

APRENDIENDO HIDROSTÁTICA MEDIANTE ACTIVIDADES DE INVESTIGACIÓN ORIENTADA: ANÁLISIS DE UNA EXPERIENCIA CON ALUMNOS DE 15-16 AÑOS

GARCÍA-CARMONA, ANTONIO

Área de Ciencias. Colegio Luisa de Marillac de Sevilla
agarciaa@cofis.es

Resumen. Este artículo hace una propuesta para enseñar nociones de hidrostática en consonancia con el modelo de aprendizaje por investigación. Se describen las características fundamentales de este modelo instructivo en la enseñanza de las ciencias. Luego, se presenta el conjunto de actividades que componen la propuesta, junto con algunas orientaciones didácticas y metodológicas para su implementación. La eficacia de la propuesta fue evaluada mediante un estudio de caso con un grupo reducido de alumnos ($n=19$) de 4º de ESO (edad 15-16). Se investigó la evolución de las ideas de los alumnos sobre el dominio científico, y los niveles de comprensión logrados con la propuesta de enseñanza. También se analizaron las actitudes desarrolladas por los alumnos hacia el aprendizaje de la hidrostática, y de las ciencias en general. Se observó un cambio conceptual favorable en la mayoría de las ideas iniciales de los alumnos, aunque no fue posible lograrlo en todas. Asimismo, se detectaron otras ideas alternativas cuando concluyó el proceso de aprendizaje. Otro resultado significativo del estudio fue el alto grado de motivación de los alumnos durante el proceso de enseñanza-aprendizaje. Inicialmente poco atraídos por el aprendizaje de las ciencias, los alumnos manifestaron que el aumento de su interés fue debido, fundamentalmente, al método de enseñanza-aprendizaje empleado.

Palabras clave. Aprendizaje por investigación, autorregulación del aprendizaje, cambio conceptual, concepciones alternativas, hidrostática.

Learning hydrostatic through inquiry-based activities: Analysis of an experience with 15-16 year-old students

Summary. This paper proposes a teaching sequence to approach hydrostatic contents in harmony with the inquiry-based learning model. Fundamental characteristics of the model in science education are described. Then, the activities that make up the teaching sequence are shown along with methodological and didactic orientations for their performance. Efficacy of the teaching sequence was evaluated by means of a case study with 19 secondary education students aged 15-16. Evolution of the students' ideas and their understanding levels about the topic were researched. Also the developed attitudes by students towards hydrostatic learning and, in general, science learning. A favourable conceptual change was observed in the most of the students' prior ideas (it was not possible in all cases). Also, other alternative conceptions were detected after finishing the learning process. Another significant result was the high degree of motivation obtained by students during the experience. They were not very motivated initially, but they then argued that the increase in their interest was principally due to the performed teaching/learning method.

Keywords. Alternative conceptions, conceptual change, hydrostatic, inquiry-based learning, self-regulation of learning.

INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DE LA CUESTIÓN

Uno de los principales obstáculos en la enseñanza de las ciencias lo constituyen las ideas intuitivas de los alumnos. Éstas son fruto de la experiencia cotidiana y, generalmente, no coinciden con las ideas científicas; entre otros motivos, porque el razonamiento científico no parece ser la forma natural con que las personas afrontamos los problemas diarios (Pozo y Gómez Crespo, 2002). Además,

muchas de las ideas intuitivas se desarrollan a edades muy tempranas, por lo general, antes de que se inicie el aprendizaje de la ciencia (Rodríguez-Moneo y Aparicio, 2004), de modo que suelen estar fuertemente arraigadas en los alumnos. Por ello, aun cuando se establecen estrategias de enseñanza orientadas a provocar el cambio conceptual, no siempre se logra el objetivo (Duit, 1999).

Pero el cambio conceptual no debe concebirse como una mera sustitución de las ideas intuitivas, o cotidianas, por las científicas. Caravita y Hallden (1994) consideran, incluso, que ambas pueden ser útiles según los contextos y metas propuestas; que de lo que se trata es de hacerlas coexistir, y aprender a activarlas en función de las necesidades de cada situación. Consecuentemente, para que el aprendizaje de las ciencias sea eficiente, el cambio conceptual debe ir acompañado de un cambio metodológico y actitudinal, que vaya más allá del modo cotidiano en que las personas abordamos nuestros problemas, y se aproxime al trabajo que realizan los científicos, obviamente, teniendo en cuenta los límites de la actividad escolar con respecto a la de los científicos (Reif y Larkin, 1991).

Así pues, las tendencias actuales en enseñanza de las ciencias centran la atención en el *modo de aprender ciencias*, y propugnan el *aprendizaje por investigación* como un modelo de aprendizaje eficaz (Akkus, Gunel y Hand, 2007; Cañal, 2007; Flick y Ault, 1996; Furió et al., 2003). Tal modelo fomenta la organización de los alumnos en grupos de trabajo a fin de abordar el estudio de situaciones problemáticas de interés, partiendo de sus propias ideas, en interacción permanente con los otros grupos, y bajo las orientaciones del profesor. Además, lleva inherente un proceso de regulación y evaluación permanente del aprendizaje, donde el alumno participa activamente a través de prácticas de autoevaluación y autorregulación, coevaluación, etc. En definitiva, se trata de un modelo con el que se intenta que los alumnos *aprendan a aprender ciencias*.

Identificados con la filosofía didáctica de este modelo, diseñamos una propuesta de enseñanza sobre hidrostática para 4º de ESO (15-16 años). Y para valorar su eficacia, nos hicimos las preguntas que siguen.

1) En relación con el aprendizaje de nociones de hidrostática:

– ¿Qué conocimiento tienen los alumnos al iniciar el proceso de enseñanza-aprendizaje?

– ¿Qué niveles de conocimiento alcanzan los alumnos sobre el tema al finalizar el proceso de enseñanza-aprendizaje?

– ¿Qué evolución experimentan las ideas de los alumnos con la secuencia de enseñanza, y cuáles son resistentes al cambio?

2) En relación con el proceso de enseñanza-aprendizaje desarrollado y la adquisición de actitudes:

– ¿Favorece la propuesta un clima de cooperación entre alumnos y prácticas de autorregulación del aprendizaje?

– ¿Qué actitudes desarrollan los alumnos hacia la hidrostática y su aprendizaje, en el marco del modelo de aprendizaje por investigación?

En este trabajo describimos la propuesta diseñada y su implementación en el aula. Asimismo, mostramos los resultados y conclusiones más significativas de la experiencia.

APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS COMO INVESTIGACIÓN ORIENTADA

A continuación, exponemos las principales características del modelo de aprendizaje de las ciencias basado en la investigación orientada.

