



01071
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

3
24

**FORMACIÓN DE CONCEPTOS
Y SU RELACIÓN
CON LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA**

Tesis
que para obtener el grado de
Maestra en Enseñanza Superior

presenta:

Leticia Gallegos Cázares

Directora de Tesis
Dra. Sara Rosa Medina M.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

México, D.F.

262026
1998



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mi esposo

Fernando, compartir la vida contigo en todo es construir nuestro presente y poder pensar en el futuro.

A mis queridos hijos

Lety, Fer y Rodri quienes representan que el futuro existe.

A mis queridos padres:

Todo aquello que se aprende con el ejemplo se convierte en parte de uno mismo.
Gracias por ser mi ejemplo.

AGRADECIMIENTOS

A mi directora de tesis la Dra. Sara Rosa Medina quien me apoyó durante el desarrollo de este trabajo, gracias por sus valiosos comentarios y orientación.

Al Dr. Jorge Barojas quien me brindó con sus comentarios y aportaciones un valioso apoyo en la revisión del trabajo.

A Martín y Humberto por los innumerables momentos en los que me han apoyado, pero sobre todo por su amistad.

Al Departamento de Enseñanza Experimental de las Ciencias del Centro de Instrumentos en donde siempre he encontrado la amistad de todos sus integrantes.

INDICE

Introducción	iii
---------------------------	------------

Capítulo 1

Lo que los alumnos saben sobre los conceptos

Físicos. Las concepciones alternativas.....	1
La investigación sobre las concepciones alternativas.....	2
Las concepciones alternativas en Física	7
Características generales de las concepciones alternativas.....	31
Posibles causas que contribuyen en la formación de las concepciones Alternativas.....	34
Implicaciones de la investigación en concepciones alternativas en la educación	38

Capítulo 2

Las concepciones alternativas de presión y vacío.....	41
Resultados de investigaciones recientes sobre los conceptos de presión y vacío	42
Síntesis de la revisión bibliográfica.....	56
Análisis sobre las ideas de presión y vacío relacionadas con el aspecto fenomenológico	61
Los conceptos de vacío y presión y su relación con el contexto fenomenológico.....	74
Implicaciones para la enseñanza.....	77

Capítulo 3

La construcción del concepto presión	81
Reconstrucción histórica de los conceptos de presión y vacío	83
Problemas fenomenológicos y sus explicaciones en el desarrollo histórico	87
Un cambio de visión sobre el vacío	97
Un cambio de paradigma. El desarrollo del concepto de presión	98
Implicaciones para la enseñanza.....	115

Capítulo 4

Comparación entre las ideas sobre el vacío, el peso del aire y la presión atmosférica	117
Comparación entre los modelos históricos y los modelos de los estudiantes	121
Modelos históricos que pueden vincularse con las ideas de los estudiantes	136
Implicaciones para la enseñanza.....	138

Capítulo 5

Propuesta didáctica y consideraciones finales	145
¿Cómo son las ideas de los alumnos comparadas con las ideas en la historia?.....	150
Sugerencias para la planeación de la enseñanza del concepto de presión	157
Consideraciones finales.....	168

Referencias Bibliográficas	173
---	-----

INTRODUCCIÓN

Durante la década de los setentas, las primeras de investigaciones sobre las ideas físicas de los estudiantes, impactó la conciencia educativa de profesores universitarios de países como Estados Unidos, Inglaterra y Francia. Estas investigaciones mostraron que estudiantes universitarios respondían a problemas sencillos de igual forma en que lo haría un estudiante de una escuela secundaria. Estos trabajos pusieron de manifiesto que mientras los profesores de ciencia, mantenían una “creencia” sobre el nivel académico de sus estudiantes, ellos mantenían sus propias “creencias” sobre los fenómenos cotidianos sin ir más allá de una vinculación parcial con el conocimiento científico. Diversas preguntas sobre la educación en el área de ciencias se plantearon tratando de dar una respuesta a las ideas mostradas por los estudiantes y a la influencia que la escuela tenía sobre ellos.

Este fue el inicio de diversos campos de investigación sobre: las concepciones alternativas de los estudiantes; sus concepciones en ciencia; el desarrollo de los conceptos científicos y el cambio conceptual, por mencionar tan sólo algunos. Durante este proceso, diversos enfoques teóricos tuvieron que ser incorporados, diversas líneas y posturas teóricas fueron desarrollándose, la mayoría de las veces de forma implícita durante el transcurso de las investigaciones.

La perspectiva constructivista, presentó la posibilidad de incorporar un marco de referencia epistemológico que diera un cuerpo teórico a estas

investigaciones. En este proceso de desarrollo se encuentra actualmente, la investigación sobre las concepciones alternativas, nombre con el que genéricamente se les conoce. Los estudios realizados están centrados en diferentes áreas del conocimiento científico como son el conocimiento físico, químico, biológico, geográfico, etc... La idea de que las personas construyen su conocimiento con base en las concepciones ya existentes, implica la necesidad de averiguar cuáles son estas ideas previas, cómo se construyen, qué factores influyen y cómo podemos cambiarlas. Estas preguntas han guiado también la investigación en la enseñanza de la física.

Actualmente, este campo educativo se encuentra aún en la fase de recolección de datos y en la construcción de esquemas teóricos. Se conocen algunos aspectos de lo que los estudiantes piensan y algunos otros de su representación sobre ciertos fenómenos, pero aún no se logra entender *cómo construyen sus ideas y cómo pueden transformarse*. Estas dos preguntas constituyen dos de los principales problemas a resolver y son las que se retoman en este trabajo de tesis. Para abordarlas, se toma como ejemplo la construcción en estudiantes del bachillerato de los conceptos físicos; en particular el concepto de presión.

Durante el desarrollo de este trabajo se pretende:

- a) Profundizar en las explicaciones de los estudiantes sobre el concepto de presión.
- b) Establecer un vínculo con en el desarrollo histórico del concepto de presión, como un elemento para interpretar la posible evolución de este concepto en los estudiantes.

Por la similitud con algunas ideas en la historia, el trabajo de interpretación de las ideas de los estudiantes se apoya en el conocimiento sobre la evolución

histórica del concepto de presión. Este tipo de análisis resulta de gran importancia para acceder al planteamiento de algunas posibles propuestas didácticas que aborden y den solución efectiva en la construcción conceptual en los estudiantes del concepto de presión.

En el capítulo uno, se presenta la importancia del campo de las concepciones alternativas en la enseñanza de la ciencia. Se toma como ejemplo de estos trabajos de investigación las concepciones alternativas de los estudiantes sobre diversos tópicos de la física. Los niveles educativos de estos estudiantes corresponden al nivel del bachillerato y licenciatura en la mayoría de los casos y son parte de la evidencia empírica sobre las existencia de estas ideas en los estudiantes. Estos resultados muestran que parte de la información que los estudiantes reciben en la escuela no es incorporada de la manera en que el profesor lo ha pensado o estructurado sino por el contrario, de acuerdo con las ideas preexistentes en la mente de los estudiantes. El resultado de esta interacción, entre el conocimiento escolar y las ideas previas de los estudiantes, parece ser de diversos tipos: a) por un lado puede suceder que el estudiante no comprenda la información que le ha sido presentada y sus ideas son las mismas que antes de la instrucción; b) resulte una mezcla en la que el contenido escolar es cambiado por una interpretación intermedia y c) en el mejor de los casos podría suceder que se presentara el cambio ó un proceso de evolución de los conceptos.

De los resultados de las investigaciones, en enseñanza de la física, es posible conocer algunas de las ideas con las que los estudiantes ingresan en las escuelas. Esta información puede apoyar al profesor durante el desarrollo de su labor docente. Sin embargo, como se presenta en el mismo capítulo, existen enfoques tan diversos que los resultados, en la mayoría de las ocasiones,

difícilmente puede ser integrados y estructurados, de manera que sean claros y puedan ser útiles a los profesores. Algunos factores que considero dificultan esta integración se deben a que aún falta claridad en la metodología para la obtención y análisis de las ideas previas y, lo que es más importante, la estructuración de un marco de referencia teórico en el que los datos puedan ser analizados de manera más uniforme por los investigadores.

Otro punto a destacar, es la importancia que se da al aspecto experimental, señalando que los estudiantes no pueden construir ideas sobre un cierto fenómeno si es que éste no ha sido observado, con lo que resalta una visión empiricista de la ciencia. ¿Cómo se pueden identificar, a través de los resultados de la investigación, los principales problemas a los que se enfrenta el estudiante en el proceso de enseñanza aprendizaje? Un análisis de mayor profundidad en las ideas de los estudiantes se hace necesario.

En el capítulo dos, se desarrolla a profundidad un estudio sobre las ideas de los estudiantes sobre el concepto de presión. Al respecto, es interesante el desarrollo de ideas como el vacío, que no parecen estar ancladas en una fase experimental, el concepto de vacío que tienen los estudiantes les explica ciertos fenómenos que en la mayoría de las ocasiones, no tienen que ver directamente con este concepto. Los resultados sobre ideas alternativas o preconcepciones, permiten tener un panorama general de las ideas más comunes que expresan los estudiantes ante ciertos fenómenos, sin embargo, esto no sucede con las explicaciones causales, éstas habrá que buscarlas por medio de otras líneas de investigación.

¿Puede la historia del desarrollo del concepto de presión ayudar a entender el proceso de desarrollo conceptual de los estudiantes? En el capítulo tres, un

análisis sobre los conceptos de presión y vacío, lleva a considerar el aspecto histórico como uno de los posibles caminos que se pueden encontrar para entender lo que ocurre con la construcción de los conceptos científicos. En el desarrollo histórico del concepto de presión, se encuentra que este concepto surge muchos años después que el concepto de vacío. ¿Cómo es que este concepto fue construido en la historia de la ciencia? ¿Existe relación entre la evolución conceptual de la ciencia y la evolución conceptual que ocurre en los estudiantes? En el capítulo tres, se presentan algunos modelos explicativos de ciertos fenómenos que han llevado a la construcción de los conceptos de vacío y presión. Estas ideas analizadas como la evolución del concepto de presión, permiten comparar en el capítulo cuatro, las ideas de los estudiantes sobre el vacío como elementos explicativos de los fenómenos, así como su relación con los modelos utilizados por los griegos. La paulatina construcción del concepto de presión sustituye al concepto de vacío y la forma de construcción de sus características se parece a la que muestran algunos estudiantes al explicar los mismos fenómenos con base en el concepto de presión.

¿Qué puede rescatarse del seguimiento del concepto de presión? La discusión y enlace entre los dos capítulos precedentes se establece en el capítulo cinco, que reúne la información y la compara presentando las distintas teorías físicas que se encuentran en el desarrollo histórico. Esta comparación permite establecer claros vínculos entre la construcción del concepto de presión y el proceso de desarrollo en el cual los estudiantes del bachillerato. Permite también reconocer los obstáculos epistemológicos que históricamente tuvieron que ser superados y que también deberán ser superados por los estudiantes en su proceso de construcción de los conceptos físicos. Por último, esta visión global nos da posibilidades para establecer una serie de recomendaciones para la enseñanza del tema que permite establecer un conjunto de posibilidades de

CAPÍTULO 1

LO QUE LOS ALUMNOS SABEN SOBRE LOS CONCEPTOS FÍSICOS LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS

“Si tuviese que reducir toda la psicología educativa
a un solo principio, enunciaría éste:
el factor más importante que influye en el aprendizaje
es lo que el alumno ya sabe.
Averíguese esto y enséñese en consecuencia”
Ausubel, Novak y Hanesian¹

En los últimos años, la investigación en la enseñanza de la ciencia se ha enfocado en gran medida hacia la investigación de las ideas y conocimientos previos de los alumnos en muy diversas áreas del conocimiento. Desde los trabajos piagetianos sobre la construcción del conocimiento científico, el desarrollo de conceptos ocupa un lugar de particular interés. Su importancia está vinculada con el reconocimiento implícito, la mayor parte de las veces, de la existencia de relaciones entre la epistemología y la enseñanza-aprendizaje de los conceptos en ciencia².

Desde el punto de vista epistemológico, la investigación de las concepciones científicas busca elementos de cualificación y normatividad que sean

¹ Ausubel, D. P.; Novak, J. D.; Hanesian, H. (1978). *Educational Psychology. A cognitive view*. 2^{ed}. Edition. New York. Holt, Rinehart y Winston. Trad. Cast de M. Sandoval: *Psicología educativa*. México Trillas, 1983.

² López Rupérez (1990). *Epistemología y Didáctica de las Ciencias. Un análisis de segundo orden*. *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (1), pp. 65-74

equivalentes a los propios de las teorías científicas y con los que se justifique su validez. Estos elementos pueden ser independientes al desarrollo de la investigación o bien integrarse como parte importante de la misma; en este último caso las investigaciones se centran en la búsqueda de relaciones entre la construcción del conocimiento científico, su enseñanza y formas de aprendizaje y sus fundamentos epistemológicos³. Si la investigación se centra en el proceso de enseñanza-aprendizaje, tienen mayor importancia la estructura conceptual y los esquemas o modelos de representación de los sujetos, independientemente de la perspectiva epistemológica del conocimiento científico⁴. La mayoría de estas investigaciones culminan en esquemas de instrucción. En tales investigaciones el proceso de construcción de las ideas previas de los alumnos tiene un papel preponderante sobre los procesos cognoscitivos y la forma en que el estudiante se relaciona con su medio ambiente. Si se reúnen todos estos aspectos es entendible la presencia de diversos términos para lo que se denomina de manera general concepciones alternativas.

La Investigación sobre las Concepciones Alternativas

De acuerdo con Furió⁶, las investigaciones en enseñanza de la ciencia se encuentran en un proceso paradigmático que se refleja en la existencia de diversas denominaciones para referirse a los conceptos de los estudiantes en situaciones extraescolares. Lo anterior lleva a reconocer que existen distintas

³ Ibid.

⁴ Entre los autores que tienen esta postura se puede mencionar a: Driver, R. (1988). *Theory into practice 2: A constructivist approach to curriculum development*. En Fensham, P. ed.: *Development and dilemmas in science education*. London, New York Philadelphia: The Falmer Press, pp. 133-149; y Gilbert, Osborne y Fensham, (1982) *Children's science and its consequences for teaching*. *Science Education* 66, 4, pp. 623-633.

⁶ Furió, C., (1986) *Metodologías utilizadas en la detección de dificultades y esquemas conceptuales en la enseñanza de la Química*. *Enseñanza de las ciencias*, 4, 73-77.

designaciones para términos que son equivalentes al referirse a ideas, significados, concepciones, estructuras, representaciones, etc... Todos estos términos son descriptores del tipo de la investigación que se realiza e implican la visión del investigador sobre la construcción del conocimiento. Por ejemplo, si en la investigación tiene mayor importancia la estructura del contenido sobre la estructura mental del estudiante entonces, se enfatiza el hecho de que los conceptos encontrados al ser diferentes de los aceptados por la ciencia son "errores conceptuales" ⁶. Mientras que, si se considera que las ideas de los estudiantes son elementos consistentes y organizados entonces, se estará hablando de concepciones alternativas, teorías de los niños, teorías en acción, teorías implícitas.⁷

Existe en la literatura gran cantidad de términos sobre las concepciones alternativas, los esquemas de representación y las ideas que subyacen a las presentaciones teóricas; sin embargo, estas diferencias en la terminología tienen implicaciones más profundas, ya que representan las diferentes posiciones epistemológicas y psicológicas adoptadas por los autores. Así por ejemplo, la definición de preconceptos desde la perspectiva de Piaget es entendida como construcciones no generalizables radicadas en los atributos particulares, mientras que desde la perspectiva de Ausubel se entienden como resultado de una organización no correcta de la información en cuanto a los atributos relevantes de los conceptos.

Una derivación de la definición de preconcepto desde el punto de vista de Ausubel se encuentra en las llamadas concepciones erróneas (*misconceptions*),

⁶ Doran R. L. (1972). Misconceptions of selected science concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 9, pp. 127-137.

donde las concepciones científicas son referentes de validez conceptual, por lo que las concepciones que se alejen de ellas se consideran como malas construcciones científicas. Por otro lado, se encuentran denominaciones como la de concepciones espontáneas,⁸ teorías implícitas,⁹ teorías en acción¹⁰ o ciencia de los niños¹¹ en las que los investigadores ponen mayor énfasis en el carácter personal de las ideas construidas y en distinguirlas como núcleos constituidos a manera de teorías explicativas que parten del conocimiento cotidiano.

Otro punto de vista sobre la forma de estructuración del conocimiento, se encuentra en las ideas del pensamiento fragmentario¹² donde el conocimiento se concibe como una construcción personal que no se encuentra integrado como una teoría explicativa, sino constituyéndose a manera de fragmentos del conocimiento. Esta interpretación resulta ser más cercana al punto de vista de la formación de esquemas, en la que si bien los estudiantes establecen ciertas relaciones entre los conceptos, dicha relación no constituye una organización general en donde converjan gran cantidad de elementos.

⁷ Millar, R., (1989). Constructive criticisms. *International Journal of Science Education* 11, pp. 587-596.

⁸ Pozo J. I. y Carretero M., (1987). Del pensamiento formal a las concepciones espontáneas ¿Qué cambia la enseñanza de la ciencia? *Infancia y aprendizaje* 38, pp. 35-52.

⁹ Pozo J. I., Gómez Crespo M. A. Limón M., Sanz Serrano A., (1991). *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: las ideas de los adolescentes sobre la química* C.I.D.E., Madrid España.

