



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

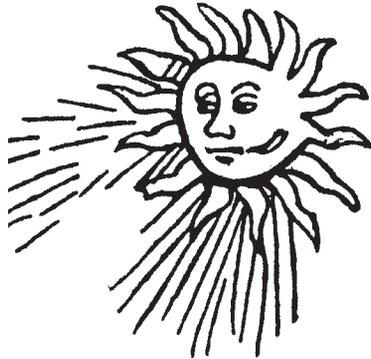
**PERFILES
EDUCATIVOS**

ISSN 0185-2698

Flores Camacho, Fernando, Gallegos Cazares, Leticia (1999)
**“CONSTRUCCIÓN DE CONCEPTOS FÍSICOS EN ESTUDIANTES.
LA INFLUENCIA DEL CONTEXTO”**
en Perfiles Educativos, Vol. 21 No. 85-86 pp. 90-103.

Construcción de conceptos físicos en estudiantes La influencia del contexto

FERNANDO FLORES CAMACHO* Y LETICIA GALLEGOS CÁZARES*



Uno de los aspectos poco analizados en las investigaciones sobre ideas previas y representación conceptual de los estudiantes de física es la influencia que tiene el contexto en la construcción de sus concepciones. En este trabajo se muestra cómo el contexto físico influye en el desarrollo de las ideas previas y la interpretación de los fenómenos físicos de los estudiantes del bachillerato. Se hace notar que esta influencia aparece también en el desarrollo histórico de los conceptos físicos, como los de presión y flotación. Se presentan, además, algunas consideraciones sobre las implicaciones que dicha influencia del contexto tiene para la enseñanza de la física.

In the research on science education about previous ideas and students representation, the physical context has been little attention. In this work we shows how the physical context affect the construction of the previous ideas and the student's interpretation about physical phenomena in high school students. We shows that this context influence was important in the historical development of physical concepts how pressure and flotation.

Some considerations about physics teaching are addressed.

INTRODUCCIÓN

La investigación sobre las ideas previas de los estudiantes ha sido muy fructífera ya que, además de proporcionar una mejor comprensión de los problemas conceptuales que enfrentan los sujetos ante los conceptos científicos, ha permitido la caracterización de sus nociones en diversos temas de las disciplinas física, química y biológica. Así, en la actualidad se cuenta con un amplio panorama del pensamiento científico de los alumnos (Gabel, 1994). Por otro lado, las ideas previas han favorecido el desarrollo de modelos conceptuales y mentales (Larkin, 1983, Ogborn 1985), así como de diversas aproximaciones cognoscitivas (Chi, 1992; Glynn y Duit, 1995), epistemológicas (Teberg-hien, 1994) y estructurales (Flores y Gallegos, 1998; di Sessa, 1993).

En física, particularmente, las investigaciones de las ideas previas han sido las más extensas (Pfund y Duit, 1994) y sus implicaciones aprovechadas en otros campos, en especial el didáctico.

Sin embargo, a pesar de este amplio desarrollo, existen aspectos que es necesario investigar más. Entre ellos está el papel que tiene el contexto físico (medio físico, condiciones iniciales y tipo de interacciones), el cual ha sido escasamente investigado. Uno de los pocos trabajos en esta dirección es el de Tytler (1998), quien lleva a cabo un estudio sobre las ideas de presión en el aire en condiciones atmosféricas y atrapado en contenedores, y su cambio con-

ceptual en niños de primaria, lo cual muestra que, efectivamente, las representaciones son dependientes del contexto físico en el que se analiza. Sin embargo, esto no se ha hecho con estudiantes del bachillerato ni en otros contextos. Por ello, preguntas como ¿de qué manera influye el contexto en la construcción de conceptos y nociones físicas en los estudiantes?, ¿es posible encontrar la dependencia del contexto físico en el desarrollo histórico de los conceptos?, ¿qué vínculos presenta el desarrollo de los conceptos físicos con el contexto?, ¿cómo se toma en cuenta el contexto físico en la enseñanza?, son cuestiones sobre las cuales es necesario insistir y estudiar para, con ello, determinar mejor sus posibles implicaciones en la enseñanza.

En el presente estudio se establece la influencia del contexto físico en la construcción de las nociones de presión y flotación en los estudiantes del bachillerato, y se muestra cómo en conceptos comunes a dos contextos: líquidos y gases, los estudiantes elaboran representaciones con características distintas. Se muestra, además, que el desarrollo histórico de esos conceptos fue determinado también por esta dependencia del contexto físico.

EL CONTEXTO EN EL DESARROLLO DE LOS CONCEPTOS FÍSICOS

La importancia del contexto en la construcción de los conceptos y teorías físicas ha sido puesta de manifiesto desde múltiples aspectos. Las condiciones históricas, en especial, los momentos de transformaciones conceptuales importantes (Kuhn, 1962), han sido determinantes para los grandes cambios