- *La ciencia escolar se construye partiendo de las ideas de los alumnos.* Normalmente, al comienzo los alumnos ya suelen tener algunas ideas (adecuadas o no) sobre el tópico que se va a enseñar; de modo que el propósito es conocerlas y concebirlas como punto de partida en el nuevo aprendizaje. Cuando tales ideas son inadecuadas (o alternativas), el objetivo es intentar que, por un lado, los alumnos tomen conciencia de sus inexactitudes y/o limitaciones (hipótesis de partida, que deben ser puestas a prueba), y, por otro, vean la necesidad de adquirir otras (científicas) que explican mejor las situaciones analizadas. Si bien, no siempre es necesario generar un conflicto cognitivo; a veces las ideas incorrectas son debidas a una «laguna de información», y pueden solventarse con simples aclaraciones, o, por ejemplo, mediante el uso de analogías. Otras veces, lo que se busca es organizar o relacionar aprendizajes dispersos, y no la corrección de ideas. En cualquier caso, no se trata de que el conocimiento científico sustituya al intuitivo del alumno, sino de que los haga coexistir, con cierta jerarquía, y comprenda que el primero es, en muchos casos, más apropiado para describir y/o comprender determinados fenómenos (Gómez Crespo, Pozo y Gutiérrez, 2004).

- *Los alumnos aprenden sobre ciencia de forma significativa.* Se propicia que los alumnos se impliquen activamente en el proceso de aprendizaje, mediante el diseño de actividades adecuadas para ello, y con las orientaciones pertinentes del profesor. Se intenta que los alumnos aprendan a gestionar sus errores, dificultades y progresos durante el aprendizaje (García-Carmona, 2005; Schraw y Brooks, 1999), lo cual les ayuda a afianzar mejor los conocimientos y, consecuentemente, poder aplicarlos, con sentido más crítico, a nuevas situaciones.

- *Los alumnos aprenden que la ciencia es un proceso dinámico, cooperativo y acumulativo.* Con el fin de transmitir una visión realista de la ciencia, se intenta trasladar a los alumnos la idea de que la ciencia, generalmente, progresa gracias al trabajo de muchas personas (científicos), que suelen cooperar e intercambiar ideas y resultados. Se trata, así, de derrumbar el tópico de que el avance científico sólo se debe a grandes brotes de inspiración de algunos «genios» (García-Carmona, 2002), y fomentar, en cambio, que el verdadero progreso científico suele lograrse paso a paso, superando obstáculos y errores previos. En este sentido, se fomenta el aprendizaje cooperativo, haciendo ver a los alumnos que el intercambio y la discusión de ideas, en un clima de respeto y diálogo, favorecen la comprensión de los fenómenos y situaciones analizadas.

- *Los alumnos aprenden ciencia escolar de forma crítica y aproximada al trabajo de los científicos.* A diferencia de la enseñanza habitual, que suele contribuir a que los alumnos se conviertan en consumidores acríticos de información, el aprendizaje mediante investigación orientada impulsa

en los alumnos una serie de actitudes y destrezas que les permiten cuestionar y analizar situaciones de su entorno, relacionadas con la ciencia (Campbell y Lubben, 2000).

Pero la puesta en práctica de este modelo didáctico no está exenta de dificultades. Ello requiere un profundo cambio de la práctica habitual del profesorado, que, en general, no está suficientemente preparado o motivado para llevarla a cabo en el aula (Wenning, 2005a). Además, exige el diseño de una secuencia de actividades apropiadas, que, a diferencia de los habituales libros de texto, se concibe como un material en revisión permanente, conforme a las características del contexto donde va a ser implementado. A ello hay que añadir el hecho de acostumbrar al alumnado a la nueva metodología. Supone un cambio significativo respecto a la enseñanza habitual, que precisa del profesor una importante labor de planificación y motivación del alumnado.

Todos estos aspectos suelen provocar cierta resistencia en el profesorado hacia el planteamiento didáctico descrito (Wenning, 2005b). Sin embargo, los resultados satisfactorios de las investigaciones citadas incitan a seguir profundizando en el diseño y evaluación de nuevas propuestas de enseñanza enmarcadas en dicho modelo.

UNA SECUENCIA DE ENSEÑANZA PARA «APRENDER HIDROSTÁTICA INVESTIGANDO»

Teniendo en cuenta lo anterior, diseñamos una secuencia de actividades dedicadas al estudio de nociones de hidrostática en 4º de ESO (edad 15-16); concretamente, sobre la ley fundamental de la hidrostática y el principio de Arquímedes, sin entrar en las aplicaciones de este último.

La comprensión de los alumnos sobre fenómenos hidrostáticos ha sido objeto de numerosos estudios en los últimos años, los cuales han constituido un referente importante en el diseño de nuestra secuencia de enseñanza. La tabla 1 muestra una síntesis de algunas de las concepciones alternativas más frecuentes de alumnos, en relación con el tópico.

Al introducir cada concepto hacemos una exploración de las ideas de los alumnos; luego, proponemos actividades para que contrasten esas ideas (comprobación de hipótesis), y, por último, planteamos otras dirigidas a que revisen y reflexionen sobre lo aprendido (aplicación de lo aprendido a nuevas situaciones).

Tabla 1

Síntesis de las ideas alternativas más frecuentes relacionadas con la ley fundamental de la hidrostática y el principio de Arquímedes¹.

CONCEPCIONES ALTERNATIVAS	REFERENCIAS DE LA LITERATURA
No se asume la existencia de una fuerza ascensional (empuje) en los fluidos.	Mazzitelli y otros (2006)
El volumen de líquido desplazado por un cuerpo sumergido depende de la forma, la masa o la densidad del sólido, y no de su volumen.	Fernández (1985, 1987); Loverude, Kautz y Heron (2003); Mazzitelli y otros (2006)
No se reconoce el papel del volumen desplazado en la determinación del empuje en un fluido.	Loverude, Kautz y Heron (2003)
No se establece relación entre el principio de Arquímedes y el principio fundamental de la hidrostática.	Kariotogloy, Koumaras y Psillos (1993); Mazzitelli y otros (2006)
La presión sobre un cuerpo sumergido en un líquido depende de la cantidad (volumen) de líquido que dicho cuerpo tiene encima.	Besson (2004); Psillos y Kariotogloy (1999)
La presión hidrostática ejercida por un líquido, en el fondo del recipiente que lo contiene, depende de la forma de dicho recipiente (paradoja hidrostática).	Fontana y Di Capua (2005)
Se cree que la profundidad a la que se encuentra un objeto en un fluido influye en el empuje que recibe de este último.	Loverude, Kautz y Heron (2003)
Los conceptos de masa, volumen, peso y densidad son considerados como sinónimos.	American Institute of Physics (AIP) (1998); Loverude, Kautz y Heron (2003); Stavy (1990)
La presión es un término sinónimo de fuerza.	AIP (1998); Besson (2004); Kariotogloy, Koumaras y Psillos (1993); Maturano y otros (2005); Psillos y Kariotogloy (1999)
La presión en los líquidos sólo actúa verticalmente y hacia abajo.	AIP (1998); Kariotogloy, Koumaras y Psillos (1993)

Partiendo de que el concepto de densidad se ha estudiado en cursos anteriores, comenzamos abordando el *concepto de presión*. Para el nivel 12-14 años, Kariotogloy, Koumaras y Psillos (1993) proponen introducir la presión como un concepto primario, sin hacer uso del concepto de fuerza, a fin de evitar que los alumnos confundan ambos conceptos. Nosotros compartimos este posicionamiento si la presión se introduce cuando aún no han sido abordados el concepto de fuerza y la interacción gravitatoria. Si bien, nuestra propuesta está dirigida a alumnos de 15-16 años, que ya han estudiado esos contenidos. Por tanto, introducimos la presión como una fuerza por unidad de superficie ($p=F/S$), comenzando su análisis con objetos sólidos. Después extendemos el concepto al interior de los líquidos (*presión hidrostática*). Procuramos que los alumnos entiendan que los líquidos ejercen fuerzas sobre las paredes de sus recipientes y sobre los cuerpos sumergidos en ellos; por tanto, que *en el interior de los líquidos existen presiones*. En este contexto, pretendemos también que los alumnos comprendan por qué en los fluidos suele ser más útil manejar el concepto de presión que el de fuerza.