¹⁰ Este tipo de términos utilizados para las ideas de los estudiantes se pueden observar en: Karmiloff-Smith A. e Inhelder B., (1976) If you want to get ahead, get a theory. *Cognition* 3, 3, pp. 195-212. Y Driver R. y Erickson G. L., (1983) Theories in action: some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual frameworks in science. *Studies in Science Education* 10, pp. 37-60.

¹¹ Osborne R. y Freyberg P., (1985). Roles for the science teacher. En Osborne R. y Freyberg P., *Learning in science. The implications of children's science*. Auckland: Heinemann, pp. 91-99.

¹² Di Sessa, (1983). Phenomenology and the evolution of intuition. En Gentner D. y Stevens A. (eds) *Mental Models*. Lawrence Erlbaum Associates. Pub.

En la terminología utilizada por Abimbola¹³, Gilbert y Swift¹⁴, al conjunto de investigaciones antes mencionadas se les designa con el nombre de concepciones alternativas de los alumnos ante fenómenos científicos, nombre con el que otros autores además de Gilbert y Swift las reconocen. Esta denominación sobre las concepciones de los estudiantes ha sido adoptada, a últimas fechas, por gran cantidad de investigadores en el área, por considerarla como un término que describe mejor las construcciones conceptuales de los estudiantes. Se les considera como alternativas, ya que se trata de concepciones diferentes de las aceptadas por la ciencia. Estas concepciones son el producto de un proceso de aprendizaje en el que intervienen: el estudiante como elemento constructor, el entorno cotidiano y la escuela; y que si bien son distintas al conocimiento científico son el antecedente del mismo. Adoptaré esta terminología en lo sucesivo para referirme a las ideas de los estudiantes.

La estructura que presentan los estudios realizados en las investigaciones en enseñanza de la ciencia corresponde a lo que Rosch¹⁵ denomina una "categoría natural". Los conceptos dentro de esta categoría tienen una estructura difusa cuyos límites no se encuentran bien definidos y sus atributos no caracterizan por igual a todos sus elementos. Si aplicamos esta definición de categoría natural a las concepciones alternativas encontramos que son muchas, muy específicas y heterogéneas, referidas a conceptos muy específicos y analizadas bajo metodologías de investigación y referentes epistemológicos y psicológicos distintos.

¹³ Abimbola I. O. (1988). The problem of terminology in the study of student conceptions in science. *Science Education* 72, pp. 175-184.

¹⁴ Gilbert J. K. Y Swift D. J. (1985). Towards a Lakatosian analysis of the Piagetian and alternative conceptions research programs. *Science Education* 69, pp. 681-696.

Los resultados de tales investigaciones muestran, como señala Pozo, estar orientadas a contestar cuatro preguntas básicas que sitúan los objetivos trazados por líneas de investigación; las preguntas a las que me refiero son:

- a) "¿Cuáles son las ideas que tienen los alumnos?"
- b) ¿Cuáles son los elementos que contribuyen a su formación?
- c) ¿Cómo se representan en la mente de los alumnos?
- d) ¿Cómo se pueden cambiar éstas ideas?¹⁶,

Actualmente se cuenta con un amplia bibliografía que resume 20 años de investigación en el campo: cerca de 3500 artículos, libros etc.. de investigaciones¹⁷, referentes a cada una de las cuatro preguntas anteriores, sobre las concepciones alternativas que tienen los estudiantes en diversos campos de la Física, la Biología, la Química y la Geología. Este trabajo se centra en la discusión y la presentación de resultados obtenidos en algunas líneas generales de investigación que engloban la contribución dentro del campo de la Física en estudiantes de nivel medio superior y superior.

Los trabajos que abordan las dos primeras preguntas (a y b) buscan conocer las concepciones alternativas de los estudiantes en diversas ramas de la Física, mientras que los trabajos que se enfocan a responder las dos preguntas siguientes (c y d) centran sus esfuerzos en la construcción de estrategias que lleven al estudiante a una construcción más cercana a la científica.

¹⁶ Rosch E. (1978). Principles of categorization. En: E. Rosh y B. J. Lloyd (eds). Cognition and categorization. Hillsdale N. J. Erlbaum.

¹⁷ Pozo (1991). Op. cit.

¹⁷ Pfundt H. y Duit R., (1994). Bibliography students' alternative frameworks and science education, IPN:University Kiel.

Las concepciones alternativas en Física

Gran parte de las investigaciones se han abocado a determinar y describir las concepciones alternativas de los estudiantes en situaciones específicas. En 1994 se reportaron 914 trabajos en Física referentes a las concepciones de los estudiantes; 430 sobre aspectos instruccionales utilizando las ideas de los estudiantes y 39 sobre concepciones de los profesores¹⁸. Los conceptos que han sido investigados corresponden a diversos campos de la Física dentro de una amplia gama de edades y habilidades de los estudiantes. Sin embargo, los conceptos investigados aún son pocos y centrados en ciertas ramas, como es el caso de la Mecánica. Pese a lo anterior, actualmente los resultados obtenidos no permiten predecir, ni prescribir acerca de las posibles ideas de los estudiantes en situaciones concretas distintas a las descritas en los artículos, aún cuando sí se pueden encontrar características generales de las ideas de los alumnos, inclusive en distintos contextos culturales.

En una revisión bibliográfica de las revistas internacionales de los últimos diez años,¹⁹ encontramos que las nociones más estudiadas se refieren a las concepciones alternativas de los estudiantes. Por ejemplo, la última revisión de Pfundt y Duit contiene 914 trabajos de física, en estudiantes cuyas edades se encuentran en un rango entre los 15-22 años, que corresponden a estudiantes de bachillerato y primeros años de licenciatura. Los principales campos de estudio tratados son:

¹⁸ Ibid.

¹⁹ Entre las recopilaciones que se han realizado se pueden mencionar: Pozo, J. I et. al. (1991) Procesos cognitivos Op. cit., Pfundt y Duit, Op. cit., Driver R., Guesne, E., y Tiberghien A., (1985), Children's ideas in science. Milton Keynes: Open University Press.

- a) Fuerza, movimiento y gravedad (559 trabajos de mecánica)
- b) Calor y temperatura (121 trabajos de calor; 5 trabajos de entropía, 139 trabajos de energía)
- c) Luz (545 trabajos de óptica)
- d) Teoría de partículas (149 trabajos de átomos y partículas, 38 trabajos de física cuántica, 6 trabajos de física relativista)
- e) Densidad (trabajos contenidos en el tema de mecánica)
- f) Conceptos de carga y corriente eléctrica, circuitos eléctricos (321 trabajos de electricidad, 11 trabajos de magnetismo, 4 trabajos de campo)
- g) Aire y presión del aire (trabajos contenidos en el tema de mecánica)
- h) Ideas sobre cuerpos celestes (65 trabajos de astronomía)

De manera muy sintética, se muestran algunas de las ideas y autores de artículos que se refieren a cada uno de los temas investigados, así como una breve presentación de algunas de las concepciones encontradas en los estudiantes.

Tema: Movimiento, fuerza y gravedad.

- 1) **En el vacío la gravedad se reduce o se anula.**
El estudiante asocia que la gravedad deja de actuar en el vacío, porque el peso del objeto desaparece.

- 2) **Cualquier movimiento implica la presencia de una fuerza.**
Esta concepción esta ligada a la experiencia cotidiana a la que se enfrenta el estudiante, según la cual para producir un movimiento debe estar presente la acción de una fuerza sobre el objeto. Casos especiales

como el descrito por el modelo de Galileo salen de la simple observación, como sucede en un movimiento rectilíneo y uniforme. Esta concepción alternativa es un ejemplo de las ideas que se derivan del pensamiento Aristotélico.

3) **Un movimiento constante requiere de una fuerza constante.**

La experiencia cotidiana parece mostrar que en ausencia de fuerzas el movimiento disminuye hasta que su valor es cero. En este caso no hay una identificación de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo y cuyo resultado es que la aceleración disminuye hasta que el cuerpo se detiene (por ejemplo, debido a la fricción). Este es otro ejemplo de lo que se ha denominado pensamiento Aristotélico.

4) **En los objetos en reposo no actúa ninguna fuerza.**

Esta idea se encuentra ligada a que el movimiento implica la presencia de una fuerza (pensamiento Aristotélico).

5) **Si un cuerpo está en movimiento, existe una fuerza que actúa sobre él en la misma dirección del movimiento.**

Esta idea se encuentra referida al intento de explicación del movimiento de un objeto en la cual no se toma en cuenta un sistema de fuerzas presente que actúa sobre él, sino una sola variable aislada del contexto general, como sería la dirección del movimiento.

6) **Los objetos más pesados llegarán al piso antes que los más ligeros, si son tirados al mismo tiempo y desde la misma altura.**

La única variable que para el estudiante es causa de la caída de los cuerpos es el peso, sin tener en cuenta otros conceptos que influyen en el

proceso y sin analizar el sistema de fuerzas en el que se desarrolla el fenómeno.

7) El movimiento uniformemente acelerado es un movimiento con velocidad constante.

El concepto de aceleración no es considerado como un cambio en la velocidad. Los estudiantes basan su descripción del movimiento en un cambio de posición en el tiempo.²⁰

8) No existe aceleración en el movimiento circular.

El cambio del vector velocidad en cuanto a dirección y sentido no se reconoce como una aceleración relacionada con un cambio de velocidad.

9) En un movimiento circular están presentes dos fuerzas: la centrípeta y la centrífuga.

En muchos de los casos los estudiantes explican el movimiento de un objeto atado que se suelta después de girar, con la presencia de una fuerza que actúa hacia afuera.

10) Las fuerzas se comportan como magnitudes escalares.

La acción de las fuerzas y en general de las cantidades vectoriales en física se identifican solamente a través de sus cambios en magnitud, no de dirección y sentido o combinaciones de los tres tipos de cambios.

²⁰ Las ideas presentadas son de estudiantes cuyas edades se encuentran entre los 9-19 años y corresponden a la investigación realizada por Gunstone R. F. y Watts M., (1985) en Force and motion en Driver R., Guesne, E., Tiberghien, A.: Children's ideas in science. Milton Keynes; Open University Press.

11) **En la descripción del movimiento de un cuerpo la aceleración y la masa de un cuerpo no se relacionan entre sí.**

En un objeto en movimiento la fuerza no se relaciona con su masa y aceleración

12) **La energía siempre se pierde.**

Se piensa siempre en la energía como una variable de consumo, analizando tan sólo parte de un sistema, es por ello que el sistema total en el que es válido el principio de conservación no suele representarse completo.²¹

Como puede verse, los entrevistados (los sujetos investigados han sido alumnos y maestros) describen las fuerzas que actúan sobre un objeto en términos de los que ocurre en fenómenos cotidianos, y sus respuestas pueden interpretarse como combinaciones entre el pensamiento Aristotélico y una teoría del ímpetu. Para Clement ²² las respuestas de los alumnos obedecen a que emplean un modelo sencillo "el movimiento implica una fuerza". Towbridge y McDermott,²³ mencionan que menos del 25 % de los sujetos investigados demuestran tener una comprensión suficiente de los conceptos de aceleración que puedan ser aplicados a soluciones de problemas reales.

En cuanto a las fuerzas, los estudiantes piensan que es una propiedad de un solo objeto más que la interacción entre dos objetos, como señalan en las

²¹ Las ideas presentadas son de estudiantes cuyas edades se encuentran entre los 16-19 años y corresponden a la investigación realizada por: Vázquez A. A. (1990) en concepciones alternativas en física y química de bachillerato: Una metodología diagnóstica. Enseñanza de las Ciencias 8 (3), pp. 251-158.

²² Clement J. (1983). A conceptual model discussed by Galileo and used intuitively by physics students. En Gentner D., Stevens A. L. Mental Models. Hillsdale and London: Lawrence Erlbaum, pp. 325-339.

investigaciones de Maloney²⁴. En el caso de colisiones, Driver²⁵ señala que los estudiantes consideran en ocasiones los dos objetos actúan con distinta fuerza, teniendo más fuerza el objeto que se mueva más rápido.

Fishbein, Stavy, y Ma-Naim²⁶, y McCloskey²⁷, reportan problemas sobre trayectorias de proyectiles, en donde el 60 % de los estudiantes de nivel bachillerato (high school y college) no fueron capaces de describir la trayectoria de un bulto que se deja caer de un avión. Otro problema similar es el reportado por Aguirre²⁸ en donde estudiantes de décimo grado muestran dificultad en la descripción de la trayectoria de un bote mientras cruza un río.

Respecto a problemas sobre movimiento circular como el de una bola que sale de un tubo en espiral o el de una pelota que se suelta de un péndulo Caramazza, McCloskey y Green²⁹ reportan que menos del 36 % de los

²³ Towbridge D. E., y McDermott L. (1981). Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension. *American Journal of Physics* 49, pp. 242-253.

²⁴ Referido en Wandersee J. H., Mintzes J. J. Y Novak J. D (1994). *Research on Alternative Conceptions in Science*. En Gabel D. L. (ed.) *Research Handbook of research on science teaching and learning*. Macmillan Pub. N. Y. Referencia del autor: Maloney D. P., (1985). Rule-governed approaches to physics: Conservation of mechanical energy. *Journal of Research in Science Teaching* 22, 3, pp. 261-278.

²⁵ Ibid. Wandersee et. al., los autores referidos son: Driver R., (1994). Constructivist perspectives on learning science. En Lijnse, P. L.: *European Research in Science Education. Proceedings of the first Ph. D. Summerschool Utrecht*. CDS Press. Centrum Voor SS.Didactiek, pp.65-74. Y Brown, D. E., y Clement J., (1989). Overcoming misconceptions via analogical reasoning: Factors influencing understanding in a teaching experiment. Presentación en Annual Meeting of the American Educational Research Ass. San Francisco Calif USA.

²⁶ Ibid. Autores referidos son: Fishbein E., Stavy R., y Ma-Naim H., (1989). The psychological structure of naive impetus conceptions. *International Journal of Science Education* 11, 1, pp. 71-81.

²⁷ McCloskey, M. (1983a). Naive theories of motion. En Gentner D., Stevens A. L.: *Mental models*. Hillsdale and London: Lawrence Erlbaum, pp. 299-324.

²⁸ Aguirre J. M. (1988). Student preconceptions- about vector kinematic. *The physics teacher* 26, 4, pp. 212-216.

²⁹ Caramazza A., McCloskey M. y Green B. (1980). Curvilinear motion in the absence of external forces: Naive beliefs about the motion of objects. *Science* 210, pp. 1139-1141. Y

estudiantes sometidos a estas pruebas pueden describir aproximadamente las trayectorias del movimiento.

Sobre la caída de los cuerpos cerca del 25 % de los estudiantes en los estudios realizados por Gunstone y White³⁰, e independientemente por Watts³¹, consideran que los objetos de mayor peso caen más rápido que otros de igual tamaño.

Resultados como estos, llevan a suponer a Champagne, Klopfer y Anderson³², que los estudiantes tienen abundantes ideas sobre los fenómenos y que éstas ideas se encuentran interrelacionadas constituyendo un sistema personal de creencias de sentido común acerca del movimiento.

Tema: calor y temperatura.

- 1) El calor se describe en términos de energía pero relacionándolo siempre con un cuerpo o sustancia caliente que pasa calor a otro cuerpo.**

Así por ejemplo, el calor es energía que se transfiere de un cuerpo a otro para calentarlo; es aire caliente en movimiento; o es aquello que permite mantener caliente a un fluido o sólido. La transferencia del calor está ligada a la idea de una sustancia que se comunica a otra (el calórico), lo cual es cercano a las experiencias cotidianas.

Caramazza A., Mc Closkey M. y Green B. (1981). Naive beliefs in "sophisticated" subjects: Misconceptions about trajectories of objects. *Cognition* 9, 2, pp. 117-123.

³⁰ Gunstone R. F. y White R. T. (1981). Understanding of gravity. *Science Education* 65, pp. 291-299.

³¹ Watts M., (1982). Gravity -Don't take it for granted! *Physics Education* 17, pp. 116-121.

³² Champagne A. B. , Klopfer L. E. y Anderson J. (1980). Factors influencing the learning of classical mechanics. *American Journal of Physics* 48, pp. 1074-1079.

- 2) **En la transmisión del calor en las sustancias se encuentra que el calor está relacionado con la idea de fuerte y débil, entre más fuerte sea un cuerpo, mayor nivel de penetración tendrá en los objetos cercanos y por lo tanto los calentará mejor.**
El ser objeto fuerte o débil es una propiedad asociada con el calor y también de los objetos en los que el calor se transmite.

- 3) **La transferencia de calor es considerada por estudiantes de casi todas las edades como el movimiento de calor de un objeto a otro.**
En este caso puede pensarse en un paralelismo con la teoría del calórico, en donde la cantidad de calor tiene las características de una sustancia.

- 4) **La conducción de calor se refiere con mucha frecuencia a las propiedades de los materiales y se identifica como un "empujar" "jalar".**
Lo anterior da la idea de una sustancia que entra y según sean las características de los materiales en los que se conduce el calor.

- 5) **La temperatura es equivalente al concepto de calor.**
Las palabras de calor y temperatura son muy utilizadas como sinónimos en el lenguaje cotidiano.³⁹

³⁹ Las ideas presentadas son de estudiantes cuyas edades se encuentran entre los 12-16 años y corresponden a la investigación realizada por Erickson, G. L. y Tiberghien A. (1985) Heat and temperature. En Driver R., Guesne, E. y Tiberghien A., Children's ideas in science. Milton Keynes: Open University Press.

- 6) **La temperatura durante un cambio de fase no permanece constante.**

El proceso de evaporación o de condensación implica necesariamente la presencia continua de un cambio de temperatura asociado a la necesidad de un aumento o disminución de la cantidad de calor.