* *Laboratorio de Cognición, Cibernética y Aprendizaje de la Ciencia, Centro de Instrumentos, Universidad Nacional Autónoma de México*

en las concepciones físicas, puesto que culminan en la construcción de nuevas teorías, pero también las condiciones del desarrollo de la comunidad científica en un momento dado han tenido una influencia importante (Holton, 1998). Sin embargo, además de las condiciones generales que implican los aspectos históricos y sociales, el propio contexto físico, esto es, el medio físico al cual se refieren las condiciones iniciales y el campo de estudio, también ha mostrado tener influencia en el desarrollo de los conceptos. Por ejemplo, la ley de conservación de la energía podía haber sido establecida con los elementos que se habían desarrollado en mecánica, al menos, desde el siglo XVIII. Sin embargo, es hasta que la interacción entre procesos térmicos y mecánicos cobra importancia en el siglo XIX, que se presentan las condiciones para el establecimiento de esa ley, a pesar de que había habido formulaciones de conservación para la energía cinética y la cantidad de movimiento por Descartes y Helmholtz (Lightman, 1992; Olenick, Aposto y Goodstein, 1985). Otro ejemplo es el concepto de campo eléctrico y la interacción electromagnética en el que, a pesar de contar con una representación de la fuerza de interacción eléctrica en el siglo XVIII, no es hasta que la idea de acción a distancia se ve modificada por la de medio continuo propuesta por Faraday que la noción de campo eléctrico se genera a raíz de su comparación con los patrones de fuerza magnéticos, dando lugar a representaciones espaciales y analogías con medios como los fluidos, que llevaron a la consecución de las leyes de Maxwell (Nersessian, 1992).

El desarrollo de los conceptos de presión y flotación, su relación con el contexto físico

El concepto de presión tiene una larga historia cuyos orígenes, como los de muchos conceptos básicos de la física, aparecen en la época griega. Los griegos resolvieron problemas relacionados con la presión atmosférica, creando la idea de la imposibilidad de la existencia del vacío. Con esa hipótesis, aspectos comunes como tomar agua por un popote o el sifón se explicaban como una reacción de la naturaleza para evitar que el vacío fuese posible. Es importante señalar que, sin embargo, la idea de la imposibilidad del vacío no provenía, al menos de manera directa, del intento de explicación de esos fenómenos. El convencimiento de que el vacío no podía ser un ente de la naturaleza tiene sus orígenes en las consideraciones de espacio y movimiento. Considerar la existencia del vacío llevó, por ejemplo a Aristóteles, a pensar que al no haber un lugar extenso y continuo, todo objeto cabría en él y, o bien no podría moverse o su velocidad sería infinita. Esta relación entre espacio y movimiento y su conclusión en cuanto a la no existencia del vacío fue adoptada por personajes de fines de la Edad Media como Jandum y Alberto de Sajonia (Gallegos, 1998).

Aceptada la imposibilidad del vacío por razones abstractas, más que determinada por la fenomenología, podía ser aplicada a todo tipo de experiencia. Así la explicación de cómo sube un líquido cuando se succiona por un popote o el funcionamiento del sifón se centró en la "acción" que la naturaleza imponía entre el líquido y el aire por medio de

una especie de fuerza que evita la formación del vacío. De esta forma se decía que el líquido seguía al aire. Cabe señalar que todos estos fenómenos que se estudiaron en la antigüedad eran analizados desde un contexto físico caracterizado por la interacción aire-líquido (o aire-objeto).

En otros contextos, por ejemplo, aire-fuego, los griegos admitían la posibilidad de un cierto vacío parcial no continuo. Con ello explicaba Herón que la ventosas aspiraban la materia próxima porque se formaban vacíos parciales, por lo que la naturaleza para evitarlos tendía a juntarse (Gallegos, 1998). En general, las explicaciones de la interfase aire-líquido y aire-fuego eran consistentes y permitían la descripción suficiente de la mayoría de los fenómenos que observaban.

Sin embargo, el problema que surgió al intentar explicar el funcionamiento de la clepsidra cuando se llenaba el tubo con agua sin que cayera por gravedad el líquido, simplemente tapando el extremo superior del tubo (en esencia una pipeta), no contaba con explicaciones suficientes y de tipo mecánico, es decir explicaciones centradas en la acción de un agente —como la fuerza entre líquido y aire— y sólo se afirmaba que era la acción de la naturaleza para evitar el vacío.

Hacia fines de la Edad Media, la concepción abstracta o matemática del espacio había comenzado a tener adeptos como Philoponus y Crescas, por lo que el fundamento espacial de la imposibilidad del vacío había perdido vigencia. Sin embargo, la idea de que la naturaleza aborrecía el vacío se mantuvo como la mejor explicación y persistió aun en personajes como Galileo (Levi,

1989), aunque se admitía cada vez más la existencia parcial o momentánea del vacío.

Es precisamente en la época de Galileo que el problema de la existencia del vacío cambia radicalmente. Este cambio estará asociado al cambio del contexto físico. Giovanni Batista y Torricelli dejan de analizar la interacción aire-líquido y se centran sólo en el aire. El razonamiento que establecen es que el aire, como toda sustancia material, tiene peso y, por consiguiente, si el peso es finito, es posible superar ese peso y formar el vacío. Esta idea está en el centro del experimento de Torricelli, donde interpreta que lo que sostiene a la columna de mercurio es el peso del aire sobre el resto del líquido y que el espacio dejado por el líquido en el tubo no es más que un espacio vacío. Pascal contribuyó a clarificar, con varios postulados, no sólo la posibilidad de la existencia del vacío, sino a hacer notar que podría producirse un espacio vacío tan grande como se quisiera, siempre y cuando se aplicase una fuerza lo suficientemente grande (Koyré, 1977).

