo flota si su peso es igual a la fuerza de empuje y se hunde si su peso es mayor que la fuerza de empuje. Para llegar a la formulación más abstracta, los estudiantes deben comprender que el peso depende del volumen y de la densidad del cuerpo y que la fuerza de empuje depende del volumen de la parte sumergida del cuerpo y de la densidad del líquido.

Todos estos cambios requieren una didáctica muy elaborada, en que siempre se parte de los esquemas explicativos de los estudiantes, desafiándolos experimentalmente de tal manera que su reconstrucción permite desarrollo hacia el esquema explicativo científico [33, 34]. Sin duda alguna, para el diseño de esas didácticas es esencial conocer las preconcepciones de los estudiantes y ayudarles de cambiarlos al reconocer, a través de una verificación experimental contundente, que no funcionan fuera de la situación en que fueron formulados [35].

Las investigaciones recientes exploran los efectos de diferentes elementos del entorno en que los estudiantes aprenden sobre los fenómenos de la flotación y el hundimiento. Esos elementos son, por ejemplo, el uso de la computadora, el tipo de programa o la presencia de la cognición social.

En una de tales investigaciones se muestra que es posible lograr, mediante las simulaciones computacionales, que la comprensión de la flotación tenga sentido, que sea sistemática y que esté basada en el aprendizaje reflexivo por descubrimiento [36].

En otra investigación se examinaron los efectos de dos diferentes programas en el aprendizaje estudiantil de la flotación [37]. Aunque ambos programas se realizaban con el diseño didáctico constructivista, su diferencia radicaba en las secuencias de aprendizaje y en el grado de apoyo que proporcionaba el maestro (alto versus bajo). Con respecto a la comprensión de los conceptos de densidad y de la fuerza de empuje, en los post-tests ambos grupos fueron mejores que un grupo de control sin la instrucción recibida. Sin embargo, un año después, el grupo con el apoyo alto fue mejor que el grupo con el apoyo bajo con respecto a la reducción de las concepciones alternativas y apoderamiento de las explicaciones científica. De tal manera, el apoyo que reciben los estudiantes de primaria dentro del entorno de aprendizaje constructivista promueve y refuerza el cambio conceptual en el dominio de la física escolar.

Finalmente, hay investigaciones cuyos resultados muestran que la estrategia didáctica que logra crear en el aula el conflicto sociocognitivo mejora la estructuración de la argumentación dialógica de los estudiantes sobre la flotación y el hundimiento [38].

Todos esos resultados son prometedores y muestran el camino correcto que seguir: examinar en experimentos educativos bien diseñados la eficacia de diferentes enfoques didácticos. Por eso, todavía quedan por realizarse las investigaciones que examinan los efectos de diferentes secuencias de aprendizaje cuyo objetivo sería ayudar a los estudiantes mejorar sus esquemas explicativos y predictivos para las situaciones complejas.

## REFERENCIAS

- [1] Zimmerman, C., *The development of scientific thinking skills in elementary and middle school*. Developmental Review **27**, 172 – 223 (2007).
- [2] Pfundt, H. y Duit, R., *Bibliography - Students alternative frameworks and science education* (Institute for Science Education, Kiel, 2006).
- [3] Driver, R. *Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias*. Enseñanza de las Ciencias **6**, 109 – 120 (1988).
- [4] Pozo, J. I., *Las ideas del alumnado sobre la ciencia: de dónde vienen, a dónde van... Y mientras tanto qué hacemos con ellas*. Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales **III**, 18 – 26 (1996).
- [5] Campanario, J. M. y Moya, A., *¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuesta*. Enseñanza de las Ciencias **17**, 179 – 192 (1999).
- [6] Picquart, M., *¿Qué podemos hacer para lograr un aprendizaje significativo de la física*. Latin American Journal of Physics Education **2**, 29 – 36 (2008).
- [7] Waldmann, M. R., *Causal thinking*, en Glatzeder, B., Goel, V. y Mueller, A. (editores), *Towards a Theory of*

*Thinking, Building Blocks for a Conceptual Framework* (Springer, Berlin, 2010), pp. 123 – 134.

[8] diSessa, A. A., *Toward an epistemology of physics*. *Cognition and Instruction* **10**, 105 – 225 (1993).

[9] Pozo, J. I., *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal* (Visor, Madrid., 1987).

[10] Benson, U., *Some features of causal reasoning: common sense and physics teaching*. *Research in Science and Technological Education* **22**, 114 – 125 (2004).

[11] Piaget, J., *The Child's Conception of Physical Causality*. (Littlefield, Adams and Company, Totowa, NJ, 1960).

[12] Piaget, J., *Understanding Causality*. (W. W. Norton and Company, New York, 1974).