- 7) **La temperatura durante el cambio de fase es la máxima que se alcanza.**

Si bien durante el cambio de estado la temperatura se mantiene constante, en algunos casos la interpretación de este hecho corresponde a fijar un cota máxima a la temperatura alcanzada, aún cuando se pueda entrar en contradicción con los valores de la temperatura en el siguiente cambio de estado, por ejemplo, cuando hay solidificación y después evaporación.

- 8) **La temperatura para cambios de fase inversos no es la misma que en el sentido directo (fusión - solidificación).**

Los cambios de sentido en cuanto a los procesos del cambio de estado se consideran como sucesos independientes, es por ello que se asocia una dirección en cuanto a la temperatura alcanzada durante los procesos de cambio de estado³⁴.

- 9) **El calor es un mecanismo de transferencia de energía pero no es energía.**

Se asigna al proceso el significado del concepto, dejando de lado la idea de la energía. Puede estar referido a que se considera que la energía es una substancia.

³⁴ Vázquez Op. cit. .

Shayer y Wylam³⁵ hicieron un intento de mapeo de los conceptos de calor y temperatura, basados en las etapas de desarrollo Piagetiano. Erickson³⁶ entrevistó a 10 niños (10-12 años) sobre los conceptos de calor y temperatura, algunas de las ideas presentadas por ellos son: a) el calor hace que las cosas suban; 2) el calor y el frío son sustancias que se pueden transferir de un lado a otro; 3) el calor se acumula en algunas áreas y fluye en otras. Los argumentos de los niños se pueden relacionar con la idea antigua del calórico y algunas otras como ideas en vías de una representación más cercana a la visión cinético-molecular del calor.

En general las ideas expresadas por los estudiantes giran alrededor de considerarlo como una sustancia. Por otro lado en ningún caso se observa una referencia hacia la constitución de la materia y una visión cinético molecular como un elemento de explicación del calor y la temperatura.

Tema: luz.

1) Se relaciona la presencia de luz con sus fuentes, efectos o estados.

Así por ejemplo, fenómenos como la deformación de la imagen de objetos que se introducen en agua, no se identifican como debidos a la naturaleza de la propagación de la luz cuando cambia de medio.

³⁵ Wandersee et. al. Op. cit. p. 81 Autores referidos Shayer M. y Wylam H. (1981). The development of the concepts of heat and temperature in 10-13 years old. *Journal of Research in Science Teaching*, 18, pp. 419-434.

- 2) **La luz no existe a menos que sus efectos sean lo suficientemente intensos como para percibirlos.**

Los aspectos perceptivos de los fenómenos ópticos tienen, una importante contribución en la construcción de los conceptos.

- 3) **La luz se considera como un continuo.**

Se concibe a la luz como un continuo y no se acepta entonces que su movimiento se realice en un tiempo y espacio determinados, excepto si las distancias consideradas son muy grandes.

- 4) **Toda imagen producida por un espejo es real.**

No existe una distinción entre una imagen virtual y una real.

- 5) **La imagen en un espejo plano se invierte.**

Esta idea está basada en gran medida en la información que tienen los estudiantes acerca de la inversión de las imágenes en un espejo, para la formación de la cual nunca sitúan los ejes de referencia.

- 6) **No existe asociación por parte del estudiante entre el fenómeno de refracción y la observación de un palo bajo el agua, el que parece doblado hacia arriba cuando se introduce en el agua.**³⁷

La refracción no es entendida por los alumnos, ya que no establecen una relación entre lo que ocurre con la luz al pasar de un medio a otro. Por lo mismo no existe noción del índice de refracción de las sustancias.

³⁶ Ibid. Autor referido Erickson G. L. (1979). Children's conception of heat and temperature. Science Education 63, 2, pp. 221-230. Y Erickson G. L. (1980). Children's viewpoints of heat: A second look. Science Education 64, pp. 323-336.

³⁷ Las ideas presentadas son de estudiantes cuyas edades se encuentran entre los 12-16 años y corresponden a la investigación realizada por Vázquez Op. cit.

- 7) **La luz es un medio material.**
Lo anterior sugiere que el modelo óptico que subyace es mecanicista.
- 8) **La velocidad de la luz medida por un observador en reposo depende de la fuente de luz.**
A la luz se le asocian características específicas que dependen de la fuente emisora.
- 9) **La reflexión y la refracción de la luz son dos propiedades exclusivas entre sí.**
Al ser dos procesos excluyentes no es posible interpretar la reflexión total interna que ocurre en una superficie refractante cuando el ángulo de incidencia alcanza cierto valor crítico.
- 10) **Un espejo plano debe ser de vidrio o metálico para reflejar la luz.**
Las propiedades que deberían estar asociadas a la luz se transfieren, a las características de los materiales reflectores.
- 11) **Un prisma óptico debe ser triangular.**
La función y características de un prisma dependen de su forma. Esta concepción descarta la posibilidad de otras funciones como serían las que pueden obtenerse con otras formas, por ejemplo en un pentaprisma, un prisma romboide, o de Leman-Springer entre otros.

12) **Cuando vemos los objetos, los rayos de luz salen de los ojos y deben llegar al objeto.**

Esta idea fue manejada en la antigüedad como una explicación de cómo vemos a los objetos, por lo que la luz es producida por el sujeto que ve.

13) **Solo los objetos opacos se ven.**

De acuerdo a esta idea los objetos brillantes o transparentes no pueden ser vistos.³⁸

14) **En presencia de luz, la imagen de un objeto viaja hacia la lente. Las lentes invierten la imagen completa. Después de que la imagen alcanza la pantalla se localiza en ella y puede ser vista por cualquier observador.**

Esta secuencia que describe la formación de una imagen en una lente entre estudiantes entre 16 y 19 años.³⁹

Uno de los temas que más se han estudiado es el de la luz y su relación con la visión y los conceptos de reflexión, refracción y absorción de la luz. Los ojos juegan un papel importante en la posibilidad de observar los objetos, para muchos estudiantes la luz sale de los ojos e ilumina los objetos, por lo que éstos pueden verse. No existe para los estudiantes un modelo conceptual de la luz

³⁸ Los sujetos investigados se encuentran entre segundo grado de preparación para profesores y especialización como profesores de física y ciencias naturales. Las ideas corresponden a la investigación realizada por Perales P. J., Nievas C. F. y Cervantes A. (1989). Misconceptions on geometric optics and their association with relevant educational variables. *International Journal of Science Education* 11, 3, pp. 273-286.

³⁹ Las ideas presentadas son de estudiantes cuyas edades corresponden a estudiantes entre 16-19 años. De la investigación realizada por: Galili, I., (1996). Student's conceptual change in geometrical optics. *International Journal in Science Education*, 18, 7, pp. 847-868. Y Goldberg F. M. y McDermott, L. (1986). Student difficulties in understanding image formation by a plane mirror. *The physics Teacher*, November, 1986.

que presente su movimiento en todas direcciones a partir de la fuente, lo que parece ser causa de las nociones sobre sombras y la formación de imágenes; de igual manera las explicaciones sobre fenómenos como el arco iris o el funcionamiento de aparatos ópticos no se acercan a la concepción científica aceptada.

Tema: teoría de partículas.

1) **Los átomos de los sólidos están quietos, sólo se mueven los de los gases.**

Esta idea es un traslado de un modelo macroscópico a un modelo microscópico, como es el del movimiento de partículas.⁴⁰

En los estudios realizados por Dow, Aula y Wilson⁴¹ acerca de la estructura de la materia, se ha encontrado que las ideas de los estudiantes van cambiando en relación con la edad. El estudio que realizaron corresponde a niños entre los 8 y los 17 años. Por ejemplo, la concepción continua (es decir sin partículas) de la materia, se va transformando conforme aumenta la edad y la configuración de la estructura de la materia cambia de ser aleatoria a ordenada. De manera similar ocurre con la concepción de uniformidad en los átomos: primero se piensa que no son uniformes a que sí los son y de que se encuentran en estructuras no delimitadas a que sí lo están.

⁴⁰ Vázquez A Op. Cit.

⁴¹ Wandersee J. H. Op. cit. El artículo Referido es: Dow W. M., Aula J. y Wilson D., (1978). Pupils concepts of gases, liquids and solids. Dundee College of Education: Dundee.

Cuando las nociones de átomos y moléculas empiezan a aparecer, los estudiantes argumentan que son tan pequeños que no tienen masa o que es tan pequeña como si no existiera.

Tema: densidad y flotación.

- 1) **Existe una relación de proporcionalidad entre la masa, la longitud y el volumen de un objeto que flota.**

Las características de los objetos se perciben como causa de que floten, mientras que el líquido en el que se encuentran no contribuye para ello.

- 2) **No hay relación entre la fuerza de empuje y la densidad del líquido que sustenta al sólido que flota.**

El fenómeno de flotación es visto como dependiente de las características del objeto que flota.⁴²

- 3) **Existen cuerpos (como el corcho) que flotan totalmente.**

Se piensa que el corcho y materiales similares que flotan en el agua y no se mojan pues no se introducen en el líquido. Para algunos estudiantes la superficie del agua se encuentra en contacto con la superficie del cuerpo, mientras que para otros no.

- 4) **Cuando un cuerpo flota no existe ninguna fuerza que actúe sobre él.**

⁴² Vázquez A Op. Cit.

No se concibe la acción de la fuerza de empuje del líquido sobre el objeto. La noción de una fuerza está presente solamente cuando existe un movimiento.

- 5) **La fuerza de empuje existe sólo cuando el cuerpo se encuentra sumergido y se desplaza a la superficie, una vez que está en la superficie esa fuerza desaparece.**

La fuerza de empuje al igual que otras fuerzas sólo se requieren para explicar movimientos.

- 6) **El hielo no flota porque se derrite en el agua.**

Sobre dos procesos diferentes, el que tiene un modelo más cercano a su realidad cotidiana explica en primera instancia una fenomenología específica. Se considera que la fusión del hielo es un proceso que aparece primero que la flotación. Este es un ejemplo, de cómo los estudiantes piensan en procesos independientes y no simultáneos sobre los mismos objetos.⁴³

Tema: carga y corriente eléctrica y circuitos eléctricos.

- 1) **Una fuente es identificada como una batería y un consumidor como una lámpara o un motor.**

En un circuito eléctrico sencillo como el que enciende una lámpara, los estudiantes identifican la fuente como una batería y un consumidor como una lámpara o motor. La batería está asociada con aquel objeto que tiene

⁴³Las ideas presentadas corresponden a estudiantes de BUP y fueron presentadas en: Barral, F.M., (1990) ¿Cómo flotan los cuerpos? Concepciones de los estudiantes. Enseñanza de las Ciencias 8, 3, pp. 244-250.

algo que va a ceder mientras que el consumidor lo va a utilizar. Se considera a la energía eléctrica como un objeto o sustancia.

- 2) **En un circuito eléctrico, conceptos como electricidad, corriente, potencia, volts y energía son considerados como elementos que se almacenan en la fuente y que fluyen hacia el lugar en donde serán consumidos.**

La idea de energía, en este caso eléctrica, es la de una sustancia que se transfiere y se gasta.

- 3) **La batería es por lo general un agente activo que "da" energía, así como la carga es aquello que "toma" y necesita de la batería que se la proporciona.**

Un ejemplo de lo anterior se muestra en la siguiente afirmación que hacen los estudiantes: "En cada nueva batería está guardada cierta cantidad de corriente eléctrica.....la corriente contenida en la batería será consumida por los instrumentos eléctricos en el curso del tiempo".⁴⁴

- 4) **En un circuito eléctrico, no existe una distinción entre los conceptos de energía, voltaje y corriente eléctrica.**

La representación de la energía como un fluido que se conduce, es aplicada a estos tres conceptos que no son diferenciados por los estudiantes.

⁴⁴ Las ideas presentadas son de estudiantes cuyas edades se encuentran entre los 13-15 años y estudiantes universitarios, corresponden a la investigación realizada por: Shipstone D. M., (1985). On children's use of conceptual models in reasoning about current electricity. Kiel: Schmidt & Klauning, pp. 73-82.

5) **En un circuito en paralelo la cercanía del foco a la fuente es un factor determinante de su iluminación.**

La energía que consume cada foco está ligada a su distribución física, en el circuito: recibirá más el que esté más cerca de la fuente⁴⁶.

La mayoría de los trabajos reportados abordan el problema de circuitos eléctricos y sus componentes como son batería, bulbo, conjunto de alambres, conexiones, etc... En los trabajos reportados por Bauman y Adams⁴⁶, y Black y Solomon⁴⁷, se pueden distinguir distintos modelos utilizados en circuitos eléctricos, la idea que prevalece es que la corriente "fluye" a través del cable saliendo de la batería y prendiendo los focos. Los estudiantes más jóvenes consideran que fluye en una sola dirección hasta que poco a poco se haga más débil (por lo que no hay conservación); otros piensan que la corriente tiene un movimiento unidireccional pero que se distribuye de igual forma en todas las componentes del circuito; también existen los que piensan que fluye en una dirección pero considerando la conservación de la energía en el circuito (científicamente aceptable). Los estudiantes al parecer cambian sus ideas dentro de estos tres tipos de modelos directamente relacionados con la edad. Se ha encontrado que los estudiantes logran estructurar una noción de conservación hasta después de los 18 años aproximadamente.

⁴⁶ Las ideas presentadas son de estudiantes cuyas edades se encuentran entre los 16-20 años y corresponden a la investigación realizada por: Andrés M.M., (1990). Evaluación de un plan instruccional dirigido hacia la evolución de las concepciones de los estudiantes acerca de circuitos eléctricos. Enseñanza de las Ciencias, 8, 3, pp.231-237.

⁴⁶ Bauman R. P. y Adams S. (1990). Misunderstandings of electric current. The Physics Teacher 28, 5, pp. 334.

⁴⁷ Black D. y Solomon J. (1987) Can pupils use taught analogies of electric current? School Science Review, pp. 249-254.

Tema: aire

- 1) **La presencia del aire se encuentra ligada al movimiento.**
Así, en una botella abierta hay algo de aire porque entra en ella. mientras que para algunos en una botella cerrada puede no haber aire porque éste ha salido.
- 2) **El aire no es un transmisor del calor.**
El aire no presenta propiedades muy claras para los estudiantes, difícilmente lo conciben como un medio por el que se transmite calor.
- 3) **El aire se encuentra en todo lugar, penetrando todas las cosas.**
El aire penetra en todos los materiales modificando en algunos casos sus propiedades específicas.
- 4) **El aire no es un gas.**
El aire es una sustancia distinta a lo que se designa como gas.
- 5) **El aire en la atmósfera es “delgado”.**
- 6) **El aire a presión se hace más “grueso”.**
- 7) **El aire comprimido es como si se apilara en bloques.**
En las dos proposiciones se presenta una analogía con bloques de algún material.
- 8) **El aire no puede ser calentado.**

En el aire no hay transmisión de energía, por lo que no puede ser calentado.

- 9) **Como el aire caliente es más ligero que el aire frío, hay menos aire cuando está caliente.**

La idea de ligero se encuentra ligada con la idea de menor cantidad de sustancia.

- 10) **Con el aumento de calor la presión se incrementa porque hay más aire en un recipiente cerrado.**

Se produce o apila más aire con el aumento de temperatura.

- 11) **Si el aire se expande hay más aire.**

La expansión del aire es comprendida como un incremento en la cantidad de aire. El modelo macroscópico es trasladado a un modelo microscópico⁴⁸.

- 12) **Un envase "vacío" no contiene nada.**

Si en un recipiente no se observa la presencia de un líquido o un sólido, se piensa que el recipiente no contiene absolutamente nada, lo que muestra la falta de representación del aire como cantidad de materia.

- 13) **El aire se encuentra mezclado en el agua.**

Las burbujas que se forman por diversas circunstancias salen del aire que contiene el agua.

⁴⁸ Las ideas presentadas son de estudiantes cuyas edades se encuentran entre los 11-16 años y corresponden a la investigación realizada por: Serè M. G. (1985). El estado gaseoso en ideas científicas en la infancia y la adolescencia. Madrid: Morata.

14) **El aire empuja a otras cosas para ocupar su espacio.**

Para explicar algunos fenómenos en que lo único que se observa es aire, se piensa que éste puede empujar o jalar según sea necesario para describir el fenómeno.

15) **Cuando algo de aire se quita, se forma el vacío en su lugar.**

Cuando un objeto se mueve al moverse el aire detrás de él, se forma un vacío en ese lugar.

16) **El aire tiene una forma fija.**

Al tratar de dar una representación al aire se le adjudica una forma preestablecida. Se desconocen ciertas características propias de los fluidos.

17) **El aire es algo viviente.**

Es una idea de tipo animista.

18) **Las partículas de aire no se mezclan con otras.⁴⁹**

El aire se considera como una sustancia independiente y que se puede identificar independiente de otras sustancias. Esto puede estar relacionado por la percepción de olores u otros elementos que se distingue viajan o se transportan por el aire.

⁴⁹ Las ideas presentadas son profesores de escuela primaria. Esta investigación fue realizada por, Rollnick, M., y Rutherford M., (1990). African primary school teachers what ideas do they hold on air and air pressure? International Journal of Science Education 12, 1, pp. 101-113.

Tema: presión del aire y otros gases.

- 1) **Los gases ejercen fuerzas solamente cuando se encuentran en movimiento.**

La idea de que una fuerza tan solo actúa cuando hay movimiento se observa también en el caso de un objeto en movimiento (ver sección de movimiento).