El contar con el aire como contexto y no en la interacción aire-líquido llevó a la solución de los antiguos problemas de manera sencilla. Así, el problema del popote o del sifón se explicaban simplemente por el peso del aire; incluso se llegó a retomar las ideas atomistas para interpretar el peso del aire como la acción de las moléculas, “átomos de aire”, superiores sobre las inferiores, como sugería Gasendi (Gallegos, 1998). Como podrá notarse, todas las explicaciones están centradas en el peso del aire; el concepto de presión no aparecía de manera formal. Ello se logra cuando se analizan los líquidos, lo cual

implica, nuevamente, un cambio de contexto físico.

Como hace notar Truesdell (1975), el concepto de presión aparece con el análisis de los líquidos. Ya Newton había puesto atención a las fuerzas en el interior de un líquido, pero no se llegó más allá. Es hasta que se hace el análisis de los líquidos en movimiento que aparece el concepto de presión interna. Jean Bernoulli, quien

Tal vez guiándose por anteriores estudios de las catenarias generalizadas donde había conseguido aislar satisfactoriamente las fuerzas que actúan sobre un elemento infinitesimal de una cuerda, conjeturó que, aislando un cilindro recto infinitesimal de fluido en el seno del mismo, la acción del resto del fluido es la de una presión perpendicular a las caras del cilindro (Truesdell, 1979, p. 120).

Es finalmente Leonhard Euler quien plantea la idea de fluido infinitesimal que está sujeto a la acción de un campo equipotente independiente de la geometría del mismo, con lo que llega al concepto general de presión interna y plantea así el paso a una interpretación molecular estadística de la presión, con la cual se explican los procesos de los fluidos en general.

El caso de la flotación es muy diferente al del concepto de presión. Es un problema de establecimiento de relaciones funcionales más que conceptuales y fue resuelto en primera instancia por Arquímedes quien, con argumentos geométricos en torno al equilibrio y la noción de peso, llegó a una formulación de las condiciones de la flotación. Sin embargo, esta formulación es limitada y casos como el de la flotación en un recipiente finito no podían ser re-

sueltos. Es a partir de los trabajos de Galileo, que utiliza la idea de peso específico y una cierta noción de presión, que se llegará posteriormente, con el concepto de presión, a una explicación generalizada (Snir, 1991).

Como podrá notarse en esta breve revisión del desarrollo del concepto de presión que explica finalmente los fenómenos sencillos como el popote, el sifón o la pipeta y otros como la unión de placas pulidas (contexto aire-objeto), que intrigaron a los griegos y para los cuales sólo quedaba la interpretación de la imposibilidad del vacío, el contexto físico ha tenido un papel relevante. Ello muestra que es en la determinación del análisis de los fenómenos bajo un contexto determinado (aire, aire-líquido, líquido) que se sugieren posibles interpretaciones. Sólo hasta que se han construido conceptos abstractos y generalizables, las explicaciones físicas están más allá del contexto mismo.

EL CONTEXTO FÍSICO EN LAS CONCEPCIONES DE LOS ESTUDIANTES

Como se ha apuntado, aunque se han llevado a cabo algunos estudios con relación al contexto físico y el aprendizaje o la construcción de las nociones científicas en los estudiantes (Engel y Driver, 1986; Tytler, 1998), éstos son escasos e insuficientes. Entre los aportes de esos trabajos destaca la consistencia que, para cada contexto físico, presentan las ideas y explicaciones de los alumnos. Por otro lado, si se acepta la existencia de un cierta semejanza entre los procesos históricos y el desarrollo conceptual de los alumnos (Piaget y García, 1982; Clement, 1983; Gallegos, 1998), entonces es necesario analizar las concepciones y

representaciones de los alumnos en los posibles contextos físicos que, para un problema como el de la presión, se presentaron en la historia de la física. La hipótesis es que, efectivamente, el contexto físico implica diferencias en las nociones o ideas previas que los alumnos utilizan para explicar los fenómenos, como influyó en el desarrollo histórico de los conceptos.

Para el análisis propuesto, se utilizaron los datos de un trabajo llevado a cabo con estudiantes del bachillerato en torno a los conceptos de presión y flotación (Flores *et al.*, 1993, y Flores y Gallegos, 1998). A continuación se describe la metodología utilizada en la averiguación de las ideas de los alumnos y la forma de análisis seguida.

METODOLOGÍA

Sujetos. La población consistió en 314 alumnos del último nivel del bachillerato seleccionados de acuerdo con su rendimiento académico (proporcionado por sus profesores): 173 de alto rendimiento; 141 de bajo rendimiento. Los alumnos fueron seleccionados de las nueve escuelas preparatorias de la UNAM. La distribución por áreas fue: 104 estudiantes del área I (física e ingeniería), 113 del área II (químico biológicas) y 97 del área III (humanidades). Además de la distribución por área, se establecieron las categorías de género (153 hombres, 161 mujeres) y rendimiento (173 de alto rendimiento y 141 de bajo rendimiento).

Cuestionario. Para la construcción del cuestionario, se llevaron a cabo entrevistas clínicas centradas en procesos experimentales de flotación y presión. A partir de las repuestas de los alumnos y

del análisis de cuestionarios de otros trabajos sobre ideas previas en presión y flotación (Engel y Driver, 1986; Rollnick y Rutherford, 1990; de Berg, 1992; Inhelder y Piaget, 1972) se estableció un cuestionario con 14 preguntas; 7 abiertas y 7 cerradas. En las respuestas cerradas se pedía, además, la justificación de la elección. Los contextos fueron: aire (5 preguntas); aire-agua (3 preguntas) y agua (6 preguntas). La selección de los contextos y el número de preguntas guarda estrecha relación con el proceso histórico descrito en el que la interacción más inmediata es aire-agua, posteriormente cuando el análisis se centra en el aire, se llega a la existencia del vacío y al concepto de presión (como peso), y finalmente de manera más abstracta, cuando el contexto es el agua (líquidos en general) se llega al refinamiento del concepto de presión. Una muestra de las preguntas del cuestionario puede verse en Flores *et al.* (1993) y Flores y Gallegos (1998).