Para aclarar la diferencia entre fuerza y presión, intentamos poner de manifiesto que las fuerzas son ejercidas a lo largo de una sola dirección (magnitud vectorial), mientras que la presión en un líquido es ejercida por igual en todas las direcciones (magnitud escalar).

Por último, se hace alusión a la dimensión Ciencia-Tecnología-Sociedad en torno al concepto de presión. Se pretende que los alumnos valoren la importancia del mismo en aspectos de la vida cotidiana, como los relacionados con la salud. La tabla 2 muestra un fragmento de la secuencia de actividades destinada al concepto de presión.

Respecto al *principio fundamental de la hidrostática* (Tabla 3), pretendemos que los alumnos entiendan que la presión hidrostática no es una propiedad de los líquidos, sino una consecuencia de su interacción con el campo gravitatorio². Primero, intentamos que los alumnos se familiaricen con la fórmula del peso de un líquido, normalmente expresado en función de la densidad y volumen ($Peso = d \cdot V \cdot g$) por las características particulares de un líquido (no tiene forma propia y se adapta al recipiente que lo contiene). Luego, partiendo de esa expresión, de la fórmula general de la presión ($p=F/S$), y de una sencilla operación matemática, procuramos que los alumnos lleguen a la ecuación fundamental de la hidrostática ($p=d \cdot g \cdot h$). El objetivo final es que concluyan que la presión, a una determinada profundidad en un líquido, sólo depende del valor de la misma (h), de la densidad del líquido (d), y de la gravedad (g). Por tanto, que no depende de la cantidad de líquido ni de la forma del recipiente.

Tabla 2
Fragmento de la secuencia de actividades dedicadas al concepto de presión.

A.4. Posiblemente has comprobado alguna vez que quitar el tapón de una bañera cuando está vacía es más fácil (hay que aplicar una fuerza menor) que cuando está llena. ¿Por qué?

A.5. Realiza la siguiente experiencia: Toma una botella de plástico (de 1,5 o 2 litros de capacidad), llénala de agua y colócala verticalmente. A continuación, hazle tres o cuatro agujeros, situados a diferentes alturas. ¿Qué observas? ¿A qué conclusiones llegas?

A.6. Imagina que tenemos dos vasijas sumergidas en un líquido, una boca arriba (A), otra boca abajo (B), y ambas tapadas con una membrana elástica. Si las membranas se encuentran a la misma profundidad (Fig. 1), ¿cuál de ellas crees que recibe mayor presión? ¿Por qué?

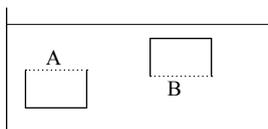


Figura 1

A.7. Ya sabes que los líquidos tienen la propiedad de que adoptan la forma de los recipientes que los contienen. De acuerdo con lo observado en la experiencia anterior, y con lo que ya sabes sobre el concepto de presión, ¿se puede decir que un líquido ejerce presión sobre las paredes del recipiente que lo contiene? ¿Y sobre un cuerpo que sumerjamos en él? ¿Por qué?

A.8. Si con todo lo que has averiguado hasta ahora piensas que en el interior de los líquidos existen fuerzas y presiones, ¿cuál de las dos magnitudes interesa más manejar cuando se estudian los efectos producidos en el interior de los líquidos? ¿Por qué? (Ayuda: para reflexionar sobre ello, ten en cuenta la relación que existe entre ambas magnitudes y cómo se pone de manifiesto cada una de ellas.)

A.10. A través de la arteria aorta de una persona circula sangre a una presión aproximada de 16.000 Pa. Investiga qué diámetro suele tener dicha arteria, y calcula con qué fuerza impulsa la sangre el corazón de esa persona. Si por alguna enfermedad la abertura circular de la arteria de esa persona se reduce en un 10%, ¿cuál sería ahora la presión de la sangre? ¿Qué enfermedad(es) puede(n) provocar este efecto?

También se hace hincapié en que la ecuación fundamental de la hidrostática no invalida la expresión general de la presión ($p=F/S$) en los líquidos. Intentamos que los alumnos entiendan que ambas expresiones son igualmente válidas, y que la idoneidad de cada una depende del contexto o característica de cada situación analizada.

Por último, se introduce el *principio de Arquímedes* (Tabla 4). Partiendo del contexto cotidiano de los alumnos, la secuencia comienza intentando que deduzcan la existencia de *empuje* en los líquidos. Se les incita a que emitan hipótesis sobre la(s) causa(s) de dicha fuerza, y sobre la relación de la cantidad de líquido desplazada con el cuerpo sumergido. También, que diseñen y realicen alguna experiencia sencilla para comprobar sus hipótesis.

Intentamos que los alumnos entiendan que el principio de Arquímedes es una consecuencia del principio fundamental de la hidrostática, y que el empuje resulta de un balance de fuerzas, a causa de la diferencia de presión hidrostática entre la parte superior e inferior del cuerpo sumergido. Por tanto, que el empuje es una fuerza

ascensional que reciben los cuerpos sumergidos, total o parcialmente, en líquidos, y cuya magnitud sólo depende de la densidad del líquido, de la porción de cuerpo sumergida y de la gravedad.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Alumnado participante

La secuencia de enseñanza fue implementada en el contexto natural de una clase de ciencias; de modo que intervinieron todos los alumnos de una clase de 4º de ESO, a los que impartía física y química el autor, en un centro escolar de Sevilla. El grupo estaba formada por 8 alumnos y 11 alumnas (n=19), de clase social media-baja, con historiales académicos muy dispares tanto en ciencias como en el test o de asignaturas. Cinco de ellos, además, habían repetido curso, en alguna ocasión, a lo largo de la ESO. También es preciso decir que era un alumnado que, en general, estaba poco motivado por el estudio de las ciencias; la mayoría se autodenominaba «de letras» y no tenía intención de continuar estudios relacionados con las ciencias.

Tabla 3
Fragmento de la secuencia de actividades sobre la ley fundamental de la hidrostática.

A.12. Ya sabes que un líquido no tiene forma propia y que se adapta al recipiente que lo contiene. Por eso, cuando se expresa la cantidad de un líquido suele hacerse en términos de su volumen y densidad, en lugar de su masa. ¿Cómo se puede expresar el peso de un líquido en función de estas dos magnitudes?

A.13. Teniendo en cuenta la expresión obtenida en la actividad anterior:

a) ¿Qué peso soportará el fondo de un vaso cilíndrico, de base S, que está lleno de agua hasta una altura h (Fig. 2)?

b) ¿Qué presión habrá en el fondo de dicho vaso con agua? ¿De qué factores depende dicha presión? (La expresión que debes obtener se conoce como *ley o principio fundamental de la hidrostática*.)