- 2) **Para que el gas ejerza una fuerza es necesario que exista una causa externa.**

No se identifican las fuerzas internas de un gas, éste se considera en equilibrio en ausencia de toda fuerza.

- 3) **Los gases ejercen fuerzas solamente en una dirección.**

No se identifican las fuerzas internas de un gas, considerándose la acción de un gas o de un líquido en una sola dirección.

- 4) **La presión es mayor hacia abajo que hacia los lados.**

La presión se identifica como una fuerza que tiene una dirección privilegiada.

- 5) **Si existe algo en movimiento en el agua como un pez, hay presión sobre él en la línea horizontal en la cual se desplaza.**

La presión es identificada como una fuerza y ésta a su vez con el movimiento⁶⁰.

⁶⁰ Serè Op. cit.

- 6) **El aire empuja un líquido hacia arriba cuando se succiona.**
Se piensa que el aire puede no tan sólo empujar, sino también jalar como en este caso.
- 7) **Cuando el aire se mueve dentro de un popote, se forma vacío y por ello sube el líquido.**
Esta es otra explicación frecuente y la acción de jalar se conecta con el vacío que se supone se forma al extraer el aire del popote o bien porque el agua sigue al aire en el proceso de su extracción.
- 8) **El aire comprimido tiene fuerza de empuje.**
La presión se identifica con la concepción de que el aire comprimido es equivalente a apilado y presionado⁵¹.

Tema: presión atmosférica.

- 1) **La atmósfera ejerce una presión que es observable solamente si existe una variación en el volumen o altura de un líquido o gas en un recipiente**
La presencia de la presión puede ser identificada solamente si existe un efecto observable.
- 2) **La presión atmosférica ejerce presión sobre las superficies perpendiculares a la dirección en que se actúa.**
La presión atmosférica tiene una direccionalidad privilegiada en su acción.

⁵¹ Rollnick Op. cit.

3) **El vacío succiona o ejerce presión.**

El vacío tiene las dos posibilidades de acción dependientes del fenómeno que se desea explicar.

4) **Los espacios vacíos siempre deben ser llenados.**

Esta tendencia a que los espacios sean llenados explica la acción de jalar otras sustancias.

5) **La presión del aire succiona o empuja.**

En este caso el aire que ejerce presión actúa de manera similar a como lo hace el vacío⁵².

6) **Los efectos de presión sobre vehículos en movimiento en lugares de gran altitud pueden ser causados por el movimiento del aire que empuja al vehículo.⁵³**

Se considera que la presión es una fuerza que empuja a los objetos.

Wandersee⁵⁴ reporta un condensado de las ideas de estudiantes respecto del aire, en este caso se mencionan tan solo aquellas que corresponden a la edad de 16 años. El aire es identificado por los estudiantes en situaciones estáticas y una tercera parte de ellos consideran que se presentan cambios en la atmósfera terrestre en relación con la distancia sobre su superficie. Por otro lado, la mayoría sabe que el aire contiene oxígeno, mientras que la mitad de los estudiantes lo consideran como una mezcla de componentes. Para la mayoría,

⁵² Serè Op. Cit.

⁵³ Rollnick Op. cit.

⁵⁴ Wandersee J. H. Op. cit.

la respiración implica un intercambio de gases y una tercera parte sabe que el oxígeno está relacionado con el proceso de respiración y requerimientos de energía de los seres vivos:

En las investigaciones reportadas, todos los estudiantes consideran que el aire ocupa un lugar y que por tanto tiene un volumen que puede cambiar. Sobre su forma de acción sobre otros objetos, para la mayoría el aire empuja los objetos contra las cosas, la quinta parte lo identifica como un elemento de resistencia al movimiento, una tercera parte considera que transmite una fuerza, y otra tercera parte piensa que esta fuerza se transmite en todas direcciones.

Muy pocos estudiantes consideran que el "peso" del aire contenido en un recipiente está relacionado con su volumen, dos terceras partes consideran que es muy ligero o sin peso y menos de una cuarta parte piensa que no pesa. Por último, una tercera parte considera que el aire que se extrae de algún lugar jala, otra tercera parte usa la idea del vacío para explicar fenómenos relacionados con diferencias de presión (succión de agua en un popote, dardo adherido a una superficie lisa, ventosa, etc..) y otra tercera parte utiliza la idea de una presión externa o una diferencia de presión para explicar los mismos fenómenos.

Características generales de las concepciones alternativas

De manera general, se puede mencionar que existe un conjunto de aspectos que agrupan a los resultados sobre ideas previas⁶⁵, estos son:

⁶⁵ Los puntos que se señalan en el texto son parte del análisis que se hace en Gunstone R. F., (1988). *Learners in science education*. En Fensham, P.: *Development and dilemmas in science education*. London, N. Y. Philadelphia. Pozo Op. cit. pp. 3 y Wandersee Op. cit.

- ♦ Las concepciones alternativas son construcciones personales elaboradas a partir de la interacción de las personas con su mundo cotidiano, lo que sugiere que muchas de estas ideas han sido construidas antes del proceso escolar. En el caso de las concepciones alternativas en ciencia, las investigaciones reportan la presencia de concepciones similares en distintos contextos socioculturales y curriculares, lo que lleva a la consideración de que existen elementos como los perceptuales que tienen una gran influencia en la formación de conceptos.

- ♦ En cuanto al contexto cultural, Arnaudin y Mintzes⁶⁶, y Novick y Nussbaum⁶⁷ han realizado diversos estudios transculturales, encontrando que la aparición de similares o iguales ideas alternativas están relacionadas con los conocimientos, nivel y calidad de la instrucción previa a los estudios realizados, lo que permite comparar los resultados de las investigaciones de acuerdo con el nivel educativo, mientras que no se encuentran diferencias significativas en cuanto a diferencias culturales. En los estudios sobre diferencias por sexo⁶⁸, estos sugieren que los hombres al parecer tienen menos concepciones alternativas que las mujeres respecto de movimientos sobre proyectiles, astronomía, óptica geométrica, presión, peso y gravedad.

- ♦ Las concepciones alternativas son construcciones que en ocasiones parecen contradictorias con otras explicaciones que se dan a otros fenómenos. Como tales explicaciones están centradas en la descripción de un fenómeno

⁶⁶ Arnaudin M. y Mintzes J. J., (1978). The cardiovascular system: children's conceptions and misconceptions. *Science and Children* 23, pp. 48.51.

⁶⁷ Dos artículos sobre el tema se indican: Novick S. y Nussbaum J. (1978). Junior High School pupils' understanding of the particulate nature of matter: An interview study. *Science Education* 62, pp. 273-281. Y Novick S. y Nussbaum J. (1981). Pupils' understanding of the particulate nature of matter. A cross-age study. *Science Education* 65, pp. 187-196.

⁶⁸ Wandersee Op. cit.

particular, los estudiantes no tienen una visión global del modelo que relaciona diferentes fenómenos. La mayor parte de las veces las concepciones que tienen los alumnos son diferentes de los conceptos científicos que se pretende que aprendan por medio de la instrucción.

- ♦ Las concepciones alternativas responden a la necesidad de la persona por identificar posibles eventos futuros de su entorno cotidiano que le permitan enfrentarse a una serie de fenómenos. Lo anterior lleva a que dichas concepciones sean muy estables y por lo tanto resistentes al cambio, lo cual no significa que no se puedan cambiar.
- ♦ Los resultados de investigaciones sobre ideas alternativas muestran que estas concepciones son compartidas por personas de distinta formación y edad. En algunos casos se puede distinguir un paralelismo entre la presencia de estas concepciones y las ideas de científicos y filósofos de la antigüedad, por lo que se presenta una similitud histórica en cuanto a la presencia de dichas ideas, aunque no así en cuanto a la forma de su desarrollo. Los resultados de los trabajos realizados con esta línea se dividen en los que apoyan el paralelismo que se presenta entre las ideas de los estudiantes y las de filósofos o científicos de la antigüedad como se muestra en los trabajos de Piaget y García⁶⁹ y los que opinan que el buscar esta similitud es una trampa. Sin embargo, un punto de coincidencia en todos estos trabajos es la utilidad que la historia y su desarrollo tienen en cuanto al diseño de estrategias de enseñanza, es decir, como un apoyo para el aprendizaje de los conceptos científicos.

⁶⁹ Piaget Jean y García Rolando. 1982. Psicogénesis e historia de la ciencia. Siglo XXI.

- ♦ Las concepciones previas tienen un carácter implícito, es decir, son concepciones que permiten la explicación en una persona de un fenómeno o evento particular. Son implícitas en cuanto a que la persona las utiliza y emplea cotidianamente sin tener una "toma de conciencia" de los esquemas y teorías que emplea.

Posibles causas que contribuyen a la formación de las concepciones alternativas.

Reconocer la existencia de concepciones alternativas en el aprendizaje escolar, en distintos campos específicos de la ciencia, ha llevado a la búsqueda de las posibles causas que las generan.

Es difícil mostrar evidencias de las causas u orígenes de las concepciones alternativas, debido a que se parte de investigaciones que muestran segmentos de las concepciones de los estudiantes que están ligadas con los conceptos a investigar y el contexto de las preguntas, es por ello que todas las conclusiones se encuentran delimitadas por la interpretación teórica del problema. Del análisis de las concepciones previas de los alumnos se puede determinar de manera general cinco características que describen las posibles causas de su formación⁶⁰.

- 1. Las ideas de los alumnos se encuentran reguladas en gran medida por la percepción.** Ejemplo: la luz existe cuando sus efectos pueden ser percibidos con claridad, su existencia y propiedades específicas no se cuestionan, mientras que cuando la luz no es observada, se busca otro tipo de argumentos para explicar los fenómenos ópticos.

⁶⁰ Wandersee Op. cit.

La mayoría de los conceptos físicos no se encuentran directamente ligados a la fenomenología, ya que son el resultado de todo un desarrollo teórico abstracto y que, si bien parten de los fenómenos en cuestión, no pueden ser explicados únicamente a través de lo observable. La ciencia en su construcción parte de lo fenomenológico hacia lo abstracto y es ahí en donde encuentra la posibilidad de su acción.

2. **La mayoría de las ideas de los estudiantes parten de los aspectos directamente visibles.** Se fija más la atención en los aspectos cualitativos que en la interacción de los elementos que componen el sistema. Por ejemplo, la selección de recipientes de acero para mantener el hielo por más tiempo sin derretirse, se basa en las propiedades de dureza del material y no en la interacción entre el hielo, el recipiente y el medio ambiente.
3. **Las ideas de los alumnos están referidas a situaciones contextuales.** Si el contexto en el que se desarrolla el fenómeno que se observa cambia, la interpretación que tiene el estudiante puede cambiar también. Para él se encuentran muy ligadas la fenomenología y la situación contextual. Por ejemplo, las explicaciones que se dan sobre la reflexión de la luz dependen de la forma de experimentación que se utilice.
4. **Por lo general los conceptos usados se encuentran indiferenciados.** Podría decirse que los atributos de los conceptos no se especifican ni su relación con otros conceptos se aclara. No se toma en cuenta que los conceptos en la ciencia no se encuentran aislados, sino por el contrario, forman parte de una red de conceptos en donde es su relación con otros

conceptos lo que permite su definición. Por ejemplo, cuando se habla de peso, por lo general se le asocia a la idea de volumen, presión o densidad.

5. Se presta una mayor atención a la descripción de los procesos de cambio y no a los que implican situaciones de conservación. Un fenómeno intenta ser explicado cuando presenta un cambio, difícilmente se plantean interrogantes ante un fenómeno que no cambia. Esto tiene implicaciones importantes en la ciencia, si pensamos en la importancia que tienen en su estructura los principios de conservación. Por ejemplo, la mayoría de los estudiantes conciben la presencia de la presión cuando existe un sistema en desequilibrio y no cuando el sistema se encuentra en equilibrio.

6. Usualmente el razonamiento causal directo es la forma de explicación de los fenómenos. Este tipo de razonamiento tiende a representar secuencias lineales de causa-efecto, lo que implica una tendencia preferencial de razonamiento. Por ejemplo, en mecánica los movimientos se explican debido a la acción de una fuerza que permanece activa durante el movimiento.

A estos factores aún habría que añadir los que se encuentran relacionados con los procesos de pensamiento de los alumnos, con la influencia del lenguaje o del contexto social, como señala Pozo⁶¹. En un estudio sobre el papel de la cultura y el lenguaje en el desarrollo de conceptos en ciencia, Hewson y Hamlyn⁶², entrevistaron a alumnos de 15 años y adultos acerca de sus conceptos de calor y temperatura, los resultados mostraron que las metáforas utilizadas en el

⁶¹ Pozo Op. cit.

⁶² Hewson M. G. y Hamlyn D., (1984). The influence of intellectual environment on conceptions of heat. *European Journal of Science Education* 6, pp. 254-262.

contexto cultural están enlazadas con la estructura conceptual y que son una fuente potencial de concepciones alternativas. Sin embargo, hasta la fecha no existe una teoría que articule todos estos elementos y que dé posibilidades de acción para producir cambios en las nociones de los estudiantes. Además, los diagramas en textos y su dificultad de interpretación resultan ser otra fuente de construcción de concepciones alternativas. Por último, la concepciones de los maestros, la falta de conocimiento en las áreas específicas en las que enseñan, es otro elemento que contribuye a la construcción de las concepciones alternativas de los estudiantes.⁶³

Pozo⁶⁴ agrupa en tres grandes grupos las causas y factores que intervienen en la formación de las concepciones alternativas (y de una manera generalizable podría decirse que también de las que no lo son es decir, si la concepción puede construirse con base en los factores antes mencionados, el concepto construido será equivalente o igual al concepto científico). Estos grupos están referidos a su posible origen, así tenemos:

- I. Las concepciones que tienen su origen en los aspectos perceptivos y que están referidos a una fenomenología específica. Este es el caso de las concepciones alternativas de las que se ha hablado en el primer inciso, y que surgen por la necesidad que tiene la persona de interpretar el fenómeno en cuestión, hasta el punto en que pueda manejarla habitualmente y predecir eventos en su vida cotidiana. En este caso, la interrogante que motiva a los sujetos a un mayor análisis de los fenómenos observados, sale del plano de una actividad común para convertirse en un problema de mayor nivel de abstracción que redituará en una mayor posibilidad de acción a futuro muy pocas veces buscada por las personas.

⁶³ Wandersee Op. cit.

⁶⁴ Pozo. Op. cit.

II. Las concepciones que surgen del entorno social, afectan y regulan el comportamiento de los individuos y son inducidas por el contexto en el que se desarrolla la persona. En algunas culturas es bien sabido el miedo que se tiene a ciertos fenómenos naturales (como los eclipses, sobre todo en el caso de mujeres embarazadas). Este conocimiento es transmitido culturalmente y constituye un preconceito que difícilmente superan ciertas personas en la sociedad.

III. Las concepciones cuya relación con una fenomenología específica es indirecta y en donde la construcción tiene un nivel de abstracción mayor, no encuentran un referente perceptivo por lo que se construyen a través de analogías con aquellos conceptos previamente formados, que en primera instancia debieron estar enlazados con aspectos fenomenológicos. Este tipo de conceptos son muy usuales en las áreas científicas, por lo que es importante tenerlos en cuenta. Visto de esta manera, una concepción alternativa que radica en la percepción es el concepto de base en futuras construcciones por analogía.

Implicaciones de la investigación en concepciones alternativas en la educación

La forma tradicional de enseñanza de la Física que ha prevalecido durante muchos años, se muestra imposibilitada para la construcción de los conceptos físicos que pretende impartir en el aula. Las personas han construido conceptos físicos alejados de los conocimientos aceptados por la Física; son conceptos que

no han sido alterados por la instrucción escolar. La investigación en la enseñanza de la ciencia ha analizado las concepciones de los estudiantes y abre nuevas perspectivas de desarrollo para el entorno escolar, en donde mediante técnicas de intervención en aula se trata de llevar a cabo una transformación de las concepciones alternativas de los alumnos hacia los conceptos científicamente aceptados. Otras implicaciones de las ideas previas de los estudiantes en la enseñanza han sido las transformaciones de diversos currícula, el desarrollo de nuevos textos centrados en aspectos conceptuales e históricos y los diagnósticos de problemas educativos centrados en la comprensión de los conceptos. Todos estos elementos pueden ayudar a mejorar la enseñanza de la Física.

La investigación muestra actualmente una gran cantidad de información acerca de distintos conceptos Físicos y con base a un análisis de la frecuencia de aparición de los aspectos considerados como relevantes, se pueden indicar con aproximación los factores más evidentes que las originan. Sin embargo, con esta información no es posible caracterizar las ideas de los estudiantes, ya que:

- Los resultados obtenidos se encuentran ligados a la descripción de una fenomenología específica, por lo que las respuestas de los estudiantes pueden encontrarse limitadas al tipo de pruebas o experimentación al que están referidos.
- Hasta ahora las concepciones alternativas, se muestran aisladas y desvinculadas con la forma de razonamiento del estudiante. Sólo de una manera parcial puede inferirse el tipo de relaciones conceptuales que el estudiante ha construido.
- Con la presentación de ideas tan parciales y distintas, en cuanto a contexto y metodología, no se favorece el desarrollo de formas de representación que

posibiliten la construcción de modelos de pensamiento, que a su vez permitan una mejor comprensión de las causas de la forma de construcción conceptual de los estudiantes.

La investigación de las concepciones alternativas, no permite organizar la información de manera que se construyan esquemas de representación de las ideas de los estudiantes y den indicios más claros de las causas y las estrategias didácticas que posibiliten su cambio. Es en este momento en donde los esquemas de representación de los conceptos de los estudiantes cobran un significado crucial como elemento de comunicación e interpretación para el cambio conceptual.