Análisis. El primer aspecto del análisis fue la consistencia de las respuestas cerradas con relación a su justificación, de lo cual se encontró que 13% de las respuestas de los alumnos no pudieron ser consideradas. Los criterios para la inconsistencia fueron: incomplitud, referencia a otro problema e incoherencia.

Las preguntas restantes fueron agrupadas por categorías. Éstas se determinaron con las ideas de los alumnos que presentaban un enunciado completo y coherente. Además, para tomar en cuenta una categoría se fijó un límite de diez respuestas que se podían agrupar en ella debido a su equivalencia de significado. Una vez determinadas las categorías se efectuó un análisis de va-

rianza para las variables de género, rendimiento y área y, posteriormente, se estableció la representación conceptual de los alumnos en función del contexto (aire, aire-agua, agua). Finalmente, se efectuó una comparación con el desarrollo histórico.

RESULTADOS

Variables de género, rendimiento y área. La lista de frecuencia de las categorías para las variables área, género y rendimiento se presentan en el cuadro 1.

A partir de los datos del cuadro 1, el análisis de varianza muestra que la mayoría de las ideas de los alumnos es independiente del género, rendimiento (nivel académico) y área de estudio, excepto para las siguientes categorías: B₅ (F = 11.9076, p < 0.005) y F₆ (F = 9.1706; p < 0.005) para rendimiento y C₃ (F = 7.1053; p < 0.01) y F₂ (F = 6.7687; p < 0.01) para género. De ello se infiere que los alumnos de alto rendimiento muestran nociones correctas acerca de la presión, pero aparece confusión con la densidad (B₅ y F₆). Por su parte, en cuanto a

Cuadro 1. Frecuencias de las categorías para las variables de área, género y rendimiento

Categorías	Género		Rendimiento		Área		
	Masculino	Femenino	Alto	Bajo	1	2	3
A1	56	52	31.9	36.2	32.7	30	39.2
B1	78	90	56.6	49.6	55.7	57.5	46.4
B2	13	7	5.8	7.1	7.7	3.5	8.2
B3	10	6	6.9	2.8	7.7	2.6	5.2
B4	38	32	22.5	22	18.3	25.7	22.7
B5	13	18	15	3.5	11.5	9.7	8.2
C1	26	29	16.1	19.1	21.1	15	16.5
C2	38	45	26	26.9	30.8	26.5	21.6
C3	2	11	4	4.2	7.7	1.8	3.1
D1	21	22	14.4	12.8	16.3	12.4	12.4
D2	20	10	12.7	5.7	6.7	7.1	15.5
D3	37	31	19.1	35	20.2	21.2	23.7
D4	12	19	11.6	11	11.5	12.4	5.2
D5	13	8	8.1	7	6.7	7.1	6.2
D6	41	29	21.4	33	21.1	24.8	20.6
E1	61	57	37	54	27.9	44.2	40.2
E2	40	37	27.2	30	28.8	25	21.6
E3	29	29	16.2	30	23.1	15	17.5
E4	23	23	14.4	21	19.2	11.5	13.4
F1	44	41	26	40	23.1	30.1	27.8
F2	30	46	28.9	28	26.9	25.7	21.6
F3	9	12	6.9	9	5.8	8	6.2
F4	22	28	15.6	23	9.6	18.6	19.6
F5	5	13	6.7	7	8.6	4.4	4.1
F6	19	14	15	7	9.6	15.9	5.1
F7	5	7	4.6	4	5.8	3.5	2.1
F8	2	8	3.5	4	2.9	3.5	3.1
F9	5	11	5.8	6	6.7	1	8.2
G1	47	53	31.8	45	30.8	32.7	31.9

género, los atributos como peso y forma son los factores determinantes respecto a problemas de flotación en las respuestas de las mujeres (C_3 y F_2).

Representación de los alumnos en función del contexto. Por representación de los alumnos se comprende el conjunto de ideas previas (categorías) para cada uno de los contextos establecidos (aire, aire-agua y agua) y las implicaciones de interpretación de los fenómenos físicos que éstos implican. A continuación se muestran para cada contexto las categorías principales de los alumnos.

Contexto aire-agua (preguntas del cuestionario 5, 7, 11 y 13)

D_1 : El aire encerrado tiene más presión.

D_2 : El aire atrapado sostiene a los objetos.

D_3 : El aire atrapado empuja a los objetos.

D_5 : El aire empuja hacia abajo.

B_1 : La presión es una fuerza que empuja o comprime.

B_2 : Existen diferentes tipos de presión.

B_3 : La presión se ejerce en todas direcciones.