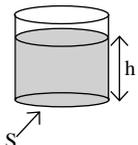


Figura 2

A.14. Con ayuda de la expresión que acabas de obtener para la presión en el interior de los líquidos (*presión hidrostática*):

a) Averigua qué presión soportará el fondo de un recipiente cilíndrico, con 20 cm² de base, que contiene una columna de agua (densidad=1.000 kg/m³) de 30 cm de altura. ¿Y si tomamos otro recipiente cilíndrico con la misma altura de agua, pero con una sección de 10 cm²? ¿A qué conclusión llegas?

b) En coherencia con lo conclusión obtenida, averigua cuál de los recipientes de la figura 3 soporta mayor presión sobre el fondo.

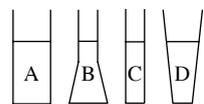


Figura 3

A.15. ¿Qué fuerza habrá que hacer para poder abrir el desagüe circular de una bañera, cuyo radio es de 2 cm, si ésta se ha llenado de agua hasta una altura de 40 cm?

Tabla 4

Fragmento de la secuencia de actividades dedicada al principio de Arquímedes.

A.17. Al introducir un objeto en un líquido, éste sube de nivel, es decir, cierta cantidad de líquido es desplazada.
 a) ¿Tiene algo que ver la cantidad de líquido desplazado con las características del cuerpo utilizado (forma, masa, volumen, densidad, composición, dureza, textura, etc.)? Haz una lista de los factores que, según tu experiencia diaria, pueden influir en la cantidad de líquido desalojado. b) Diseña y realiza, junto con tus compañeros, un experimento sencillo que te permita comprobar lo que se pregunta en la actividad anterior. ¿A qué conclusiones llegas?

A.18. Seguramente habrás comprobado que para introducir y mantener sumergido un balón dentro de agua, se precisa un gran esfuerzo. Parece que el agua ‘empuja’ al balón con una fuerza ascendente. ¿A qué crees que es debido?

A.19. Ya habrás concluido que los líquidos ejercen fuerzas y, por tanto, presiones sobre los cuerpos introducidos en ellos. Imagina un recipiente prismático sumergido en agua (Fig. 4). Teniendo en cuenta la ecuación fundamental de la hidrostática, haz balance cualitativo de las fuerzas que actúan sobre cada una de las caras del cuerpo. ¿Qué puede ser deducido de ello?

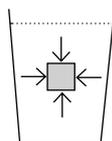


Figura 4

A.20. En el siglo III a.C., un sabio griego de la antigüedad, llamado Arquímedes, estableció que «*Todo cuerpo sumergido, total o parcialmente, en un líquido recibe un empuje (fuerza) vertical y ascendente igual al peso del líquido desplazado*». ¿Es congruente esta afirmación con la conclusión que has obtenido en la actividad anterior?

A.21. Teniendo en cuenta lo que dice el principio de Arquímedes:

- a) ¿Cómo se puede representar matemáticamente el empuje (E) de un líquido sobre un cuerpo sumergido en él?
- b) ¿Depende ese empuje de alguna característica del cuerpo sumergido? Si es así, ¿de cuál(es)? ¿Coincide con lo que concluiste en la actividad A.17?

Implementación de la secuencia de enseñanza

La experiencia se desarrolló durante ocho sesiones de una hora, conforme al marco teórico descrito. Para ello, los alumnos se organizaron en grupos de tres o cuatro componentes, donde interpretaban la información ofrecida en las actividades; intercambiaban ideas y opiniones; solicitaban ayuda al profesor, ante las dudas u obstáculos que les surgían, y, finalmente, elaboraban una respuesta consensuada a las cuestiones planteadas. Luego, en las puestas en común, los grupos exponían sus conclusiones a los demás, a fin de discutir las y llegar a la(s) respuesta(s) más adecuada(s). El profesor moderaba estas discusiones introduciendo los matices y orientaciones oportunas, según las necesidades de cada momento, y asumiendo un papel más activo cuando la situación lo requería. El propósito era llegar a las conclusiones con el máximo acuerdo (de comprensión) posible. Lógicamente, el proceso era más complejo cuanto mayor disenso existía en las primeras conclusiones; y no siempre se lograría el objetivo.

También se estimuló en los alumnos la autorregulación del aprendizaje. Los alumnos, que ya tenían experiencia de escribir un comentario reflexivo sobre lo aprendido en clase (García-Carmona, 2005), indicaban en sus cuadernos las dificultades encontradas, los errores cometidos, la ayuda recibida de los compañeros y/o del profesor, la evolución de su aprendizaje, etc.

Proceso e instrumentos de evaluación

Antes de implementar la secuencia de enseñanza, analizamos las ideas previas de los alumnos sobre hidrostática, mediante el test³ del anexo 1. Las ideas detectadas fueron consideradas como punto de partida para orientar la secuencia, con vistas a provocar el cambio conceptual pertinente.

Una semana después de concluir el proceso de enseñanza-aprendizaje, los alumnos contestaron a un test de evaluación (Anexo 2), a fin de conocer qué niveles de conocimiento declarativo habían alcanzado sobre el tema, y qué evolución habían experimentado sus ideas. Basándonos en estrategias utilizadas en investigaciones similares (Oliva et al., 2003), establecimos los criterios de análisis siguientes:

- Nivel 1: Respuesta en blanco.
- Nivel 2: Respuesta incorrecta o confusa, en el sentido de que no comprende o no aplica adecuadamente los conceptos manejados.
- Nivel 3: Respuesta en la línea adecuada, pero se justifica de manera incompleta o con imprecisiones.
- Nivel 4: Respuesta correcta y justificada adecuadamente.

El análisis de ambos tests lo hizo el autor, pero en los casos donde tuvo alguna duda de clasificación de las respuestas, contó con la opinión de un «amigo crítico», experto en investigación didáctica.

Si bien en el test de evaluación final se trataron los mismos tópicos que en el de ideas previas, no se plantearon las mismas cuestiones. La razón era evitar que las respuestas de los alumnos pudieran ser consecuencia de un aprendizaje memorístico, ya que las cuestiones del test de ideas previas fueron comentadas en clase mientras se desarrollaba la secuencia de enseñanza. Por tanto, lo que pretendíamos con el test de evaluación final era analizar, de forma global y cualitativa, los argumentos (nuevos o no) que utilizaban los alumnos ante situaciones problemáticas, referidas a los mismos tópicos del test de ideas previas, una vez concluido el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Es preciso decir que durante las sesiones de clase optamos por no utilizar instrumentos de investigación tales como grabaciones de audio o vídeo, pues comprobamos que alteraban el desarrollo natural de las mismas. En su lugar, y con el fin de hacer una apreciación global de la experiencia (proceso de aprendizaje desarrollado, clima de clase, actitudes adquiridas, etc.), realizamos algunas entrevistas personales.