Es el objetivo del siguiente capítulo realizar un análisis de mayor profundidad sobre los conceptos de presión y flotación de los cuerpos. El análisis pretende establecer posibles relaciones conceptuales que nos permitan identificar la presencia o no de esquemas de representación conceptual de los alumnos ante situaciones experimentales. Entre los factores importantes a determinar se encuentra la delimitación de las variables que intervienen en la construcción de los conceptos lo que nos llevará a deducir algunas de sus posibles causas.

CAPÍTULO 2

LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DE PRESIÓN Y VACÍO

“Los conceptos físicos son creaciones libres del
espíritu y no están, por más que parezca,
únicamente determinados por el mundo exterior.”
Einstein e Infeld¹

Como se ha apuntado en el capítulo anterior, la investigación realizada sobre las concepciones alternativas muestra una gama de ideas en temáticas específicas; sin embargo, los resultados no permiten determinar a partir de las concepciones de los estudiantes, aspectos como: el tipo de relaciones que se presentan entre conceptos, la posible vinculación de las respuestas de los estudiantes con los tipos de problemas existentes en el aprendizaje, los modelos que pueden estructurarse con base en las concepciones encontradas, etc. Para conseguir estas relaciones es necesario analizar las concepciones alternativas sobre conceptos científicos específicos, señalando los aspectos contextuales de la propia actividad docente que pueden influir en las explicaciones de los estudiantes.

Este capítulo está orientado hacia el conocimiento con mayor profundidad de las diferentes representaciones y explicaciones que muestran los estudiantes acerca de los conceptos de presión y vacío. El análisis pretende establecer las relaciones entre las concepciones de los estudiantes y el contexto de los problemas que resuelven, haciendo uso de estas ideas. Este análisis se hará

¹ Einstein A. e Infeld Leopold, (1965). La Física, aventura del pensamiento. Losada. pp.34.

sobre las ideas reportadas en la literatura y de los datos de una investigación propia con estudiantes del bachillerato de la UNAM.

Resultados de investigaciones recientes sobre los conceptos de presión y vacío

En investigaciones sobre el concepto de presión se encuentra que éste ha sido analizado principalmente en el contexto físico de los gases (en particular el aire), y con menor amplitud en el caso del agua. La mayoría de estas investigaciones se han realizado en edades en las que escolarmente se enseñan las propiedades de los gases y en especial la presión atmosférica. Las edades de las poblaciones investigadas varían entre los 11 y los 18 años, sin embargo, también se encuentran estudios con alumnos de mayor edad.

A continuación se resumen algunos de los resultados encontrados por Seré² sobre las nociones de presión en niños entre los 11 y 13 años (el estudio comprende también concepciones de temperatura y volumen no presentadas en este documento):

- No es obvio para los niños que el aire o un gas tengan masa.
- Muchos niños señalan que los gases pueden ejercer “fuerzas” solamente en situaciones que impliquen el movimiento del gas. Cuando se reconoce la existencia de fuerzas, éstas pueden ser producidas por aumento de temperatura o la presencia de un empuje (ésta noción es análoga en la

flotación, en donde se reconoce la existencia de fuerzas de empuje solamente en el caso de que el objeto se mueva). Puede notarse sin embargo, una diferencia entre el caso del aire considerado como un medio, siendo el aire el que debe desplazarse, y el caso del agua en donde es el objeto el que se desplaza. Otro ejemplo se presenta cuando se trata de explicar lo que sucede cuando se bebe con un popote, las explicaciones se basan en que el aire presiona hacia abajo sobre la superficie cuando se aspira.

- Los gases y líquidos ejercen fuerzas solamente en una dirección. Tal es el caso cuando al explicar la presión a la que está sujeto un pez que nada en el agua, la presión se ejerce de arriba hacia abajo pero no en dirección horizontal, aduciendo que el peso del agua se encuentra en el lomo del pez y no en los costados.
- La atmósfera ejerce presión que es observable sólo cuando existen diferencias. Por ejemplo, en el caso de un vaso recientemente enjabonado que queda unido a una superficie plana, una minoría de estudiantes explica que la dificultad para levantar el vaso se debe a que el jabón, el vaso y la superficie quedan selladas y la presión atmosférica es mayor que la interior.
- La atmósfera ejerce presión sobre las superficies, en este tipo de respuestas se considera que la presión es una fuerza con una dirección específica y no se hace mención de la presencia de una diferencia de presiones. Ésta es la respuesta más utilizada para resolver los problemas con popotes (25% respondió así de todas las edades). La mayoría respondió a las preguntas con

² Serè M. G., (1985). The gaseous state. En Driver, R. Guesne E. y Tiberghien (eds), Children ideas in science. Open University Press, Milton Keynes, England.

relación a lo que sucedía en el interior de las tazas enjabonadas, sin hacer referencia específica a la presión atmosférica.

Algunas de las ideas principales en torno a problemas de presión atmosférica que se desprenden de lo anterior son:

- 1) El vacío aspira o ejerce presión. Por ejemplo, al introducir una jeringa en un recipiente con agua, se pregunta por qué entra el agua, la respuesta en muchos casos fue que al haber un vacío dentro de la jeringa éste succiona el agua.
- 2) Los espacios tienen que llenarse. Ante la pregunta de por qué sube agua por un popote, la respuesta es que se crea un vacío en el interior del popote que debe ser llenado con agua.
- 3) La presión del aire en el interior absorbe o aspira. Es el aire el que ejerce una acción, así el aire en el interior de una taza enjabonada es el que la oprime contra la superficie y no permite que sea levantada con facilidad, o en el caso de la jeringa, el aire es el que aspira.

Es significativo el reporte de la autora sobre el hecho de que aproximadamente la mitad de los estudiantes, independientemente de la edad, interpreta los hechos en relación con lo que ocurre en el interior de los vasos tanto mediante la acción del vacío como por la actividad del aire. En general es importante señalar que los alumnos tienen dificultad en tomar en cuenta más de un agente en un sistema en interacción, por lo que tienden a centrarse en un único

agente, sea la presión del aire en el interior o en el exterior, la succión del aire situado en el interior o la aspiración correspondiente al vacío.

Con la intención de determinar la presencia de marcos conceptuales y su permanencia en el tiempo, Engel-Clough y Driver³, realizaron una investigación sobre conceptos de física y biología entre los que se encuentran explicaciones sobre la presión, la investigación se realizó con 84 estudiantes entre los 12 y 16 años. Los estudiantes fueron entrevistados sobre ciertas tareas, en las que debían hacer predicciones y dar explicaciones acerca del fenómeno presentado. Las ideas sobre presión reportadas son: los cambios de presión con la profundidad en un fluido; los cambios de presión en diferentes direcciones en un fluido y el movimiento de los fluidos de una región de mayor presión a otra de menor presión.

Para determinar la relación entre la profundidad y la presión de un objeto, la pregunta que se expuso fue; si un pez en una pecera se encuentra a diferentes profundidades ¿Dónde tendrá mayor presión? El otro problema, consistió en explicar y predecir cualquier cambio de presión cuando el submarino sometido inicialmente a una presión de 12 atmósferas se encuentra a mitad del camino hacia la superficie. En estas tareas sólo un 69% de los estudiantes expresaron la idea de que la presión en un fluido se incrementa con la profundidad.

Los mismos problemas fueron utilizados para explorar la idea de la presión en diferentes direcciones; en este caso la mayoría de los estudiantes manifestaron la idea alternativa de que la presión hacia abajo es mayor que sobre la horizontal.

³ Engel Clough E. y Driver R. (1986). A study of consistency in the use of student's conceptual framework across different task contexts. *Science Education* 70, 4, pp. 473-496.

Dentro de la misma investigación, se presentaron tres experiencias más con el objetivo de conocer los marcos conceptuales de los estudiantes sobre la presión atmosférica. Dos de los problemas consistieron en explicar la succión del agua con una jeringa y un popote, la tercera tarea consistió en explicar la dificultad de levantar un vaso ligeramente caliente, colocado boca abajo, con jabón en la orilla, y sobre una superficie lisa. Los tres marcos conceptuales identificados son: la respuesta aceptada en términos de la diferencia de presiones, una respuesta en términos de la presión atmosférica externa sin mencionar la interna y un marco alternativo en términos del vacío o succión.

Estos resultados muestran que aún cuando se pudo determinar la presencia de marcos conceptuales, su consistencia fue menor a la esperada y además, dependía fuertemente de aspectos contextuales. Para la mayoría de los estudiantes:

- La presión del agua en un recipiente aumenta con la profundidad.
- La presión se ejerce con mayor intensidad hacia abajo que hacia los lados de un recipiente es decir, la presión tiene una dirección preferencial.

En cuanto a la atmósfera:

- Ésta ejerce presión observable sólo cuando hay una diferencia de presiones sobre alguna superficie.
- La presión y el vacío actúan de manera similar ya que pueden succionar o empujar dependiendo del problema.

La idea del vacío como causa de fenómenos, aparece en las respuestas de las tareas de la jeringa y el vaso boca abajo, lo que sugiere que la noción de vacío está asociada con la propiedad de succión como un agente activo de empuje. En el caso de la explicación del popote, las respuestas en su mayoría correctas implicaban la existencia de una presión externa. Entre sus anotaciones, las autoras señalan que los marcos conceptuales determinados se basan en la experiencia sensorial de los estudiantes en cuanto a la presión, la profundidad en los fluidos y la idea del vacío. Sin embargo, los conceptos como el vacío no son observables, por el contrario, son parte de la construcción de un modelo de interpretación del fenómeno.

De Berg⁴ por su parte realizó un análisis sobre las concepciones de 101 estudiantes (17-18 años) sobre la relación entre los cambios de presión y volumen de una cantidad de aire, a temperatura constante, condiciones en las que la ley de Boyle puede ser aplicada cuantitativamente.

El problema que plantea consiste en explicar por qué una bureta gotea constantemente hasta que se le pone un tapón, (ver figura 2.1).

⁴ De Berg K. C., (1992). Student's thinking in relation to pressure-volume changes of a fixed amount of air: the semi-quantitative context. *International Journal of Science Education* 14, 3, pp. 295-303.

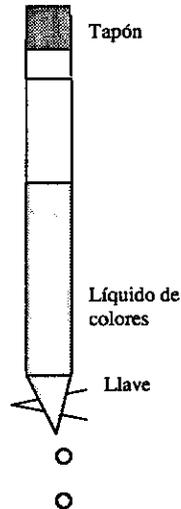


Figura 2.1. Bureta goteando. Figura utilizada por Berg en su investigación para indagar las ideas previas sobre presión atmosférica.

Las respuestas de los estudiantes fueron clasificadas en tres grupos generales:

A. Las propiedades del aire que está encerrado en el recipiente son diferentes cuando éste se encuentra tapado o destapado.

- El aire encerrado no ejerce presión
- La presencia del tapón detiene la acción de la presión atmosférica sobre el líquido
- El movimiento del agua depende de que el aire tome el lugar del agua
- El espacio cerrado se considera como vacío
- La presión del aire encerrado es menor que la atmosférica

- La presión del aire encerrado es mayor que la atmosférica
- Cuando el gas se expande sobre el líquido lo succiona y lo hacer regresar
- El aire encerrado es ligero y no puede empujar el líquido hacia afuera
- El aire está presurizado y no puede empujar el líquido hacia abajo
- La gravedad no actúa sobre el líquido cuando el aire está encerrado

El 74% de las respuestas clasificadas se encuentran dentro de este grupo. Un gran número de las respuestas incluyen ideas de que el aire encerrado no ejerce presión sobre el líquido y que el movimiento del líquido depende de que el aire tome el lugar del agua, así como que el espacio encerrado actúa como un vacío. Para los estudiantes el vacío es algo que succiona o sostiene, existe también la noción de que el aire atrapado y presurizado sostiene o hace que permanezca estacionario más que sirva para empujar. Un estudiante intercambió los términos de gravedad con presión atmosférica y otro implicó el concepto Aristotélico de que la naturaleza aborrece el vacío. Todas las referencias del vacío implicaban que éste sostenía el líquido o se succionaba sobre él. También aparece la noción de que el aire ejerce una presión cuando se encuentra en estado de movimiento

B. La acción del tapón no permite que el agua fluya

- El aire es forzado a salir cuando el tapón se inserta
- Insertando el tapón se incrementa la presión sobre el líquido
- El tapón sostiene al líquido en equilibrio mostrando cierta posición (actúa como el vacío)
- Al insertar el tapón sale una burbuja de aire
- Al insertar el tapón se presuriza el tubo y se detiene el flujo de agua
- El tapón detiene la presión dentro del tubo actuando sobre el líquido

- Al empujar sobre el tapón se empuja el líquido hacia afuera; cuando el empuje termina el flujo de líquido también.

Una menor cantidad de estudiantes respondieron en esta categoría. Se puede observar que algunos estudiantes usan la palabra presurizado en el sentido de sostener más que empujar. También con la diferencia de que en este caso se le relaciona a la acción del tapón aparecen algunos conceptos como el vacío.

C. Diferencias de presión-balances

- La presión de la bureta es mayor que la presión atmosférica por lo que el agua fluye
- La presión que actúa hacia arriba en la punta es mayor que la presión del aire encerrado
- La presión que actúa hacia arriba en la punta es igual que la presión del aire encerrado más la altura del líquido
- La presión que actúa hacia arriba en la punta es mayor que la presión del aire encerrado más la altura del líquido
- La presión externa es mayor que la presión interna
- La presión interna es igual que la presión de la llave
- La presión interna es menor o igual que la presión de la llave
- La presión que succiona al líquido y lo hace regresar es igual que la fuerza gravitacional sobre el líquido

Al igual que en el caso anterior, pocos fueron los alumnos que contestaron en esta categoría, sin embargo, el nivel de sofisticación en las explicaciones cambió. Las explicaciones van desde considerar que la presión externa es mayor que la interna, hasta el análisis más detallado en términos de la presión del aire encerrado, la presión provocada por la altura del líquido y la presión

atmosférica que actúa sobre la punta. Algunas explicaciones ignoran completamente la presencia de la presión atmosférica externa e incluyen la idea de presión como succionar o jalar más que como empujar.

Por su parte Rollnick y Rutherford⁵, analizaron las concepciones alternativas de profesores de escuela primaria cuyas edades se encontraban sobre los 18 años. Durante el estudio realizaron entrevistas en las que se incluía la posibilidad de efectuar una actividad experimental en pequeños grupos; una vez concluida la entrevista se siguió con una prueba confirmatoria que también incluyó aspectos prácticos pero aplicados a grandes grupos. Las entrevistas fueron videograbadas y subsecuentemente transcritas y analizadas. De este análisis surgió una lista de conceptos empleados sistemáticamente por los profesores; a esta lista se integró una lista de concepciones científicamente aceptadas para cada tema y que podían no haber sido mencionadas por los entrevistados. De cada uno de los problemas planteados surgieron una serie de ideas que las autoras presentan en un glosario general de ideas extraídas de las entrevistas. Del listado de concepciones alternativas de la investigación tan solo se presentan aquí las que se refieren a la presión del aire y que surgen como respuesta a cada uno de los problemas planteados:

Ante el problema de explicar cómo es que se bebe agua con un popote, se encontraron respuestas del tipo:

- El vacío que succiona hace que el líquido suba
- Al succionar el líquido le sigue

⁵ Rollnick M., y Rutherford M., (1990). African primary school teachers- What ideas do they hold on air and air pressure? *International Journal on Science Education* 12, 1, pp. 101-113. Y Rollnick M., y Rutherford M., (1993). The use of conceptual change model and mixed language strategy for remediating misconceptions on air pressure. *International Journal on Science Education* 15, 4, pp. 362-381.

- Hay presión abajo del líquido
- El aire del exterior solamente presiona cuando se succiona
- Algo debe llenar el vacío que se ha creado

Al tratar de explicar por qué un chupón de hule se adhiere a una superficie, los alumnos argumentaron que:

- el aire atrapado en un objeto flexible adhiere el objeto a la superficie.

Cabe mencionar que las autoras reportan que esta idea predominante en los sujetos de su estudio corresponde a tan solo el 10% de la población investigada por Seré⁶. Otro aspecto relevante en los resultados obtenidos se encuentra en el hecho de que ningún estudiante mencionó la presencia de aire externo como un factor importante en la explicación del problema, aun cuando sí mencionaron que se había sacado el aire dentro del chupón (30% de la población).

Engel y Driver⁷ presentaron dos experiencias con un frasco y un popote; en la primera experiencia se muestran dos frascos con tapa, uno de ellos tiene en la tapa un orificio en el que se encuentra un popote; el segundo frasco tiene dos orificios, en uno de ellos se encuentra otro popote. La segunda experiencia es un modelo de pulmón formado por un globo y un popote.

Al preguntar a los estudiantes por qué sube el agua o bien cómo funciona el modelo de pulmón, éstos respondieron que: al incrementarse un volumen se presenta un descenso en la presión y viceversa. En ambos casos el argumento se basa en que el aire ocupa espacio. Esta explicación, que es considerada como una concepción científica aceptable, se clasifica como una concepción

⁶ Seré Op. cit.

incompleta, ya que ignora el hecho de que el aire ejerce presión y la explicación utiliza el efecto más que la causa.