Como puede observarse de las categorías para este contexto físico, aunque las preguntas tienen que ver con la interacción líquido-gas, los estudiantes enfocan sus interpretaciones de la situación física planteada sólo desde el punto de vista del aire. Por otro lado, aparece la fuerza como acción debida a una propiedad del aire (D_1 , D_2 y D_3). Aunque el término presión es explícito, tiene la connotación de fuerza (B_1). Un aspecto relevante es que los alumnos no invocan la ac-

ción del vacío. Esto es debido a que para la mayoría de los alumnos el vacío es algo que puede existir y que no tiene por parte de la naturaleza ningún impedimento, como se pensaba en la antigüedad. Sin embargo, las "acciones-fuerza" que atribuyen al aire son semejantes a las históricas. Así, el aire tiene la propiedad de empujar o jalar, atribuciones que dan los estudiantes simplemente con la finalidad de tener un efecto, por ejemplo, para sostener una columna de líquido. Como puede apreciarse, la explicación es equivalente a la ofrecida por los griegos en cuanto que se presenta una fuerza entre el aire y el agua. Por otro lado, el que los alumnos centren las explicaciones en las "propiedades de acción del aire" implica que su representación física no está centrada en la interacción entre los medios, sino, como apareció posteriormente con Gionvanni y Torricelli, en uno de los medios. Sin embargo, las explicaciones de los alumnos no consideran el peso del aire, esto es la atmósfera, sino al aire como una sustancia con propiedades especiales.

Contexto aire (preguntas 1, 4, 8, 11)

C_1 : En el vacío la presión junta los objetos.

C_2 : En el vacío no hay gravedad, por lo que los objetos no pesan.

D_2 : El aire atrapado sostiene los objetos.

D_4 : El aire atrapado empuja hacia arriba.

D_5 : El aire atrapado empuja hacia abajo.

D_6 : Los gases menos pesados que el aire suben.

Cuando el contexto está determinado principalmente por el aire, aparece la noción de vacío en preguntas como la de mantener un dardo pegado en un vidrio, o cuando la pregunta, de manera explícita, introduce ese concepto. Los estudiantes, a diferencia del pensamiento de los griegos, aceptan la existencia del vacío de manera natural, pero le atribuyen propiedades de acción, semejantes a las que atribuyen al aire (C_1), esto es, de jalar o empujar, además de la conocida idea previa de que en el vacío los objetos no pesan (C_2). En cuanto a la acción del aire, se centra en empujar y jalar. Esto en principio podría considerarse como una noción primera de presión interna, sin embargo, dependiendo del problema que se plantee, esta acción tiene alguna dirección privilegiada, hacia arriba, o hacia abajo (D_4 y D_5). Esto indica una correspondencia importante con el concepto de fuerza y no con el de presión. Por otro lado, no hay indicios sobre la naturaleza de esa fuerza. Es una propiedad que el aire manifiesta cuando está sujeto a condiciones; en especial encerrado en un contenedor. Como puede apreciarse, no hay diferencias sustanciales (salvo admitir la existencia del vacío) entre las concepciones en los contextos aire-agua y aire. El peso del aire sigue sin ser considerado y todos los fenómenos son explicados en función de una propiedad sin origen específico. Esto marca nuevamente una cierta distancia con el proceso histórico en el cual, cuando el aire es tomado en cuenta como el factor principal, lo es por ser considerado una sustancia con peso y es mediante ese peso atmosférico que actúa. Tal aspecto no aparece en las ideas de los estudiantes. En el caso de la flotación en el aire, los alumnos la reducen a

la interacción entre gases (D_6) y no entre el aire y un objeto sólido. Esto lleva a considerar que no han establecido ninguna relación entre los procesos de flotación en líquidos y en gases.

Contexto agua (preguntas 2, 3, 6, 7, 9, 10)

B_1 : La presión es una fuerza que empuja o comprime.

E_1 : El agua empuja a los objetos.

E_2 : La presión varía con la profundidad.

E_3 : La presión está en el fondo.

E_4 : La variación de la presión con la profundidad es debida al peso del líquido.

F_1 : La flotación depende del peso del objeto.

F_2 : La flotación depende de la geometría del objeto.

F_4 : La flotación depende del volumen del objeto.

F_5 : Los objetos flotan en proporción inversa a su peso.

F_6 : Los objetos flotan si la densidad del objeto es mayor que la del agua.

F_8 : Si dos objetos tienen la misma densidad entonces flotan igual.

F_9 : Los objetos de igual forma flotan igual.

G_1 : Los objetos flotan si la densidad del objeto es menor que la del agua.

Como en los casos anteriores, la presión sigue siendo considerada una fuerza y aparece una cierta noción de presión interna. Pero, a diferencia de lo que ocurre para el contexto donde el aire está involucrado, en el agua sí se considera su peso. Así, aspectos como que la presión está en el fondo o que ésta varía con la profundidad, tienen por explicación el peso del líquido. En estas

ideas puede notarse la manera en que se presenta una situación diferente entre el desarrollo histórico y el que manifiestan los alumnos del bachillerato. Mientras que la idea de fuerza como presión y el peso del aire son considerados por Torricelli y Pascal, los alumnos sólo consideran estos aspectos en los líquidos con los cuales han tenido directamente una sensación fenomenológica de peso. Desde luego no se presentan indicios claros de la formación del concepto de presión interna ni de los atributos que la diferencien del concepto de fuerza.