RESULTADOS

Estado del conocimiento de partida de los alumnos

Además de las ideas previas de los alumnos, evaluamos el nivel de conocimiento de partida en cada cuestión del test. Dado el carácter ordinal de los niveles de respuestas, calculamos la mediana como valor del nivel de conocimiento más representativo. En todas las cuestiones, salvo en la cuestión 1, dicho valor se situó en un nivel 2 de conocimiento. Con este resultado, y desde una perspectiva global, podemos interpretar que el grupo investigado presentaba ideas y razonamientos científicos equivocados, en relación con las situaciones problemáticas de hidrostática planteadas. Sólo en la cuestión 1, el alumnado demostró tener un conocimiento en la línea correcta, pero con ciertas imprecisiones respecto a las ideas aceptadas científicamente. Asimismo, en todas las cuestiones del test de ideas previas se detectaron ideas alternativas, algunas de ellas coincidentes con las detectadas en investigaciones precedentes (Tabla 1). Además, parte de esas ideas se pusieron de manifiesto en más de una cuestión. Estas ideas son:

- Un cuerpo pesa menos en el interior de un líquido porque éste último lo sostiene a modo de soporte [no es considerado que el líquido ejerce una fuerza (empuje) vertical y hacia arriba, que se opone al peso del cuerpo].
- Un cuerpo sumergido en un líquido modifica algunas de sus propiedades físicas, como su densidad o volumen.

– La presión hidrostática sobre el fondo de un recipiente depende de la forma que éste tiene, y de la cantidad de líquido que contiene.

– Un cuerpo sumergido en un líquido modifica algunas propiedades físicas de este último, como la densidad.

– La ausencia de aire en un líquido produce un aumento de la presión hidrostática.

Además de tener en cuenta las sugerencias de la literatura, los resultados del test de ideas previas permitieron reconsiderar algunos tramos de la secuencia de enseñanza, justo antes de su implementación.

Evolución de las ideas de los alumnos

Dos semanas después de concluir el proceso de enseñanza-aprendizaje, los alumnos contestaron al test de evaluación final. Con éste analizamos los niveles de conocimiento declarativo que alcanzaron sobre el tema. En lo que sigue describimos tales niveles, junto con las ideas y argumentos más frecuentes de los alumnos. Adelantamos que no se registraron respuestas de nivel 1 (respuestas en blanco).

Cuestión 1

En esta cuestión, la categoría de respuesta mayoritaria se situó en un nivel 2 (respuestas equivocadas), con 11/19 de los alumnos. Entre las ideas alternativas detectadas, destaca la creencia de que el empuje sobre un cuerpo en un líquido está determinado por su peso. Se trata, además, de una concepción que ya fue detectada en el test de ideas previas. Ejemplo:

«Recibe más empuje la que tenga menos masa, en este caso la de aluminio, porque al tener menos masa tiene menos peso, por tanto no realiza tanta fuerza sobre el agua.»

El nivel 3 fue logrado por 2/19 de los alumnos, con respuestas donde muestran tener claro los factores que influyen en el empuje, pero no terminan de diferenciarlo del peso aparente:

«[...] Aunque las dos bolas tienen el mismo volumen, la de acero se hunde más porque tiene más masa.»

Y el nivel más alto de respuesta (nivel 4) fue conseguido por 6/19 de los alumnos, con argumentaciones como la siguiente:

«Las dos reciben el mismo empuje, pues la fuerza empuje va relacionada con el volumen de las bolitas, que es el mismo para las dos.»

Cuestión 2

Aquí, las respuestas mayoritarias se situaron en un nivel 3, con 9/19 de los alumnos. Se dan respuestas con ciertas imprecisiones, o falta de matizaciones, tal y como puede observarse en el ejemplo que sigue. El alumno no

termina de justificar su respuesta haciendo alusión a la determinación de la porción de volumen sumergida del cuerpo en el empuje que recibe del líquido:

«Cuando estás buceando [recibes más empuje], porque el empuje lo que intenta es sacarte a la superficie, entonces al estar hundido el empuje es mayor. Cuando estás nadando, estás a una profundidad mínima por lo tanto el empuje es mucho menor.» (Corchete añadido)

Menos frecuentes fueron las respuestas equivocadas (nivel 2), registradas por 5/19 de los alumnos. En este nivel, encontramos una idea alternativa, que ya fue manifestada por algunos alumnos en el test de ideas previas: que los cuerpos pesan menos en un líquido porque éste les sirve de «soporte»:

«Cuando estás nadando [recibes más empuje] porque hay más volumen de agua debajo y eso te sostiene mejor.» (Corchete añadido)

Como en otras investigaciones (Loverude, Kautz y Heron, 2003), se detectó la idea alternativa que considera que el empuje sobre un cuerpo aumenta a medida que lo hace su profundidad en el líquido:

«Cuando estás buceando [recibes más empuje], porque a cuanta más profundidad mayor es el empuje que recibes.» (Corchete añadido)

También, como se ha visto en otras investigaciones (Tabla 1), algunos alumnos creen que la presión hidrostática sólo se ejerce en una sola dirección; y en el caso que nos ocupa, además, en un único sentido («hacia abajo»). No se concibe, pues, el empuje como resultado de un balance de presiones hidrostáticas, con sentidos opuestos, en la dirección vertical. Ejemplo de esta idea alternativa:

«Cuando estás buceando [recibes más empuje], porque tienes más cantidad de agua sobre ti que nos ejerce más presión.» (Corchete añadido)

El nivel 4 fue logrado por otro 5/19 de los alumnos, con respuestas adecuadas como la que sigue:

«Cuando buceas [recibes mayor empuje] porque es mayor el volumen sumergido, por lo tanto es mayor el volumen de agua desplazado.» (Corchete añadido)

Cuestión 3

En esta cuestión, 9/19 de los alumnos emitió respuestas equivocadas (nivel 2), con argumentos que ya fueron detectados en el test de ideas previas. Así, la concepción alternativa más frecuente es la que considera que la presión hidrostática en el fondo de un recipiente depende de la superficie del mismo, o de la cantidad de líquido que soporta:

«Se ejercerá más presión en el recipiente B, porque es el más estrecho.»

«Se ejercerá más presión en el recipiente que tenga más líquido [...].»

Una fracción de alumnos igual a la anterior contestó de manera adecuada (nivel 4), con respuestas como las siguientes:

«El primero [el de mayor presión en el fondo] es el [recipiente] C, después el B, luego el A y por último el D. Porque la presión depende de la densidad del líquido, que es la misma en todos, de la gravedad, que también es la misma y de la altura, que no es la misma. Teniendo en cuenta la fórmula de la presión en los líquidos ($p=d \cdot g \cdot h$), el que tiene mayor altura [de líquido] ejerce mayor presión [en el fondo].» (Corchetes añadidos)

Las respuestas de nivel 3 fueron las menos frecuentes, con 2/19 de los alumnos. Lo más destacado de este nivel era la escasa profundización en la justificación de las respuestas de los alumnos. Un ejemplo:

«El orden será C, B, A, D, ya que la presión que ejerce el líquido tiene que ver con la altura de éste.»

Cuestión 4

Fue la cuestión que registró mayor número de respuestas adecuadas (nivel 4), con una frecuencia relativa de 14/19. La mayoría de los alumnos había asimilado adecuadamente que la presión hidrostática aumenta a medida que se profundiza en el líquido:

«La presión viene determinada por la altura, entonces, contra más hondo esté el orificio, más presión soportará, por lo que los tres chorros de agua no pueden salir con la misma presión. Con esto podemos decir que es el recipiente de la derecha.»

No obstante, 3/19 de los alumnos contestó de forma incorrecta (nivel 2); si bien, en este caso no se observó ninguna idea alternativa predominante que merezca ser comentada. Y las respuestas orientadas en la dirección correcta, pero con imprecisiones o algunas carencias justificativas (nivel 3), fueron registradas por 2/19. Un ejemplo:

«Será el recipiente de la izquierda, ya que el agua saldrá así debido a la presión ejercida.»