Gallegos, Flores, Covarrubias, Vega y García⁶, se plantearon determinar las nociones en 314 estudiantes del último ciclo del bachillerato de la UNAM sobre los conceptos de presión y flotación y analizar sus relaciones en diferentes contextos. El instrumento utilizado fue un cuestionario con 14 preguntas, de las cuales 12 estuvieron referidas a diversas situaciones fenomenológicas. Las preguntas tenían por objeto determinar si los conceptos de presión y flotación eran relacionados por los estudiantes al enfrentarse a distintas situaciones fenomenológicas. En el análisis de sus resultados los autores presentan una tabla con las principales categorías encontradas:

Atributos de presión:

- La presión es un fuerza que empuja o comprime
- La presión está determinada por otras variables físicas como el volumen, masa, etc.
- La presión cambia los atributos de las cosas
- Existen distintos tipos de presión como la gravitacional, del aire, sobre superficies, intermolecular, etc.
- La presión se ejerce o actúa en todas direcciones
- La presión actúa en forma diferente en cada dirección

⁷ Engel et. al. Op. cit.

⁶ Gallegos L., Flores F., Covarrubias H., Vega E. y García B., (1994). Ideas Alternativas sobre los conceptos de flotación y presión. Documento interno Centro de Instrumentos UNAM.

Interconexión entre presión, peso y vacío

- En el vacío los objetos se unen
- En el vacío no hay gravedad y los objetos no tienen atributos
- El peso de un objeto es independiente del vacío o de la presencia del aire
- En el vacío, todos los objetos pesan igual

Presión en gases

- Si el aire está encerrado produce mayor presión
- El aire empuja los objetos hacia arriba
- El aire atrapado sostiene objetos
- El aire encerrado empuja hacia afuera
- La presión del aire es mayor en un objeto poroso que en uno más pesado

Presión en agua

- El agua presiona a las cosas ya sean sólidas o líquidas
- La presión del agua depende de la profundidad
- La presión del agua se localiza solo en el fondo del recipiente
- La presión es mayor en el fondo porque hay más agua

Los resultados muestran que en muchos de los casos las explicaciones dependen de los atributos de los materiales, así por ejemplo, los globos suben porque tienen aire y el aire siempre sube. Para los estudiantes la afirmación de que el aire siempre sube es una premisa verdadera que no se cuestiona.

Las nociones de presión y fuerza se emplean indistintamente. La dirección de la presión depende del problema a resolver: si se trata de un cubo de paredes

flexibles que se sumerge en un tanque de agua algunas de las paredes se hunden por la presión del agua y otras se abomban por la presencia del aire que las empuja hacia afuera. La presión se clasifica de acuerdo con la acción que ejerce, así aparece la presión atmosférica, la presión dentro del agua, etc.

Para explicar por qué un dardo con una ventosa en la punta se mantiene unido a un vidrio, los estudiantes utilizan la idea del vacío como elemento que une a dos cuerpos. El problema de la flotación en el aire es otro problema que desencadena la noción del vacío. Al respecto se presentan dos situaciones: en un caso se pregunta lo que ocurrirá con un globo dentro de una campana a la que se le extrae el aire; el otro caso es el de una balanza en equilibrio con objetos de densidad muy diferente dentro de una campana sin aire, el estudiante debe explicar qué sucederá con la balanza si se introduce aire en la campana. Ante tales situaciones aparecen respuestas como que en el vacío no existe la gravedad o bien los objetos pesan menos o pesan todos lo mismo. El 26.4% de los estudiantes utilizó para su explicación el concepto del vacío, que actúa ya sea uniendo o separando a los objetos. También el vacío presenta relación con la gravedad y su acción sobre el peso de los objetos.

En cuanto a las ideas de presión en gases, éstas surgieron ante la necesidad de explicar el cambio de nivel en un tubo en U. El uso de las nociones son similares a las del vacío con la diferencia de que ahora es el aire el que actúa. Así, el aire puede empujar o jalar objetos con distinta intensidad, puede empujar en diferentes direcciones o resistir al movimiento. Si el aire se encuentra encerrado en un extremo del tubo en U, éste actúa de una manera distinta si el extremo del tubo se encuentra abierto. Es importante resaltar que entre los resultados observados se encuentra que los estudiantes explican los fenómenos a los que se enfrentan buscando una sola causa; es decir, las

explicaciones relacionan una sola variable que tiene que ver con los objetos o el entorno en el cual se trata de explicar el fenómeno. Lo anterior sugiere que los estudiantes ven parcialmente el problema y a través de relaciones causales directas entre pocas variables.

En las preguntas relacionadas con la presión en el agua, las nociones de los estudiantes se centran en las situaciones de contexto específico de los problemas planteados. Así, la mayoría de los estudiantes contesta que la presión depende de la profundidad en un recipiente con agua y que esto se relaciona con el peso, el volumen del agua o las paredes del recipiente. Estas nociones no aparecen cuando el problema consiste en determinar la dirección de la presión ejercida. En este último caso, las explicaciones son variadas respecto de la posibilidad de que la intensidad de la presión sea diferente, ya que ésta puede ser unidimensional, ya sea vertical u horizontal, o bien existe en todas direcciones.

Síntesis de la revisión bibliográfica

Como se ha mostrado las ideas expresadas por los estudiantes de distintas edades dentro de un intervalo entre los 12 y 20 años son similares en cuanto a las ideas del vacío y el aire encerrado dentro de un recipiente tapado. Las formas de expresión de las ideas en todos los casos no presentan argumentos completos que reflejen la presencia de "teorías explicativas" que de alguna forma regulen los argumentos. Las formas de experimentación son similares aún cuando no iguales, limitándose el uso de entrevistas como instrumento de exploración y tan solo en algunos casos se recurrió a la aplicación de un cuestionario. En algunos casos se menciona la presencia de una fase de

experimentación que acompaña a la entrevista y en la que se requiere de la explicación de los observado o bien la actuación del estudiante en un proceso de justificación de sus argumentos.

De los resultados de las investigaciones antes descritas, es posible construir las ideas que son utilizadas por los estudiantes. Para sintetizar estos resultados se han unido problemas similares, mostrando las ideas que aparecen como explicación de los fenómenos de que se habla, dividiéndolas en cuanto a si se refieren al vacío, a la presión o a la acción del aire.

Respuestas a los problemas de la jeringa y el popote.

Ideas relacionadas con el vacío:

- El vacío aspira o ejerce presión. Dentro de la jeringa hay un vacío y éste aspira el agua.
- El vacío dentro de la jeringa succiona el agua.
- El agua sube por el popote porque se hace un vacío que debe llenarse con el líquido.
- El vacío succiona y hace que el líquido suba en el popote.
- Algo debe llenar el vacío que se forma.

Ideas relacionadas con el aire:

- El agua sube en el popote porque el aire presiona hacia abajo sobre la superficie del agua.
- El agua sube porque hay una presión externa.
- El agua sube porque hay una presión abajo del líquido.
- Al succionar el agua el aire exterior presiona
- El aire dentro de la jeringa aspira el agua.

Respuestas a los problemas de la bureta y el tubo en U.

Ideas relacionadas con el vacío:

- En el espacio entre el tapón y el agua se forma un vacío que succiona, empuja o hace que los objetos floten.
- El vacío se forma porque hay un tapón que cierra el recipiente.

Ideas relacionadas con la presión:

- El aire encerrado no presiona los líquidos.
- El tapón presiona el aire que empuja o jala el líquido.
- Hay diferencias de presión dentro y fuera de la bureta o el tubo.

Ideas relacionadas con el aire:

- El líquido en el tubo y en la bureta se mueven porque ocupan el lugar del aire.
- El aire del lado que está abierto empuja el aire.
- El aire encerrado jala o empuja el agua.

Respuestas a los problemas de la taza o vaso unido a una superficie plana y el dardo pegado a un cristal.

Ideas relacionadas con el vacío:

- Entre el dardo y el vidrio se crea un vacío que los une
- Entre la taza y la superficie se crea un vacío que los une

Ideas relacionadas con la presión:

- La atmósfera ejerce presión sobre los objetos y los une.
- El aire en el interior de la taza ejerce presión y aprieta la taza contra la superficie.
- El aire atrapado en un objeto flexible adhiere el objeto a la superficie.

Respuestas a los problemas del submarino, pez en la pecera y cubo de paredes flexibles sumergido en agua y agua saliendo en un cilindro con perforaciones a diferentes alturas.

Ideas relacionadas con la presión:

- La presión del agua actúa sobre el lomo del pez y no sobre la horizontal (presión con dirección vertical).
- La presión del agua aumenta con la profundidad
- La presión del agua actúa en todas direcciones.
- La presión del agua es mayor en algunas direcciones que en otras.
- La presión del agua hunde algunas paredes y la presión interna del aire dentro del cubo saca otras.
- La presión depende del peso y el volumen del agua.
- La presión depende de los lados del recipiente.

Respuestas a los problemas de flotación de un globo y equilibrio de una balanza en el vacío.

Ideas relacionadas con el vacío:

- En el vacío no hay gravedad y los objetos flotan o suben.
- En el vacío todos los objetos pesan igual.

Ideas relacionadas con la presión:

- El aire presiona a los objetos de manera diferente.

Los estudiantes de diversos niveles presentan problemas en la comprensión del concepto de presión al que parece adjudicársele características que dependen del problema a resolver. Así por ejemplo, la presión atmosférica, la presión al interior de un tubo cerrado, la presión al interior de un tubo abierto, la presión en un líquido, etc... indican que se tienen conceptos distintos con la misma denominación. Por otro lado, el concepto de presión generalmente está asociado a la idea de fuerza y sus características direccionales. Los problemas asociados a la flotación muestran que si bien se reconoce su existencia en los líquidos e incluso se enfatiza su variación con la profundidad o su relación con el peso de los objetos, en el aire la presión (como fuerza) sólo parece estar asociada al empuje producido por el aire, ya sea interno o externo. Sobre la presión en el aire no se hace mención del volumen, peso, ni del recipiente que lo contiene.

La presión actúa ya sea jalando o empujando dependiendo del problema que se deba resolver. En el caso de la presión del agua, el peso y el volumen y en algunos casos las paredes del recipiente son factores que se considera intervienen en la acción del empuje del agua sobre los objetos.

La acción del vacío se piensa más como una acción de succión que sirve para detener al líquido más que en el sentido de empujar. También aparece la idea de que el vacío debe llenarse. Las ideas como la ausencia de gravedad en el vacío aparecen cuando los estudiantes piensan que los objetos van a subir o bien a quedarse flotando sin movimiento.

En general las experiencias que se tienen con la presión en gases como “succionar” por un popote, el uso de un atomizados, o la aplicación de un sifón, tienen relación con las nociones de vacío.

Análisis sobre las ideas de presión y vacío relacionadas con el aspecto fenomenológico

Con la finalidad de precisar las ideas de presión y vacío de los estudiantes, el nivel de relación con el tipo de preguntas y las variables empleadas en la argumentación, se realizó un análisis con los conceptos de presión y vacío que fueron empleados al contestar el cuestionarios utilizado en la investigación de Gallegos et. al.⁹. Para dicho análisis se trabajó con las respuestas escritas de los cuestionarios¹⁰.

A continuación se presenta el conjunto de preguntas formuladas a los estudiantes y una síntesis de sus respuestas en relación a la presión y el vacío, aparece entre paréntesis el número de estudiantes que emplearon esta idea.

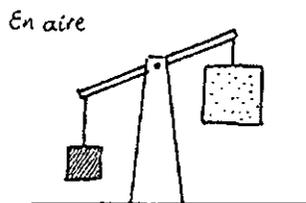
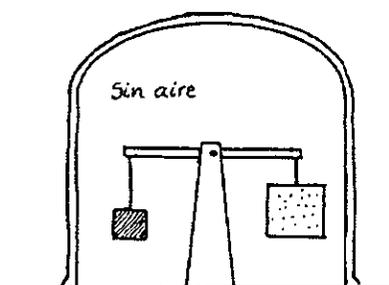
Problema A

Una balanza de brazos iguales está situada en el interior de una campana en la que se ha evacuado el aire. En uno de los lados de la balanza está suspendida

⁹ Gallegos Op. cit.

¹⁰ . La relación entre el contexto fenomenológico y las respuestas de los estudiantes pueden ser analizadas con mayor detalle con base en las respuestas escritas de los estudiantes que fueron parte de la investigación a la que se hace referencia. Los resultados presentados en la siguiente sección son el resultado de este segundo análisis sobre los mismos instrumentos de análisis de las ideas. La muestra general referida es de 300 alumnos de la Escuela Nacional Preparatoria y del Colegio de Ciencias y Humanidades.

una pieza de metal y en el otro lado una pieza de espuma de plástico. La balanza está en equilibrio. Si se repite la prueba en el aire sin la cubierta, la balanza queda desequilibrada; el brazo que tiene la pieza de metal queda abajo y el de la espuma queda arriba. ¿Qué supones que hace que la balanza quede desequilibrada?



Elige tu respuesta entre las opciones siguientes y explica por qué la elegiste.

A. Cambia el peso en alguno o ambos cuerpos

1. El trozo de metal aumentó su peso
2. El trozo de plástico disminuyó su peso
3. Ambos cambian de peso pero uno más que otro. Di cual cambia más y cómo.

B. El aire empuja a uno o a ambos cuerpos

1. *El aire empuja al metal hacia abajo*
2. *El aire empuja al plástico hacia arriba*
3. *El aire empuja a ambos pero a uno más que al otro. Di hacia dónde son empujados y cuál es más empujado.*

Ideas de los estudiantes

Explicaciones basadas en la idea de presión:

- “La presión atmosférica empuja algunos objetos con mayor fuerza que otros” (3)
- “La presión del aire hace que el cuerpo sea atraído por su peso”(3)
- “La presión empuja más al de mayor peso” (2)
- “La presión del aire empuja con más fuerza al que no pesa” (1)
- “Actúa la presión y el peso de los cuerpos” (1)
- “Cambia el peso porque no hay presión” (1)
- “Como están en el vacío los cuerpos son empujados hacia arriba porque no hay resistencia del aire” (2)
- “El aire empuja a ambos objetos (a uno más que a otro)” (2)
- “La presión cambia con el aire, aumenta el peso del metal y disminuye el del plástico” (1)
- “El metal es empujado hacia abajo y la espuma de hule hacia arriba” (1)

Explicaciones basadas en la idea del vacío:

- “En el vacío los objetos pesan igual” (17)
- “En el vacío los objetos pierden su peso” (1)

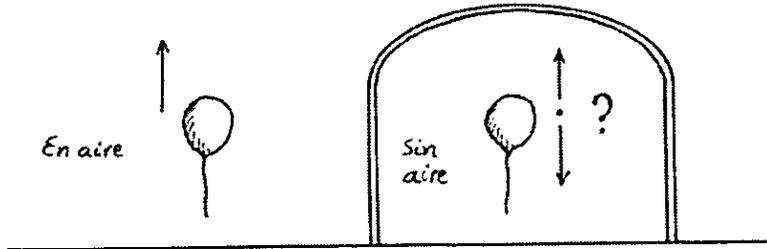
- “En el vacío los objetos cambian de peso” (1)
- “En el vacío no hay gravedad y los objetos quedan estáticos” (6)
- “En el vacío no hay resistencia de aire” (5)
- “Sin aire no hay fuerzas que lo muevan, que le permitan subir o bajar” (2)

Explicaciones basadas en la presencia del aire:

- “Las corrientes de aire cambian (resisten más en un cuerpo que en otro)” (2)
- “El aire empuja a los dos cuerpos” (2)
- “El aire empuja a los dos objetos” (2)
- “El aire empuja más al cuerpo de menor superficie que es el metal” (1)
- “El aire ejerce presión sobre todos los cuerpos y empuja más al que ofrece menos resistencia” (1)
- “Los objetos cambian su peso con el aire” (2)
- “La presión del aire permite que los cuerpos sean atraídos según su peso” (2)
- “En el aire los cuerpos tienen pesos diferentes de acuerdo a sus masas” (1)
- “En el aire el peso del plástico es menor” (1)
- “El aire influye en la gravedad” (1)
- “En el aire lo pesado cae y lo liviano flota” (1)
- “El aire hace que la gravedad empuje hacia abajo a los dos cuerpos” (1)
- “Por la fricción del aire” (1)

Problema B.

Un globo con helio sube en el aire. ¿Qué sucede con el mismo globo dentro de una campana al vacío?



Elige tu respuesta entre las opciones siguientes y explica por qué la elegiste.

A. Se queda estático

- 1. No hay aire que lo haga subir*
- 2. La flotación se equilibra con su peso*
- 3. No pesa*

B. Sube

- 1. Sigue subiendo porque no pesa*
- 2. Sube más rápido pues no hay aire que le estorbe*

C. Baja

- 1. Aumenta su peso por la falta de aire*
- 2. No hay fuerza debida al aire y cae por su peso*

Ideas de los estudiantes

Explicaciones basadas en la idea de presión:

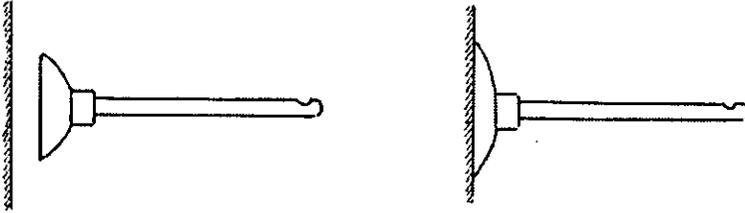
- “El aire hace que el globo suba ya que sin presión se queda estático” (3)
- “Hay presión dentro del globo que lo hace subir” (1)
- “Sube porque no hay presión y no hay una fuerza” (1)

Explicaciones basadas en la idea del vacío:

- “En el vacío las cosas no tienen peso ya que no hay presión del aire, las cosas se quedan estáticas y el helio presiona para salir” (10)
- “En el vacío no hay presión que haga subir al globo y se queda estático” (5)
- “En el vacío no hay presión y por lo tanto la posición del globo se equilibra” (4)
- “En el vacío no hay gravedad” (4)
- “En el vacío todo pesa igual y cae por gravedad porque no hay aire” (4)
- “En el vacío no hay presión atmosférica ni gravedad” (3)
- “En el vacío un cuerpo baja por su peso y no hay fuerza que lo haga subir sobre él” (2)
- “En el vacío no hay resistencia del aire o no hay fuerza de oposición y cae” (2)
- “En el vacío sí hay gravedad” (1)
- “En el vacío no hay presión atmosférica” (1)
- “En el vacío hay poco oxígeno y esto provoca que el globo con helio suba” (1)

Problema C.