Con relación a la flotación, ésta se centra principalmente en los atributos del objeto, esto es, su peso, forma, volumen o densidad. Quienes interpretan la flotación como relación entre densidades lo hacen tanto de forma correcta (G_1) como incorrecta (F_0), lo cual puede implicar que las dificultades usuales en la comprensión de la densidad (Rowell y Dawson, 1977) han contado con información confusa. El concepto de presión no aparece en las explicaciones de la flotación, si bien en las categorías E_2 y E_3 aparece este concepto y su variación con la profundidad, es en referencia a una pregunta relativa a la velocidad de salida de un chorro de agua en un envase cilíndrico con perforaciones a diferentes alturas.

CONCLUSIONES

El papel del contexto físico en la formación y comprensión de conceptos. Como puede notarse en el desarrollo histórico, el contexto físico, esto es, el medio considerado para la formulación de los conceptos físicos, es un factor importante puesto que permite orientar la repre-

sentación de las nociones y los problemas fenomenológicos y, así, contribuir a la construcción y precisión de los conceptos. En el momento en que los conceptos físicos van más allá de esta dependencia del contexto físico, es entonces cuando son aplicables a gran generalidad de situaciones. El concepto de presión analizado es una clara muestra de cómo, partiendo de nociones tan alejadas como el "*horror vacui*" y algunas más cercanas como el peso del aire, se llega a la formulación de un concepto generalizable en toda circunstancia. Cabe mencionar que esto se logra solo cuando el concepto tiene los atributos abstractos y matemáticos necesarios.

Esto se observa también en el caso de los estudiantes, aunque no como una estrecha correspondencia entre el proceso histórico y el de los alumnos. Los resultados muestran cómo cuando en el contexto interviene el aire, éste es el factor dominante y los estudiantes centran sus explicaciones en las propiedades que le atribuyen. Entre las más importantes está la de ser, el aire, un agente causal, es decir, el aire ejerce acción de empujar o jalar y las direcciones en que esto ocurre estarán determinadas por las condiciones del fenómeno observado.

Es notorio que a pesar de encontrarse en el último año del bachillerato, los alumnos analizados aún no consideran el aire como una sustancia con masa (aunque a preguntas expresas sí lo hacen), lo que les lleva a no tomar en cuenta el peso del aire en sus explicaciones y, por consiguiente, a la presión atmosférica, que fue uno de los pasos importantes hacia fines de la Edad Media para demostrar la existencia del vacío. La

concepción que presentan los alumnos de que el aire empuja podría dar indicios de una idea incipiente sobre presión interna, pero cuando, como muestran los datos, también se le asocia la acción de jalar y establecen direccionalidad a esa acción, esta consideración se torna difusa.

Cuando la problemática se centra en el agua, toda la acción se identifica como empujar. Esto les lleva a acercarse a la idea de presión interna. Sin embargo, cabe hacer notar que para los alumnos la presión sigue representando una fuerza con sus atributos vectoriales. Por ello, no aciertan a interpretar la presión como una entidad abstracta que requiere elaborar la consideración, también abstracta, de una unidad de fluido. Tampoco se tiene presencia en las ideas de los estudiantes de una interpretación molecular que les llevaría, de manera más directa, a interpretar la presión como una acción de las moléculas, en la cual el concepto de fuerza, tan difuso en sus ideas, tendría cabida para explicar la naturaleza de la presión.

Con las ideas de los alumnos sobre la presión como fuerza, puede notarse la distancia, que se va haciendo más grande conforme el proceso histórico transcurre, entre el desarrollo de los conceptos físicos y el de construcción de nociones físicas de los estudiantes.

La flotación presenta un panorama distinto donde es claro el reconocimiento de una fuerza o empuje del líquido, o bien una relación entre las densidades del objeto y el líquido (aunque sea considerada de forma inversa). Este caso no se presenta para el aire, puesto que a pesar de que dicen que el aire empuja, esto no está asociado a un fe-

nómeno de flotación, a menos que se trate de gases (D_g). Aquí, como en el caso histórico, parece haber una representación física inducida de manera directa por la experiencia, en cuanto al tipo de interacción requerida para la flotación, en especial la condición de equilibrio. Sin embargo, mientras que en el proceso histórico esta noción de equilibrio es utilizada para formular de manera precisa las relaciones de la flotación y se pasa a la consideración de casos más complejos, en los estudiantes no se lleva más allá y se introducen otros factores a los que se atribuye la flotación de manera poco consistente y confusa. Así la forma, el volumen, la superficie de contacto y, principalmente, el peso, aparecen como los factores determinantes de la flotación para los alumnos. Esta diversidad no relacionada de factores impide a los alumnos la construcción de una representación funcional única de la flotación. Por otro lado, es importante señalar que no hay vinculación entre el concepto de presión y la flotación tanto en líquidos como en gases. Eso muestra la disociación conceptual que tienen los estudiantes, probablemente debida a la acción escolar.

CONSIDERACIONES PARA LA ENSEÑANZA

¿Se pueden tratar de la misma forma didáctica los conceptos físicos? A partir de los resultados mostrados en que los estudiantes presentan representaciones distintas y un proceso de comprensión que puede verse como un desarrollo parcial del concepto de presión, cabe preguntarse si hay diferencias en la comprensión de los conceptos físicos. Una respuesta afir-