La tabla 5 muestra una síntesis de las frecuencias relativas de alumnos correspondientes a cada uno de los niveles de respuestas logrados en las cuestiones del test de evaluación final, así como los niveles de conocimiento más representativos (medianas) en cada una.

Tabla 5

Frecuencias de los niveles de respuestas registrados en las cuestiones del test de evaluación final, frecuencias acumuladas en los niveles más altos, y niveles de conocimiento más representativos en cada cuestión.

CUESTIÓN	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 3 + NIVEL 4	NIVEL REPRESENTATIVO (MEDIANA)
1	0/19	11/19	2/19	6/19	8/19	2,0
2	0/19	5/19	9/19	5/19	14/19	3,0
3	0/19	9/19	2/19	9/19	11/19	3,0
4	0/19	3/19	2/19	14/19	16/19	4,0

n=19

Valoración global del proceso de enseñanza-aprendizaje

En la valoración global del proceso de enseñanza-aprendizaje consideramos, principalmente, las reflexiones y apreciaciones de los alumnos; porque, si bien las impresiones y estimaciones del profesor fueron, en general, bastante positivas –sobre todo por la gran motivación que observó en unos alumnos que solían ser reacios, en su mayoría, hacia el aprendizaje de las ciencias–, no dejaba de ser el punto de vista (parcial) de quien plantea la experiencia y desea obtener buenos resultados. Además, creemos que dentro de la complejidad que supone todo proceso educativo, los alumnos son los que, en última instancia, nos pueden dar las mejores pistas de su propio aprendizaje.

Dichas apreciaciones fueron recogidas mediante entrevistas personales, realizadas al concluir la experiencia, con seis de los alumnos participantes escogidos al azar.

Uno de los aspectos más valorados por los alumnos fue el aumento de su atención en clase, lo cual es esencial de cara a que el aprendizaje sea efectivo. Esto lo explicaron los alumnos como sigue⁴:

«[...] tenías que estar muy atenta, no te podías entretener tanto como en otras clases; pero en verdad eso..., por otra parte, es bueno porque te enteras mejor de las cosas.»

«[...] tienes que prestar más atención en clase porque no te puedes perder. Por ejemplo, si estamos estudiando otra cosa, te pones a hablar con el compañero, pero aquí no; tienes que estar pendiente de coger lo que dice uno y otro para comprender mejor las actividades.»

Otro aspecto bastante valorado por los alumnos fue la motivación que les suscitó la metodología empleada, uno de los condicionantes deseables y primordiales, con vistas a tener éxito en cualquier experiencia de innovación didáctica. Ello se puso de manifiesto en respuestas como la siguiente:

«Lo que más me ha gustado... eh... que es una nueva forma de trabajar, distinta a todas las que hemos hecho antes; que todo el mundo se ha esforzado. Todo el mundo se ha metido más en la asignatura; todo el mundo... aunque no le salieran

bien las cosas, se ha esforzado más y ha trabajado las actividades... se ha preocupado.»

También se valoró positivamente el hecho de que se hubiera fomentado el trabajo en equipo (aprendizaje cooperativo) y la participación en clase:

«[...] se ha fomentado el trabajo en equipo porque tú, a lo mejor, si no cogías algo, te ponías con tu compañero: “a ver, ¿me puedes ayudar en esta actividad?”. En otras clases [en el estudio de otros temas mediante la metodología tradicional] si no sabes algo, a lo mejor ni te molestas en preguntar, por lo menos yo. Yo veo que la gente se ha preocupado en preguntarle al compañero: “¡oye!, ¿esto cómo se hace, a ver? Explícamelo”. Y así todo el mundo.» (Corchete añadido)

En relación con el impulso del aprendizaje autónomo, los alumnos destacaron el papel del proceso de *autorregulación* practicado durante la realización de las actividades. Manifestaron que los comentarios y reflexiones escritos en sus cuadernos, durante el proceso de aprendizaje, les ayudaron a comprender, de manera progresiva, los contenidos estudiados. Así lo explicaron algunos alumnos:

«[...] porque tú puedes equivocarte en una actividad y hacer la corrección en la clase, pero lo importante es el comentario, porque ahí pones tú lo que realmente has aprendido y lo que tienes que mejorar.»

«Yo ponía mis dudas, mis errores, y por qué me había equivocado; y, a la hora de llegar a los exámenes, me miraba el comentario y si yo había fallado en eso, pues sabía que no podía fallar otra vez. Entonces, al leerlo y saberlo, ya... ya lo hacía bien.»

Finalmente, en relación con el diseño y secuenciación de las actividades, los alumnos destacaron positivamente el orden progresivo de profundización en la introducción de los contenidos, así como la adecuada interconexión entre las mismas:

«[...] Lo que más me ha gustado ha sido la forma de las actividades, que venían de menor a mayor dificultad; te ibas enterando bien.»

«Las actividades te ayudan, porque, por ejemplo, en la primera

actividad te dan información de cómo puedes hacerla y en la segunda te da un poquito más de información y también enlazado con la primera. Así, cuando llevas hechas muchas actividades, ya tienes el concepto del módulo entero y sabes hacerlo todo bien.»

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

A la luz de los resultados de la experiencia, orientada a promover el aprendizaje por investigación, podemos decir que una parte considerable de las ideas previas inadecuadas de los alumnos experimentaron cambios favorables. Al concluir el proceso de enseñanza-aprendizaje, una mayoría de los alumnos logró niveles de conocimiento satisfactorios, en relación con la influencia del volumen sumergido de un cuerpo en el empuje que recibe, y la dependencia de la presión hidrostática con la profundidad en el líquido. Sin embargo, el cambio conceptual no fue posible en todos los casos; algunas de las ideas previas (alternativas) de los alumnos persistieron, aunque en menor proporción que al inicio. Tales ideas son:

- Los líquidos «amortiguan» el hundimiento de los cuerpos como si fuesen un «soporte elástico», y no porque ejercen una fuerza neta vertical y hacia arriba (empuje).
- La presión hidrostática depende del valor de la superficie sobre la que es aplicada y de la cantidad de líquido que dicha superficie soporta encima.

Hemos comprobado, por tanto, la resistencia al cambio de ciertas ideas intuitivas (inadecuadas) de los alumnos, pese a que se ha implementado una secuencia de enseñanza específica para su modificación en pro de las científicas. Esto lo concebimos como algo difícilmente evitable cuando enseñamos ciencias, que debemos tener presente en acciones sucesivas, a fin de ir mejorando la efectividad de la secuencia.

Además se detectaron otras ideas alternativas –ya descritas en la literatura–, a consecuencia de la implementación de la secuencia de enseñanza; como que:

- El empuje que ejerce un líquido sobre un cuerpo depende del peso de éste.
- El empuje sobre un cuerpo totalmente sumergido en un líquido depende de la profundidad a la que éste se encuentre.
- La presión hidrostática tiene una dirección y sentido preferentes, generalmente verticales y hacia el fondo del recipiente.