Un dardo de juguete, con una ventosa de hule en la punta, se presiona horizontalmente contra una superficie plana y lisa, como un vidrio de ventana (a). Si se intenta separarlo ofrece resistencia (b), ¿Por qué crees que cuesta trabajo separarlo?



Elige tu respuesta entre las opciones siguientes y explica por qué la elegiste.

- A. El hule se pega al vidrio*
- B. El aire atrapado pega el dardo al vidrio*
- C. Solamente la acción del aire de afuera pega al dardo y al vidrio*
- D. Entre el vidrio y el hule hay un vacío que mantiene unido al dardo con el vidrio*
- E. El aire exterior empuja más al dardo que el aire que está entre el hule y el vidrio*

Ideas de los estudiantes

Explicaciones basadas en la idea de presión:

- “Entre el dardo y la ventana hay una fuerza (presión) que no permite que se separe fácilmente” (3)
- “Sólo hay presión interior (dentro de la ventosa)” (3)
- “La presión externa es mayor que la presión interna” (2)
- “La presión del hule sobre el vidrio une a la ventosa con el vidrio” (2)
- “No hay presión entre el dardo y el vidrio” (1)
- “Por la diferencia de presiones” (1)
- “La presión externa (del aire) la presiona más” (1)
- “Al pegar el dado al vidrio se suprime el aire haciendo mayor presión” (1)
- “(En la ventosa) es mayor la presión del aire de afuera (que el que está en su interior)” (1)

Explicaciones con base en la idea de vacío:

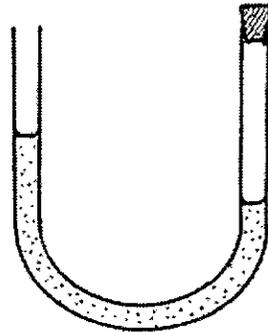
- “Hay un vacío entre el hule y el vidrio que produce una presión y no permite que se separen” (12)
- “El vacío adhiere los cuerpos” (9)
- “Se forma un vacío que hace que se una el hule al vidrio” (8)
- “Al chocar (el dardo con el vidrio) se forma un vacío que trata de llenarse succionando” (2)
- “El vacío ejerce una presión al hule” (2)
- “El vacío hace que la presión atmosférica haga pegarse el dardo al vidrio” (1)
- “Sin aire no hay presión y si (se produce) resistencia a separarse” (1)

Explicaciones con base en la idea de aire:

- “El aire hace presión entre le vidrio y el hule” (18)
- “El aire dentro de la ventosa atrae los dos cuerpos” (4)
- “El aire comprimido ejerce mucha fuerza” (3)
- “Se comprime el aire y se necesita fuerza para descomprimirlo” (1)
- “Las moléculas de aire se unen y se ejerce una atracción entre el vidrio y el hule” (1)
- “El aire del interior de un recipiente ofrece una resistencia a la fuerza externa” (1)

Problema D.

Un tubo en U contiene agua y uno de los extremos tiene la entrada tapada. Los niveles en los brazos no son iguales. Elige la opción que creas que explica mejor lo anterior.



Elige tu respuesta entre las opciones siguientes y explica por qué la elegiste.

- A. *El tapón produce un empuje que llega al agua contenida en ese extremo, haciendo que suba el nivel de agua en el otro brazo del tubo.*
- B. *La acción del aire atrapado entre el tapón y el agua produce un empuje sobre el agua y no le permite subir de ese lado.*
- C. *El aire del exterior junto con el agua del extremo abierto empujan igual que el aire atrapado y el agua del extremo tapado.*

Ideas de los estudiantes

Explicaciones basadas en las ideas de presión:

- El aire ejerce más presión cuando el tubo está cerrado que cuando está abierto (7)
- El aire atrapado ejerce presión dentro del tubo entre el tapón y el agua y no lo deja subir (3)
- Se ejerce una presión del aire atrapado y el agua ya no sube (2)
- El aire encerrado empuja el agua (2)

Explicaciones basadas en la idea de vacío:

- Hay un vacío que hace presión y no permite llenar el tubo (1)

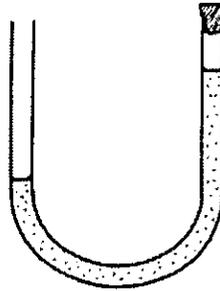
Explicaciones basadas en la idea de aire:

- El aire atrapado no permite que pase el agua (por el volumen que ocupa, superficie) (7)
- El aire atrapado succiona (detiene el agua) (2)

- El tapón ocupa un espacio que provoca que el aire salga por el otro lado y baje el nivel del agua (1)

Problema E.

Un tubo en U contiene agua y uno de los extremos tiene la entrada tapada. Los niveles en los brazos no son iguales. Observa que la altura de las columnas de agua son diferentes al caso anterior.



¿Puedes explicar por qué los niveles no son iguales?

Ideas de los estudiantes

Explicaciones basadas en la idea de presión:

- “Por la presión del lado tapado (puede ser hacia arriba o hacia abajo)” (6)
- “La presión del lado tapado es menor que la presión del no tapado” (4)

- “Hay presión diferente en cada brazo siendo más la de un lado que la del otro” (2)
- “La presión del lado tapado es mayor que la presión del no tapado” (2)
- “La presión del lado tapado atrae el agua” (1)
- “La presión del tapón provoca fuerzas opuestas, (el agua trata de subir pero el aire lo impide)” (1)
- “El tapón ejerce una fuerza sobre el agua mayor que del lado libre” (1)
- “Como la presión atmosférica se encuentra de un solo lado del tubo, el empuje es hacia el otro lado” (1)

Explicaciones basadas en la idea de vacío:

- “Hay un vacío entre el agua y el extremo del tubo y sube el nivel (ejerce atracción)” (5)
- “Se forma un vacío con el tapón que impide que el agua cambie de posición” (1)
- “El vacío ejerce una presión sobre el agua” (1)

Explicaciones basadas en la idea de aire:

- “El aire ejerce más presión sobre el lado tapado” (3)
- “El aire tapado es menor y suspende el líquido” (2)
- “El aire no deja subir el agua” (1)
- “El aire o la fuerza de gravedad empujan el agua al otro extremo del lado tapado y del otro lado no hay una fuerza de empuje” (1)
- “El aire empuja el agua, y provoca un vacío entre el tapón y el agua” (1)
- “Se comprime el aire que impide que el agua se mueva” (1)
- “El aire atrapado atrae al agua” (1)

Definición de presión de los estudiantes

Ideas de los estudiantes con respecto a lo que consideran que es la presión:

- “La fuerza que se ejerce sobre un cuerpo (puede presentarse sobre dos masas, porque se tiene menor volumen, o bien porque depende de la forma, peso, etc..)” (75)
- “La fuerza que ejerce un cuerpo sobre la superficie de otro fluido” (13)
- “La fuerza de la atmósfera terrestre sobre los cuerpos” (12)
- “La fuerza que ejerce el aire sobre un cuerpo” (9)
- “La fuerza del agua sobre el objeto” (8)
- “La fuerza que se le aplica a un cuerpo dándole movimiento y dirección” (6)
- “La fuerza que se aplica para deformar, cambiar de estado, atraer o expulsar un cuerpo” (5)
- “La fuerza de atracción entre moléculas” (5)
- “La fuerza sobre los cuerpos que depende del material y del vacío” (4)
- “La fuerza ejercida entre dos cuerpos en los cuales hay un movimiento de partículas, o entre distintos volúmenes” (3)
- “La fuerza gravitacional que se ejerce sobre los cuerpos” (3)
- “La fuerza de atracción que une dos cosas” (2)
- “El peso que soporta un cuerpo por la atmósfera u otra causa” (2)
- “Resultado de fuerzas internas contrarias a la gravedad” (2)
- “Fuerza sobre un líquido” (2)
- “Fuerza de la Tierra sobre un objeto” (2)
- “La fuerza que hace que un objeto no pueda moverse libremente” (1)
- “La fuerza que se dirige a todos lados” (1)
- “La fuerza ejercida por un cuerpo por unidad de área” (1)

- “Fuerza que impide entrada o salida de cuerpos” (1)
- “Fuerza para expulsar o atraer otra masa” (1)
- “Capacidad de controlar el volumen o salida de líquido o gas” (1)
- “La presión es contraria a la tensión” (1)
- “La fuerza que el peso de un cuerpo ejerce sobre otro” (1)
- “La capacidad de controlar el volumen o salida de líquido o gas” (1)
- “Magnitud vectorial con una fuerza mayor a otra” (1)
- “Cantidad de aire de la atmósfera” (1)

Los conceptos de vacío y presión de los estudiantes dependientes del contexto fenomenológico

En los cinco problemas presentados las ideas centrales en los argumentos de los estudiantes se basan en el uso de los conceptos de presión, vacío y flotación. En los problemas de la balanza en equilibrio en el vacío y el del globo en el vacío, puede observarse que:

- Cuando las ideas de presión y peso se relacionan para ajustar una explicación sobre la falta de equilibrio en la balanza, el equilibrio es el agente regulador en las explicaciones. La presión no se distingue de la fuerza y al igual que en el peso subyace sólo la idea de acción; es decir, ésta es vista como un empuje en ambos casos.
- Las ideas sobre el vacío se encuentran ligadas a propiedades o características que definen su acción; así por ejemplo, sin gravedad los objetos quedan flotando, pesan igual, o bien no hay resistencia del aire, y por lo tanto, los objetos suben, bajan o bien no hay presión. En estos casos las

ideas de vacío están más definidas que las ideas de presión, en donde no se hace explícito cuál es el agente que lo produce. Así por ejemplo, al hablar sobre la presión las expresiones varían: es la fuerza producida por la atmósfera sobre un cuerpo o su superficie, o es el aire el que empuja a unos objetos más que a otros sin especificar las causas. Al referirse al vacío, éste queda identificado con las acciones que realiza sobre los cuerpos o las características de éstos en presencia de aquél.

- Los estudiantes argumentan siempre a partir de la premisa de la existencia del vacío como posible causa de la fenomenología que observan. Cuando en las respuestas analizadas se encuentra presente el vacío éste es considerado como el factor causante del fenómeno que se explica. Para los estudiantes es clara su presencia y su causalidad en los fenómenos que observan. Por otro lado, es también claro que aún cuando no hacen mención de la presencia del vacío, los estudiantes consideran que la acción de succionar produce el vacío y que ésta es la posible causa de lo observado.
- Si bien la solución física de los problemas A y B antes expuestos, está relacionada con la flotación de los cuerpos en el aire, los problemas nunca fueron enfocados por los estudiantes de esta forma. Los problemas son resueltos con base en los factores de cambio general, es decir, la intención es determinar las causas del desequilibrio de la balanza o lo que sucede con un globo en el vacío. Estas causas son atribuidas por los estudiantes a propiedades o características de los objetos o sustancias como pueden ser la presencia del vacío o bien a la relación con el cambio de peso que es debido a la acción de la presión del aire.

Los problemas C, D y E son similares en cuanto a su solución en términos físicos, sin embargo, analizando las ideas de los estudiantes se infiere que:

- Los problemas relacionados con el dardo y los dos en los que se presentan situaciones de diferencias de altura en un tubo en U deban ser resueltos con base en la comprensión de diferencias de presión entre el exterior y el interior del dardo o entre el agua, el tapón y la presión atmosférica. El caso del tubo en U presenta además la dificultad de que debe considerarse la presión producida por la columna de agua que permanece más elevada.
- Para resolver el problema del dardo los estudiantes explican que es la presión interna la que ejerce una presión que une al dardo con la ventana. En un caso similar se encuentran las ideas que se presentan para el caso del tubo en U, en donde el aire ejerce una presión que jala o empuja. Aquí aparecen ideas sobre la presión atmosférica referida como algo externo que empuja, jala o une objetos. El mismo efecto se identifica con ideas contradictorias que corresponden a la misma descripción del fenómeno, lo que sugiere que la idea de presión se encuentra muy parcializada y relacionada con los fenómenos que pretende describir.
- En el caso de los problemas sobre el tubo en-U no se considera como un factor importante la presión que produce la columna de agua, ya que en ninguna respuesta la presencia del agua es relevante para la solución del problema.
- También es significativo que en los problemas tan diferentes como el A y el B, se presentan mismas ideas sobre el vacío. Estas ideas son similares a las que se argumentan en la solución de los problemas D y E, lo que parece

indicar que la idea del vacío se encuentra mejor identificada, por ejemplo, que en el vacío la gravedad no actúa, que todos los objetos pesan igual o que el vacío succiona o jala.

- Las ideas acerca de cómo actúa el aire se hacen más evidentes en los dos problemas del tubo en U. La acción del aire es similar a la producida por el vacío; sin embargo, es importante anotar que las características de un ambiente con aire son lo contrario de uno en el vacío, aún cuando la acción ejercida sea la misma.

Implicaciones para la enseñanza

Es posible señalar que en todos los casos analizados el vacío se piensa como la explicación de un fenómeno en donde no se reconoce un agente observable. Por ejemplo, en los casos en donde se menciona la existencia del vacío, los estudiantes consideran que se forma un espacio. La acción del vacío puede variar de acuerdo a las condiciones del problema, esto es, dependiendo del contexto existirá o se formará ese espacio no ocupado. Las acciones atribuidas al vacío pueden ser succionar, jalar o bien empujar; tales acciones se explican en algunos casos como la necesidad de llenar ese espacio vacío. El vacío se identifica como un espacio en el que la gravedad no actúa, por lo que los objetos pueden flotar.

En cuanto a las ideas sobre la presión, éstas se identifican como el agente causal de los fenómenos en donde se presenta algún movimiento; esto es, se identifica con la acción de empujar o jalar de una forma similar a la que ocurre con la idea de vacío. La presión siempre se identifica como una fuerza que

actúa; de nuevo las condiciones del problema son determinantes. La dirección en la que se observa la presión es en ocasiones unidireccional y cambia en intensidad, mientras que en otras puede actuar en dos direcciones diferentes e inclusive en todas las direcciones.

Cuando el problema implica el manejo de agua, su presión se identifica con la cantidad de la misma, lo cual establece una relación proporcional entre la altura y la presión del agua en un recipiente. Sin embargo, cuando se trata de la presión atmosférica se pierde esta identificación de las variables que definen la cantidad de aire. Se reconoce que el aire ejerce cierta presión, misma que actúa sobre los objetos, pero el concepto de presión varía dependiendo de si el recipiente está abierto o cerrado. Esto significa que a veces la acción de la presión atmosférica resulta relevante y por lo tanto que todo el efecto producido es causado por la presión del aire fuera del recipiente. Si por el contrario se piensa que el aire ejerce presión por encontrarse dentro del recipiente cerrado, los estudiantes consideran que tal presión es la que produce todo el efecto. Lo anterior indica que los estudiantes no consideran más allá de la presencia de una fuerza como causa y no tienen una representación de un sistema de fuerzas o presiones en el que se presenta un estado de equilibrio.

Cuando los conceptos de presión y vacío están presentes, el concepto de presión se encuentra ligado a una concepción de fuerza, pero se interpreta como agente causal de manera indistinta tanto a la presión como al vacío. No consideran la acción del aire, ni conciben su peso como un factor del que puede derivarse el concepto de presión atmosférica.

Del último análisis realizado es posible afirmar que existen ideas que se manifiestan independientemente del problema planteado, lo que sugiere que

sean concepciones alternativas las que los estudiantes relacionan con ciertas acciones o efectos en los problemas. Por ejemplo, la idea de succionar está ligada a la presencia del vacío y la idea de empujar a la idea de presión. Estas respuestas están fuertemente ligadas al problema que se quiere resolver, es decir, se encuentran ligadas al contexto. Si bien el contexto específico del problema presentado es relevante, existen ideas, como el vacío, que se encuentran por encima de la fenomenología y que rigen en gran medida el camino que tomará el razonamiento durante las explicaciones de los estudiantes. Estos conceptos van más allá de la percepción y rebasan la simple identificación empírica del fenómeno, permiten establecer el modelo de interpretación del sujeto ante la solución de un problema en el que su estructura conceptual constituye un marco de interpretación¹¹. Dichos procesos interpretativos fueron explicados desde sus primeros trabajos por Piaget, en cuanto a la construcción de las estructuras de conocimiento a través de procesos de asimilación, acomodación y equilibración. Es en la interacción del sujeto con el objeto de conocimiento que el sujeto construye sus nuevos conocimientos.

El establecer como punto de partida las ideas alternativas de los estudiantes permite la elaboración de estrategias de enseñanza que apoyen la reconstrucción de los conceptos, acercando a los alumnos cada vez más a las ideas aceptadas por la ciencia actual¹². Lo anterior abre una nueva perspectiva en la enseñanza de la física en la que el aprendizaje de los conceptos y sus relaciones forman parte del complejo entramado de la construcción del

¹¹ La definición de estas ideas denominadas constrictoras, se encuentra con mayor detalle en Flores F. y Gallegos L. (1998). Partial Possible Models: An Approach to Interpret Student's Physical Representation. Science Education. 82, 15-29..