mativa puede venir de al menos tres vertientes. Una del propio análisis epistemológico y estructural de las teorías científicas en el cual los conceptos de la física tienen diferentes funciones y por tanto niveles de complejidad y abstracción (Flores y Gallegos, 1993). Además de que su papel dentro de la estructura de una teoría le puede dar el carácter de elemento principal o axiomático, o bien relacional (Flores, 1999). Otra vertiente es el propio desarrollo histórico de los conceptos en el que se muestra cómo cada concepto ha tenido un desarrollo particular y, aunque se trate de conceptos estrechamente relacionados dentro del entramado teórico, algunos han tenido un proceso mucho más largo que otros y con múltiples transformaciones. El concepto mismo de presión es un buen ejemplo, otros son los conceptos de calor, energía, ímpetu, etc. La tercer vertiente procede de la visión de aprendizaje como cambio conceptual. Efectivamente, las distintas aproximaciones al cambio o transformación conceptual reconocen las diferencias de cada concepto y, por tanto, sus formas específicas de aprendizaje. Aun las posiciones que se aproximan mediante el desarrollo de estructuras genéricas como Inhelder y Piaget (1972) o Carey (1985), quien además resalta la importancia de la acumulación del dominio de conocimientos específicos, muestran que hay condiciones específicas de construcción relacionadas con el contenido, esto es con los conceptos. Otras como Chi (1992), y Vosniasdou y Ioannides (1998) reconocen esquemas clasificatorios para los conceptos y otros más, de corte epistemológico como Strike y Posner (1985) y DiSessa (1993) también ubican un contexto específico para cada concep-

to, bien mediante la ubicación de una ecología conceptual para el primero o en el entramado de conceptos que se ubican en posiciones jerárquicas distintas conforme el concepto se hace más explícito y suficiente para las explicaciones científicas en el caso del segundo. Los resultados de este trabajo apoyan esa visión de aprendizaje introduciendo, además, el factor específico del contexto físico para la comprensión de los conceptos.

¿Qué dificultades de aprendizaje presenta el concepto de presión? Uno de los aspectos importantes que muestra el análisis histórico de los conceptos es que proporciona para la enseñanza indicios acerca de la complejidad de los conceptos físicos. En el caso de la presión, por ejemplo, muestra que fue necesario pasar por diversas etapas históricas que van desde la consideración de aspectos totalmente ajenos al concepto como la acción del vacío, la confusión del concepto de fuerza con la presión, hasta la concepción de una caracterización escalar de los fluidos que implica una representación geométrica como la unidad de fluido que los estudiantes no llevan a cabo. La presión también es un concepto complejo porque implica una noción de estructura discreta de la materia para concebir las interacciones en el interior de un medio y por consiguiente con otros medios.

¿Cuál es el papel del contexto físico en la generalización de los conceptos? Los resultados de este estudio extienden lo encontrado por Tytler (1998) para estudiantes del nivel básico a el bachillerato, pero además, muestran de forma más determinante la importancia que tiene el contexto físico en el que se analizan los conceptos para la construcción de las

representaciones conceptuales de los alumnos. Este aspecto resulta relevante porque se tiene por creencia común, entre profesores y textos, que es suficiente con enseñar los conceptos básicos en abstracto y después aplicarlos a algunas situaciones o bien intentar que los alumnos, partiendo de una situación específica por lo general experimental, alcancen el nivel de comprensión y de generalidad que tienen los conceptos físicos. Sin embargo, como se ha mostrado, los alumnos no desarrollan la generalización conceptual supuesta y, por el contrario, construyen representaciones específicas dependiendo del contexto en el que el concepto físico es enseñado. La dependencia mostrada con el contexto físico apoya la visión de que los estudiantes no construyen modelos genéricos o teorías como ha sido propuesto (Glynn y Duit, 1995 y Clement, 1983), sino que construyen representaciones y concepciones parciales de la realidad como los primitivos fenomenológicos propuestos por diSessa (1983, 1993) o por modelos parciales posibles (Flores y Gallegos, 1998). Como podrá notarse, esto tiene importantes repercusiones para la enseñanza puesto que, en primer lugar, indica en cuales aspectos específicos es importante poner atención en los desarrollos curriculares y didácticos.

Los elementos analizados y los resultados mostrados permiten hacer las siguientes consideraciones didácticas:

- Los conceptos científicos requieren ser ubicados por los estudiantes en diversos contextos o circunstancias fenomenológicas, así como en un proceso evolutivo o, en su caso, de transformación radical. Por tanto es necesario, en los procesos educativos,

considerar el tiempo necesario para que este proceso conceptual complejo se lleve a cabo. Es importante hacer notar que esto no ocurre frecuentemente y que tanto los currículos como los procesos que se efectúan en el aula no toman en cuenta este desarrollo conceptual y no otorgan ni el tiempo ni las condiciones fenomenológicas pertinentes.

- En el caso específico del concepto de presión, no es suficiente con un enunciado como el de fuerza por unidad de área; esta definición no proporciona a los estudiantes indicios para interpretar la presión en los fluidos. Por ello, es necesario que se analice con detalle este concepto tanto en líquidos como en gases, preferentemente en forma paralela e introduciendo una visión molecular.
- Aunque no es el caso de todos los estudiantes, una buena parte de ellos tiene problemas con la interpretación del vacío como agente causal. Por lo tanto es conveniente presentar a los alumnos un panorama histórico de este concepto.
- Las actividades experimentales son necesarias pero no suficientes; es importante promover el desarrollo de esquemas y modelos que impliquen la construcción abstracta de las nociones físicas. En física la capacidad de representación abstracta (y en su caso matemática) es sumamente importante porque es parte indisoluble de la comprensión de la estructura de las teorías físicas. De no tener esta representación abstracta, el problema de la generalización y de la transposición didáctica resultarán, para los estudiantes, muy complejas.