Pero, precisamente porque el cambio conceptual es un proceso complejo, opinamos que se debe prestar especial atención al modo en que aprenden los alumnos. En este sentido, un resultado interesante de la experiencia es que el diseño de la secuencia de enseñanza y su implementación estimuló la participación activa de los alumnos. A través de los procesos de reflexión y autorregulación impul-

sados, se logró que, en general, tomaran conciencia de sus dificultades y progresos durante el aprendizaje. Ello fue constatado por los propios alumnos, quienes, además, manifestaron haber conseguido: *a)* aumentar su autoestima en el aprendizaje de las ciencias, mediante la activación de su atención y participación en clase, y *b)* sacar provecho al trabajo en grupo, intercambiando ideas y opiniones con el resto de compañeros. Todo ello nos permite decir que los alumnos desarrollaron actitudes positivas hacia el aprendizaje de los contenidos, y, por ende, nos impulsa a continuar trabajando en la línea didáctica planteada.

Respecto a la componente conceptual, los cambios previstos estarán enfocados a reconsiderar aquellas actividades donde los alumnos han encontrado mayores dificultades de comprensión. Concretamente, a replantear actividades que les ayuden a entender que:

- La presión hidrostática es una consecuencia del peso del líquido y, además de la gravedad, sólo depende de la naturaleza del líquido (densidad), y de la profundidad considerada en el mismo.
- La presión hidrostática a una determinada profundidad es ejercida por igual en todas las direcciones (no tiene una dirección ni sentido preferentes).
- El empuje sobre un cuerpo sumergido en un líquido es consecuencia de la diferencia de presiones hidrostáticas entre la parte superior e inferior de éste.
- El empuje sólo depende de la naturaleza del líquido (densidad), de la porción de cuerpo sumergida y de la gravedad.

Finalmente, queremos decir que somos conscientes de que los resultados presentados no son generalizables a otros contextos educativos; básicamente porque la investigación se ha realizado en un contexto educativo natural y concreto. Sin embargo, pueden constituir una fuente de reflexión interesante, que incite a otros profesores a plantear sus clases de ciencias en sintonía con el modelo de aprendizaje por investigación.

NOTAS

1. Dado que no nos ocupamos del aprendizaje de las aplicaciones del principio de Arquímedes como, por ejemplo, la flotación de los cuerpos, no hacemos referencia a lo que dice la literatura al respecto.
2. Balibrea y otros (2003), para argumentar que en los líquidos no existe presión hidrostática si no están sometidos a la interacción gravitatoria, evocan a las imágenes que muestran a los astronautas jugueteando con una enorme gota de líquido, que cambia de forma y “revolotea” por la nave, sin caer sobre el vaso como ocurriría en la tierra. En el interior de esa gota de agua no existe presión hidrostática.
3. Tanto en el diseño del test de ideas previas como del test de evaluación final, se tuvieron en cuenta las cuestiones que plantean comúnmente los libros de texto de ESO cuando tratan los contenidos de hidrostática aquí abordados.
4. A fin de ser concisos, no mostramos las secuencias pregunta-respuesta de las entrevistas; exponemos directamente las opiniones de los alumnos sobre los diferentes aspectos del proceso de enseñanza-aprendizaje analizados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIP (American Institute of Physics) (1998). *Children's misconceptions about Science*. «Operation Physics», elementary-middle school physics education project. <<http://www.amasci.com/miscon/opphys.html>>.
- AKKUS, R., GUNEL, M. y HAND, B. (2007). Comparing an inquiry-based approach known as the science writing heuristic to traditional science teaching practices: Are there differences? *International Journal of Science Education*, pp. 1-21.
- ATKIN, K. (1988). The great water-jet scandal. *Physics Education*, 23(3), pp. 127-128.
- BALIBREA, S., REYES, M., CORREA, J., ÁLVAREZ, A. y SÁEZ, A. (2003). *Física y Química 4. Propuesta didáctica para educación secundaria*. Madrid: Anaya.
- BESSON, U. (2004). Students' conceptions of fluids. *International Journal of Science Education*, 26(14), pp. 1683-1714.
- CAMPBELL, B. y LUBBEN, F. (2000). Learning science through contexts: helping pupils make sense of everyday situation. *International Journal of Science Education*, 22(3), pp. 239-252.
- CAÑAL, P. (2007). La investigación escolar, hoy. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 52, pp. 9-19.
- CARAVITA, S. y HALLDEN, O. (1994). Re-framing the problem of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), pp. 89-111.
- DUIT, R. (1999). Conceptual change approaches in Science Education, en Schnotz, W., Vosniadou, S. y Carretero, M. (eds.). *New perspectives on conceptual change*, pp. 263-282. Amsterdam: Pergamon.
- FERNÁNDEZ, J.M. (1985). Causas de las dificultades de aplicación del teorema de Arquímedes por los alumnos de Enseñanza Media. *Enseñanza de las Ciencias*, 3(3), pp. 185-187.
- FERNÁNDEZ, J.M. (1987). Estudio del grado de persistencia de ciertos preconceptos sobre la estática de fluidos en alumnos de 2º de BUP. *Enseñanza de las Ciencias*, 5(1), pp. 27-32.
- FLICK, L.B. y AULT, C.R. (1996). Student perspectives on learning inquiry-oriented science. *AETS Conference 1996*, pp. 605-628. <<http://www.ed.psu.edu/CI/journals/96pap41.htm>>.
- FONTANA, F. y DI CAPUA, R. (2005). Role of hydrostatic paradoxes towards the formation of the scientific thought of students at academic level. *European Journal of Physics*, 26, pp. 1017-1030.
- FURIÓ, C., GUIASOLA, J., ALMUDÍ, J.M. y CEBERIO, M. (2003). Learning the electric field concept as oriented research activity. *Science Education*, 87(6), pp. 640-662.
- GARCÍA-CARMONA, A. (2002). Casualidad, inspiración y descubrimientos científicos. *Red Científica: Ciencia, Tecnología y Pensamiento*, 47. <<http://www.redcientifica.com/doc/doc200209150001.html>>.
- GARCÍA-CARMONA, A. (2005). Un estudio de caso sobre la eficiencia de los procesos de autorregulación en el aprendizaje de la Física. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 7(1). <http://www.fae.ufmg.br/ensaio/v7_n1/volumeVIIInI.htm>.
- GÓMEZ CRESPO, M.A., POZO, J.I. y GUTIÉRREZ, M.S. (2004). Enseñando a comprender la naturaleza de la materia: el diálogo entre la química y nuestros sentidos. *Educación Química*, 15(3), pp. 198-209.
- KARIOTOGLOY, P., KOUMARAS, P. y PSILLOS, D. (1993). A constructivist approach for teaching fluid phenomena. *Physics Education*, 28(3), pp. 164-169.
- LOVERUDE, M.E., KAUTZ, C.H. y HERON, P.R. (2003). Helping students develop an understanding of Archimedes' principle (I). Research on student understanding. *American Journal of Physics*, 71(11), pp. 1178-1187.
- MATURANO, C. MAZZITELLI, C. NÚÑEZ, G. y PEREIRA, R. (2005). Dificultades conceptuales y procedimentales en temas relacionados con la presión y los fluidos en equilibrio. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4(2). <http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen4/ART6_Vol4_N2.pdf>.
- MAZZITELLI, C., MATURANO, C., NÚÑEZ, G. y PEREIRA, R. (2006). Identificación de dificultades conceptuales y procedimentales de alumnos y docentes de EGB sobre la flotación de los cuerpos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de la Ciencia*, 3(1), pp. 33-50. <http://www.apac-eureka.org/revista/Volumen3/Numero_3_1/Vol_3_Num_1.htm>.
- OLIVA, J.M., ARAGÓN, M.M., BONAT, M. y MATEO, J. (2003). Un estudio sobre el papel de las analogías en la construcción del modelo cinético-molecular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), pp. 429-444.
- POZO, J.I. y GÓMEZ CRESPO, M.A. (2002). La adquisición del conocimiento científico, ¿una prótesis cognitiva? *Innovación y Ciencia*, X (3 y 4), pp. 34-43.
- PSILLOS D. y KARIOTOGLOY, P. (1999). Teaching fluids: intended knowledge and students' actual conceptual evolution. *International Journal of Science Education*, 21(1), pp. 17-38.
- REIF, F. y LARKIN, J. (1991). Cognition in scientific and everyday domains: Comparison and learning implications. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, pp. 733-760.
- RODRÍGUEZ-MONEO, M. y APARICIO, J.J. (2004). Los estudios sobre el cambio conceptual y la enseñanza de las Ciencias. *Educación Química*, 15(3), pp. 270-280.
- SCHRAW, G. y BROOKS, D.W. (1999). *Helping students self-regulate in Math and Sciences courses: improving the will and the skill*. Lincoln, NE, University of Nebraska-Lincoln.
- STAVY, R. (1990). Children's conception of changes in the state of matter: from liquid (or solid) to gas. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, pp. 247-266.
- WENNING, C.J. (2005a). Implementing inquiry-based instruction in the science classroom: A new model for solving the improvement-of-practice problem. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 2(4), pp. 9-15. <<http://www.phy.ilstu.edu/jpteo>>.
- WENNING, C.J. (2005b). Minimizing resistance to inquiry-oriented science instruction: The importance of climate setting. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 3(2), pp. 10-15. En: <http://www.phy.ilstu.edu/jpteo>.