[13] Fuson, K., *Piagetian stages in causality: Children's answer to "why?"*, *The Elementary School Journal* **77**, 150 – 158 (1976).

[14] Mogar, M., *Children's causal reasoning about natural phenomena*. *Child Development* **31**, 59 – 65 (1960).

[15] Rozier, S. y Viennot, L., *Students' reasoning in thermodynamics*. *International Journal of Science Education* **13**, 159 – 170 (1991).

[16] Viennot, L., *Temps et causalité dans les raisonnements des étudiants*, *Didaskalia* **1**, 13–27 (1993).

[17] Grotzer, T. A., *Learning to Understand the Forms of Causality Implicit in Scientifically Accepted Explanations*. *Studies in Science Education* **39**, 1 – 74 (2003).

[18] Perkins, D. N. y Grotzer, T. A., *Dimensions of causal understanding: the role of complex causal models in students' understanding of science*. *Studies in Science Education* **41**, 117 – 166 (2005).

[19] Biddulph, F. y Osborne, R. *Pupils' ideas about floating and sinking*. *Research in Science Education* **14**, 114 – 124 (1984).

[20] Smith, C., Carey, S. y Wisner, M., *On differentiation: A case study of the development of the concepts of size, weight, and density*. *Cognition* **21**, 177 – 237 (1985).

[21] Halford, G. S., Brown, C. A., y Thompson, R. M. *Children's concepts of volume and flotation*. *Developmental Psychology* **22**, 218 – 222 (1986).

[22] Kohn, A. S., *Preschoolers' reasoning about density: Will it float?* *Child Development* **64**, 1637 – 1650 (1993).

[23] Gibson, J., *Floating and sinking again*. *Primary Science Review* **46**, 10 – 11 (1997).

[24] Howe, C., *Conceptual Structure in Childhood and Adolescence : The Case of Everyday Physics*. (Routledge, London, 1998).

[25] Havu-Nuutinen, S., *Examining young children's conceptual change process in floating and sinking from a social constructivist perspective*. *International Journal of Science Education* **27**, 259 – 279 (2005).

[26] Bloom, J. W., *Discourse, cognition, and chaotic systems: An examination of students' argument about density*. *The Journal of the Learning Sciences* **10**, 447 – 492 (2001).

[27] Mazzitelli, C., Maturano, Graciela Núñez, C. G. y Pereira, R., *Identificación de dificultades conceptuales y procedimentales de alumnos y docentes de EGB sobre la flotación de los cuerpos*. *Revista Eureka de Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* **3**, 33 – 50 (2006).

[28] Barral, F. M., *¿Por qué flotan los cuerpos que flotan? Concepciones de los estudiantes*. *Enseñanza de las Ciencias* **8**, 244 – 250 (1990).

[29] Pérez Montiel, H., *Física 2 para Bachillerato General* (Publicaciones Cultural, México, D.F., 2004), Figura 1.18a, página 55.

[30] White, R. y Gunstone, R., *Probing Understanding* (The Falmer Press, London, 1992).

[31] Loverude, M. E., Kautz, C. H. y Heron, P. R. L., *Helping students develop an understanding of Archimedes principle. I. Research on student understanding*, *American Journal of Physics* **71**, 1178 – 1187 (2003).

[32] Dykstra, D. I. Jr, Boyle, C. F. y Monarch, I., *Studying conceptual change in learning physics*. *Science Education* **76**, 615 – 652 (1991).

[33] Jackson, D. P., Laws, P. W. y Franklin, S. V., *Explorations in Physics. An Activity – Based Approach to Understanding the World*. (John Wiley and Sons, New York, 2003). La secuencia se presenta en la Unidad 4 "Buoyancy, Pressure, and Flight".

[34] Heron, P. R. L., Loverude, M. E., Shaffer, P. S. y McDermott, L. C., *Helping students develop an understanding of Archimedes principle. II. Development of research-based instructional materials*, *American Journal of Physics* **71**, 1188 – 1195 (2003).

[35] Gang, S., *Removing preconceptions with a "learning cycle"*. *The Physics Teacher* **33** (6), 346 – 354 (1995).

[36] Zhang, J., Chenw, Q., Sunw, Y. y Reidz, D. J., *Triple scheme of learning support design for scientific discovery learning based on computer simulation: experimental research*. *Journal of Computer Assisted Learning* **20**, 269 – 282 (2004).

[37] Hardy, I., Jonen, A., Moeller, K. y Stern, E., *Effects of instructional support within constructivist learning environments for elementary school students' understanding of "floating and sinking"*, *Journal of Educational Psychology* **98**, 307–326 (2006).

[38] Skoumios, M., *The effect of sociocognitive conflict on students' dialogic argumentation about floating and sinking*. *International Journal of Environmental and Science Education* **4**, 381-399 (2009).