Referencias

- CAREY, S. (1985), *Conceptual change in childhood*, Massachusetts, MIT Press.
- CHI, M. T. H. (1992), "Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science", en R. Giere (ed.), *Cognitive Models of Science*, vol. XV, University of Minnesota Press, pp. 129-186.
- CLEMENT, J. (1983), "A conceptual model discussed by Galileo and used intuitively by physics students", en Gentener y Stevens (eds.), *Mental models*, Nueva Jersey, Lawrence Erlbaum Associates, pp. 325-339.
- DEBERG, K. (1992), "Student's thinking in relation to pressure-volume changes of a fixed amount of air: the semiquantitative context", en *International Journal of Science Education*, vol. 14, núm. 3, pp. 295-303.
- DI SESSA, A. (1983), "Phenomenology and evolution of intuition", en Gentener y Stevens (eds.), *Mental models*, Nueva Jersey, Lawrence Erlbaum Associates, pp. 15-34.
- (1993), "Toward an epistemology of physics", en *Cognition and Instruction*, vol. 10, núms. 2 y 3, pp. 105-225.
- ENGEL C. E. y R. Driver (1986), "A consistency in the use of students's conceptual framework across different task contexts", en *Science Education*, vol. 70, núm. 4, pp. 473-496.
- FLORES C. F. (1999), "Estructura y procesos de inferencia en las ideas físicas de los estudiantes: modelos semiformalizados sobre ideas previas", tesis de doctorado, UNAM.
- FLORES C. F. y C. L. Gallegos (1998), "Partial possible models: an approach to interpret students' physical representation", en *Science Education*, núm. 82, pp. 15-29.
- FLORES F., L. Gallegos, H. Covarrubias., E. Vega, B. García (1993), "Partially possible models and concept of flotation and pressure", en *Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Nueva York, Cornell University (extenso) (gopher://mann77.mannlib.cornell.edu.9570/00).
- GABEL D. (1994), *Handbook of research on science teaching and learning*, Nueva York, McMillan Publishing Company.
- GALLEGOS L. (1998), "Formación de conceptos y su relación con la enseñanza de la física", tesis de maestría, UNAM.
- GLYNN S.M. y R. Duit (1995), "Learning science meaningfully: Constructing conceptual models" en Glynn y Duit (eds.), *Learning science in school: Research reforming practice*, Nueva Jersey, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, pp. 3-33.
- HOLTON G. (1998), *Einstein, historia y otras pasiones: La rebelión contra la ciencia en el fin del siglo XX*, Madrid, Taurus.
- INHOLDER B. y Piaget J. (1972), *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*, Buenos Aires, Paidós.
- KOYRÉ A. (1977), *Estudios de historia del pensamiento científico*, México, Siglo XXI.
- KUHN T.S. (1962), *La estructura de las revoluciones científicas*, México, Fondo de Cultura Económica.
- LARKIN J. (1983), "The role problems representation in physics", en Gentener y Stevens (eds.), *Mental models*, Nueva Jersey, Lawrence Erlbaum Associates, pp. 75-98.
- LEVI E. (1989), *El agua según la ciencia*, México, CONACYT-Castell.
- LIGHTMAN A. (1992), *Great ideas in physics*, Nueva York, McGraw-Hill.
- NERSESSIAN N.J. (1992), "How do scientist think? Capturing the dynamics of conceptual change in science", en R. Giere (ed.), *Cognitive models of science*, University of Minnesota Press, vol. XV, pp. 3-44.
- OGBORN J. (1985), Understanding students' understanding: An example from dynamics, en *International Journal of Science Education*, vol. 7, núm. 2, pp. 141-150.
- OLENICK R., T. Apostol y D. Goodstein (1985), *The mechanical universe: Introduction to mechanics and heat*, Cambridge, Cambridge University Press.
- PIAGET J. y R. García (1982), *Psicogénesis e historia de la ciencia*, México, Siglo XXI.
- PFUND H. y R. Duit (1994), "Bibliography students' alternative frameworks and science education" (versión electrónica), IPN, Kiel University.
- ROLLNICK M. y Rutherford M. (1990), "African primary school teachers: What ideas do they hold on air and air pressures?", en *International Journal of Science Education*, vol. 15, núm. 4, pp. 363-381.
- ROWELL J. A. y C. J. Dawson (1977), "Teaching about floating and sinking: an attempt to link cognitive psychology with classroom practice", en *Science Education*, núm. 61, pp. 245-253.
- SNIR J. (1991), "Sink or float - What do the experts think?: The historical development of explanations for flotation", en *Science Education*, vol. 75, núm. 5, pp. 595-609.
- STRIKE K. A. y G. Posner (1985), "A conceptual change view of learning and understanding", en West y Pines (eds.), *Cognitive structure and conceptual change*, Academic Press, pp. 211-231.
- TIBERGHEN A. (1994), "Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations", en *Learning and Instruction*, vol. IV, pp. 71-87.
- TRUESDELL C. (1975), *Ensayos de historia de la mecánica*, Madrid, Tecnos.
- TYTLER R. (1998), "Children's conceptions of air pressure: exploring the nature of conceptual change", en *International Journal of Science Education*, vol. 20, núm. 10, pp. 929-958.
- VOSNIASDOU S. y C. Ioannides (1998), "From conceptual development to science education: a psychological point of view", en *International Journal of Science Education*, vol. 20, núm. 10, pp. 1213-1230.