[Artículo recibido en mayo de 2007 y aceptado en diciembre de 2007]

ANEXO 1

Test de ideas previas.

1. Dado el esquema de la figura a, indica si en ambos casos se medirá o no el mismo peso con el dinamómetro. Razona tu respuesta.

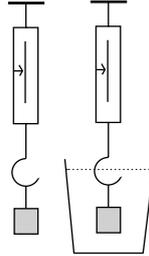


Figura a

2. Dados los recipientes con agua de la figura b, indica en cuál de ellos la presión sobre el fondo es mayor y por qué. Ordénalos de mayor a menor.

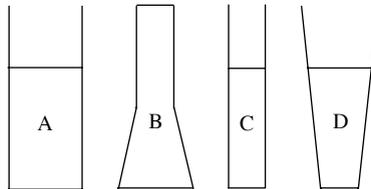


Figura b

3. ¿Por qué cuando introduces un objeto en un vaso de agua, puede que ésta se derrame?

4. Cuando se bucea, es posible notar que, conforme se baja en profundidad, se empieza a tener ciertas molestias en los oídos. Se dice que es porque aumenta la presión. ¿Por qué crees que aumenta dicha presión?

ANEXO 2

Test de evaluación final.

1. Introducimos en un recipiente con agua una bola de acero y otra de aluminio, de igual tamaño pero con menos masa que la de acero. Ambas se hunden, si bien, ¿cuál recibe mayor empuje? Razona tu respuesta.
2. ¿Cuándo recibes más empuje del agua, cuando estás nadando o cuando estás buceando? ¿Por qué?
3. Ordena, de mayor a menor, los recipientes (Fig. a) según la presión que ejerce el líquido (el mismo en todos) sobre el fondo de los mismos. Razona tu respuesta.

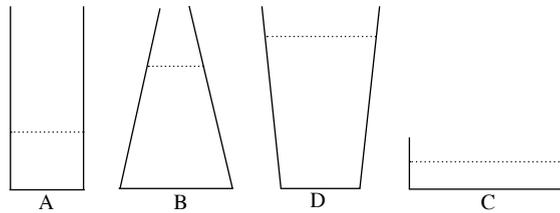


Figura a

4. A un recipiente con agua se le han hecho tres orificios a distinta altura. Si se deja salir el agua por ellos, ¿cuál de las dos imágenes de la figura b (izquierda o derecha) se aproximará más a lo que ocurrirá en la realidad*? Razona tu respuesta.



Figura b

*De acuerdo con Atkin (1988), ninguna de las imágenes de la figura b corresponde al caso real, si bien, nosotros consideramos –en el nivel de enseñanza básico que nos ocupa– que como aproximación al caso real puede presentarse la imagen de la derecha.

Learning hydrostatic through inquiry-based activities: Analysis of an experience with 15-16 year-old students

GARCÍA-CARMONA, ANTONIO

Área de Ciencias. Colegio Luisa de Marillac de Sevilla
 agarciaca@cofis.es

Abstract

This paper proposes a teaching sequence to approach hydrostatic contents in harmony with the inquiry-based learning model. Fundamental characteristics of this model in science education are described. Then, the activities that make up the teaching sequence are shown along with methodological and didactic orientations for their performance. Efficacy of the teaching sequence was evaluated by means of a case study with 19 secondary education students aged 15-16. Evolution of the students' ideas and their understanding levels about the topic were researched as well as the developed attitudes by students towards the hydrostatic learning and, in general, science learning.

The results of the study have given rise to the following conclusions:

a) A considerable part of the students' prior ideas experienced a favourable change. When the teaching/ learning process finished, most students had attained satisfactory levels of knowledge regarding the influence of the body's underwater volume on the push that this receives by the liquid, and regarding the relationship between the hydrostatic pressure and the depth in the liquid. However, some of the students' inadequate prior ideas persisted until process ended. These ideas were:

– Liquids «cushion» the sinking of bodies as if they were an elastic support, instead of consideration that they exert a vertical and upwards net force.

– Hydrostatic pressure depends on the surface on which it is applied and the quantity of liquid above the said surface.

b) Other alternative ideas –already described in the literature– were detected as a consequence of the performance of the teaching sequence:

– The exerted push by a liquid on a body depends on the body's weight.

– The push on an underwater body depends on its depth in the liquid.

– Hydrostatic pressure has a preferential direction and sense, i.e., vertical and down.

c) The design of the teaching sequence and its performance encouraged the students' active participation. By means of the promoted reflection and self-regulation processes, we observed that students became aware of their learning difficulties and progresses during the experience. Students themselves expressed that they had: (1) increased their self esteem in the science learning by means of the activation of their attention and participation in the class; (2) benefitted from the teamwork by exchanging ideas and opinions among team-mates.

d) Planned changes of the teaching sequence in future implementations will focus on reconsidered activities that help students understand that:

– Hydrostatic pressure is a consequence of the liquid weight and, in addition, of gravity, only depending on the nature of liquid (density) and the depth of it.

– Hydrostatic pressure in a depth determinate is exerted equally in all directions (it does not have a preferential direction and sense).

– The push exerted on an underwater body is a consequence of the difference between hydrostatic pressures exerted on the body's upper and lower sides.

– The push only depends on the nature of liquid (density), the portion of the underwater body and gravity.