¹² La ciencia actual de acuerdo a Tomas Khun, corresponde a la ciencia construida y aceptada por la comunidad científica de cada tiempo.

conocimiento del estudiante, no como un elemento de simple organización de información sino como la reconstrucción de sus estructuras de pensamiento.

Algunos aspectos que conviene incluir en la planeación de una estrategia didáctica son:

- Los fenómenos serán interpretados de acuerdo con el modelo con el que el estudiante analice los problemas, por lo que la experimentación no será la única solución para cambiar los conceptos de los estudiantes.
- No todos los conceptos que regulan el razonamiento de los estudiantes parten de la percepción del fenómeno, por lo que cambiar la estructura conceptual implica incidir en estos conceptos que regulan el razonamiento.
- La enseñanza en el aula debe propiciar diversidad de niveles de desarrollo conceptual por lo que deberán determinarse previamente cómo piensan los estudiantes antes de planear estrategias de trabajo en grupo, para que los distintos niveles de desarrollo de los estudiantes permitan la confrontación de ideas entre iguales y la superación de conflictos cognoscitivos que afectará a algunos estudiantes del grupo.

Algunas de las proposiciones presentadas hasta ahora muestran similitud con algunas ideas expresadas a lo largo de la historia de la construcción de los conceptos de presión y vacío. Es importante identificar cuáles son los elementos comunes entre las explicaciones de los estudiantes y las de filósofos e investigadores a lo largo de la historia, con el fin de contar con mayor cantidad de elementos que soporten una interpretación de por qué los estudiantes construyen estas ideas alternativas sobre el vacío y la presión. Un análisis de cómo se construyen históricamente estas ideas es un elemento importante para la comprensión de las ideas de los estudiantes y de las posibilidades de construcción de un modelo de interpretación de las mismas.

CAPÍTULO 3

LA CONSTRUCCIÓN DEL CONCEPTO DE PRESIÓN

“Sean dos placas de mármol, metal o vidrio perfectamente planas, pulidas y bruñidas. Si las colocamos horizontalmente una sobre la otra, conseguiremos con toda facilidad que la superior resbale... Pero intentemos separarlas manteniéndolas paralelas: hallaremos tal repugnancia a la separación que la superior se levantará y arrastrará consigo la otra, por grave y pesada que sea, manteniéndola levantada indefinidamente. Esto comprueba de modo evidente el horror de la naturaleza a tener que admitir, aun por un brevísimo tiempo, el espacio vacío que quedaría entre ambas láminas antes de que la afluencia del aire lo ocupe”.

Galileo.¹

En los últimos años ha crecido considerablemente la cantidad de documentos que muestran las concepciones alternativas de los estudiantes en diferentes temas de ciencias. El reconocimiento de este hecho, ha sido crucial para reconocer la necesidad de crear estrategias de aprendizaje que ayuden en la transformación de las estructuras conceptuales que elaboran los estudiantes. El problema del cambio de estructuras cognoscitivas resulta muy complejo. Por ejemplo, los trabajos de Ranney y Thagard² muestran cambios parciales en las creencias de los estudiantes en cuanto al movimiento, sin embargo, su

¹ Galileo. Discursos y Demostraciones matemáticas acerca de dos nuevas ciencias referentes a la mecánica y los movimientos continuos. Tomado de Enzo Levi. (1989). El agua según la ciencia. Editado por CoNaCyT México. pp. 44.

² Ranney y Thagard (1988) Explanatory coherence and belief revision in naive physics (Cognitive Science Laboratory Report 31) Princeton NJ: Princeton University. Mencionado en

estructura conceptual no cambia significativamente. Nersessian³ señala que es necesario conocer la naturaleza específica de las estructuras conceptuales de los estudiantes, tanto en los contenidos de la materia que se enseña, como en la naturaleza del proceso de reestructuración para lograr el cambio conceptual que conlleva cambios en las estructuras cognitivas de los estudiantes. Piaget y García⁴ hacen un análisis de los mecanismos que se presentan en el cambio de las nociones científicas, entre distintos periodos históricos tratando de encontrar si existe una analogía con el cambio de nociones en los sujetos entre distintos estadios genéticos. El análisis de la génesis nocional les lleva a encontrar tres etapas que llevan al sujeto a la construcción de un modelo: en primer lugar un análisis hacia el objeto (intra-objetal); para después construir relaciones y transformaciones entre los objetos (inter-objetal); y finalmente la construcción de las estructuras generales (trans-objetal). Esta misma secuencia se encuentra en el desarrollo histórico de las nociones científicas.

En las investigaciones sobre enseñanza de las ciencias se encuentra una fuente importante en el conocimiento de estas estructuras de pensamiento de los estudiantes. Nersessian⁵ señala que la historia de la ciencia y su desarrollo pueden ser analizados como un proceso de cambio conceptual; conocer y profundizar en este proceso ayuda en la interpretación del proceso de cambio de los estudiantes durante la reestructuración de sus procesos de pensamiento. Con esta visión sobre la historia, algunos investigadores han encontrado algunos paralelismos entre las ideas intuitivas de los estudiantes y las

Dusch A. (1994). *Research on the History and Philosophy of Science* en Gabel ed. *Handbook of Research in Science Teaching*. Mac Millan Pub. New York.

³ Nersessian N. (1991). *The cognitive sciences and the history of science. Critical problems and research frontiers in history of science and history of technology* pp. 92-115. Conference proceedings, Madison WI. Mencionado en Dusch A. (1994). *Research on the History and Philosophy of Science* en Gabel ed. *Handbook of Research in Science Teaching*. Mac Millan Pub. New York.

⁴ Piaget J. Y García R. (1982). *Psicogénesis e historia de la ciencia*. Siglo XXI

concepciones científicas⁶, mientras que otros autores⁷. proponen que la reestructuración que el estudiante realiza es equivalente a la que ocurre durante las revoluciones científicas.

En este capítulo se presenta una investigación exploratoria sobre la evolución de las ideas de vacío y presión en la historia de la física, como un elemento de soporte para determinar las relaciones de paralelismo entre las ideas de los estudiantes y el proceso de desarrollo histórico de los conceptos físicos.

Reconstrucción histórica de los conceptos de presión y vacío

La acción del vacío

Aceptar la existencia del vacío ha estado estrechamente vinculado con la construcción conceptual de un espacio tridimensional independiente del objeto y con la idea de movimiento de objetos en él⁸. Estos dos puntos son elementos que juegan un papel importante en la explicación de la existencia del vacío. Históricamente, los dos problemas que sirvieron como elementos de discusión en la definición de la acción del vacío y de la presión, fueron la clepsidra y la dificultad que existe en separar dos superficies planas. Tales fenómenos son

⁶ Nersessian N. (1991). *Conceptual Change in Science and in Science Education*. En Matthews M. (ed.). *History, Philosophy, and Science Teaching*. OISE Press. New York.

⁸ Algunos autores que presenta esta postura son: Clement, J. (1983). *A conceptual model discussed by Galileo and used intuitively by physics students*. En Gentner D. y Stevens A. (Eds.) *Mental Models*. Pp. 325-340. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum. McCloskey M. (1983). *Naive theories of motion*. En Gentner D. y Stevens A. (Eds.) *Mental Models*. Pp. 325-340. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

⁷ Entre los investigadores que sostienen esta postura encontramos a: Carey S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, Massachusetts :MIT Press. Khun T. S., (1962). *La estructura de las revoluciones científicas* Fondo de Cultura Económica. México.

equivalentes a los que se plantean a los estudiantes en las investigaciones sobre el vacío o la presión (la dificultad de separar una taza caliente de una superficie, explicar por qué el agua sube por un popote cuando se succiona el aire etc..), lo anterior da una idea de la importancia de analizar las ideas con las que se han explicado dichos fenómenos.

La Neumática de Herón⁹ es uno de los primeros documentos que hacen referencia a la idea de la acción del vacío. Herón consideró que era imposible producir de manera artificial un vacío absoluto y continuo, mientras que aceptó su existencia repartida entre las partículas de aire. En su documento presenta como prueba de la existencia del vacío que las ventosas jalan la materia próxima a través de los poros del cuerpo por un aumento artificial del vacío.

Una demostración sobre la imposibilidad de conseguir un vacío continuo se tiene con el sifón. Para Herón el sifón funciona porque al extraer el aire el agua lo sigue para dar continuidad a la columna de agua. Si los brazos del sifón son iguales el agua no sale debido a que el agua se mantiene en equilibrio como sucede en una balanza.

Desde la época de los griegos hasta la Edad Media, las concepciones de Aristóteles (384-322 a. C.) fueron aceptadas como los mejores argumentos que describían los fenómenos naturales, entre ellos estaba el vacío. Aristóteles consideraba que el vacío es un lugar sin cuerpo, aislado y continuo, en el que no puede existir ningún objeto. Los objetos no podían moverse en él, ya que se movían impulsados por el aire desplazado. Como el cuerpo avanza venciendo la resistencia del medio, la velocidad de movimiento en el caso de existir el vacío, sería muy grande.

⁹ Sin lugar a dudas uno de los trabajos más detallados sobre la concepción del vacío se puede encontrar en Grant, E. (1981). *Much Ado About Nothing*. Cambridge University Press.

“Si el vacío es algo así como un lugar sin cuerpo -escribe Aristóteles- ¿si hubiera vacío, a dónde iría un cuerpo colocado en su interior?...ningún objeto puede moverse si hay vacío;... en el vacío los objetos tienen que quedar en reposo porque no hay ningún lugar al cual ellos puedan ir mejor que a otro, en cuanto el vacío no admite diferencias... Porque lo arriba no difiere de lo abajo; porque no habiendo diferencias en lo que no es nada, no hay ninguna en el vacío que es algo que no existe, una privación de la existencia.”¹⁰

Para Aristóteles, considerar la existencia de un espacio tridimensional independiente de los objetos resultaba innecesario, lo que le llevó a negar la existencia de un espacio vacío. Explicaba: si un sólido se introduce en agua, éste desplaza un volumen igual al suyo, sin embargo si se coloca un cuerpo en el vacío, éste no podría desplazar nada y resulta absurdo pensar que el vacío penetre en el cuerpo por lo que el vacío no puede existir.

Aristóteles admitía la posibilidad de que se presentaran pequeños espacios vacíos distribuidos en medios “enrarecidos” como eran el aire y el fuego, razón por la que éstos tendían a subir.

Durante la Edad Media las ideas de Aristóteles eran aceptadas por diversas personas, como Jandun (? - 1328) y Alberto de Sajonia (1316-1390), quienes consideraban absurdo sostener la posibilidad de la existencia del vacío. Por ejemplo, Jandun argumentaba que de existir el vacío, un número infinito de cuerpos podrían existir en el mismo lugar. Por su parte Alberto de Sajonia, señalaba la imposibilidad de concebir un espacio separado del objeto. Negar la existencia del vacío está ligada a la construcción del concepto de espacio independiente del objeto.

⁹ Herón de Alejandría. Situado entre el S III a. C. y el S II d. C.

¹⁰ Tomado de Enzo Levi (1989). El agua según la ciencia. Editado por, CoNaCyT y Ediciones Castell Mexicana. pp. 43

Diversos trabajos dieron origen a la construcción de un espacio independiente del cuerpo, parte de este desarrollo se inició con la construcción del concepto de espacio interno. Entre los pensadores que seguían esta idea se encuentra Juan Philoponus (fines S. V - inicios S VI) quien contribuyó en forma significativa con el concepto de espacio interno al relacionarlo con el volumen de un cuerpo. De esta relación podía derivarse la existencia de un espacio vacío distinto del cuerpo capaz de recibirlo; con ello niega que el vacío tridimensional fuese un cuerpo y soluciona el problema de la impenetrabilidad de los cuerpos señalada por Aristóteles.

Para Crescas (1340-1410) tan solo las dimensiones materiales de los objetos eran mutuamente impenetrables, por lo que una dimensión como el vacío no podía ser la de un cuerpo que recibiera y acomodara una dimensión material. Para Gassendi (1592-1655) las dimensiones incorpóreas tales como volumen o espacio existían independientemente de las dimensiones corpóreas. Le atribuyó al espacio vacío la propiedad de no tener resistencia, por lo que era posible que coexistiera con otros cuerpos materiales.

Para los antiguos griegos y los pensadores de la Edad Media estas ideas sobre el espacio, el volumen y la representación de un objeto en el espacio vacío, fueron elementos de especial importancia en la construcción del modelo de explicación sobre los fenómenos de la naturaleza relacionados con el vacío. Sus explicaciones estaban ligadas al contexto fenomenológico, por lo que no es extraño encontrar en estas explicaciones ideas y estructuras de pensamiento similares a las expresadas por los estudiantes ante fenómenos similares. Es por ello que el desarrollo de los conceptos de presión y de vacío se presenta de acuerdo a la evolución histórica de los problemas y sus formas de explicación.

A continuación se describen las ideas centrales alrededor de los conceptos de vacío y presión manejadas en distintas épocas, distinguiéndose en tal desarrollo los cambios de paradigma que contribuyeron en la construcción y definición de estos conceptos científicos. En la primera sección se describen las ideas de vacío con base en la descripción de ciertos fenómenos en torno a los cuales el concepto de vacío fue cambiando: la clepsidra, la separación de placas paralelas, el funcionamiento del fuelle, etc... En la segunda sección se presenta un análisis general sobre cambios en los mismos conceptos, en los siglos pasados, hasta llegar a la concepción de la teoría cinética aceptada actualmente.

Problemas fenomenológicos y sus explicaciones en el desarrollo histórico

El problema de la subida de agua en un bejuco o popote

¿Por qué el agua sube cuando se succiona el aire en un bejuco?

Themiscius (? - c.350 d. C.) explicó el fenómeno considerando que como las superficies de agua y aire están húmedas se unen de tal forma que al succionarse el aire jala el agua. En forma similar, el agua en el fondo de un vaso caliente sube porque el aire ascendente lo jala.

Para Aristóteles al succionar el aire en un bejuco sucede lo mismo que en el sifón el líquido sigue al aire, es decir, existe una fuerza atractiva entre el aire y el agua cuando están en contacto. Para los escolásticos latinos que el agua suba

es una demostración de que no puede formarse vacío. Por ejemplo, Michel Scott (1230) dice

“es más factible que un cuerpo pesado suba a que un lugar vacío se deje detrás”¹¹

Todas éstas explicaciones giran en torno a la demostración de que el vacío no puede existir en la naturaleza, instrumentándose una explicación sobre una fuerza de atracción entre el aire el agua que actúa en una dirección preferente, el aire es el que jala al agua.

Problema del sifón¹²

Las aplicaciones del sifón eran conocidas desde tiempos remotos, sin embargo ¿qué es lo que produce que el agua pase de un lugar a otro a través de dos brazos largos?

¹¹ Grant E., (1981) Op. cit. pp. 78

¹² El sifón es un dispositivo que se usaba desde los antiguos egipcios. El sifón es un tubo en el que uno de sus extremos se encuentra dentro de un recipiente con agua mientras que el otro extremo queda fuera. Funciona cuando está lleno de líquido. Para hacer que funcione por primera vez es necesario succionar líquido por el extremo que queda fuera.



Figura 3.1 Sifón. Ilustración tomada del libro de Enzo Levi¹³. Tomada de un tratado de Mariano Taccola(1381-1458), muestra como se creía que se podía elevar el agua a cualquier altura utilizando un sifón.

¿Cómo explicar la acción del sifón? Enzo Levi, presenta un párrafo de Herón de Alejandría en cuanto a la explicación del funcionamiento del sifón.

“Hay autores -seguía Herón- que explicaron la acción del sifón diciendo que el brazo más largo, como contiene más (líquido), atrae al más corto. Pero vamos a comprobar que esta explicación no es correcta, ya que quien lo creyera se equivocaría grandemente si intentara subir así agua desde un nivel más bajo....”Herón concluye diciendo”: Ahora se presenta la cuestión de por qué, al levantarse el sifón, el agua no cae por su propio peso, ya que tiene por debajo aire, que es más ligero.....Un vacío continuo no puede existir; ahora, para que el agua cayera, tendría que vaciarse la parte superior del sifón, en la cual no es posible que el aire penetre...Es

¹³ Enzo Levi Op. Cit. pp. 42.

por la misma causa que podemos, por medio de un sifón, chupar el vino y levantarlo en contra de la naturaleza del líquido; porque, una vez que hemos recibido en nuestro cuerpo el aire que estaba en el sifón, quedamos más llenos que antes, y esto ejerce una presión sobre el aire contiguo a nosotros; éste a su vez comprime la atmósfera en conjunto, hasta producir un vacío en la superficie del vino. Entonces el vino, sujeto él mismo a presión, pasará por el espacio que se ha desocupado en el sifón; porque no hay otro sitio al cual pueda ir, huyendo de la presión. Esta es la razón por la cual se produce ese inusitado movimiento hacia arriba."¹⁴

Si bien la explicación que da Herón en su escrito se opone a la explicación de que sea la cantidad de agua lo que produce el fenómeno, obsérvese que la explicación se basa en un equilibrio de la presión del aire, entre el agua del sifón y el cuerpo humano.

Marsilius de Inghen (c. 1330 - 1396) describió la acción de un sifón curvo, su explicación se basó en que para evitar la formación de un vacío el aire extraído del brazo más largo hace que el agua suba. Los documentos de Friederich Sunczel y de Luis Coronel (? - 1531) enfocan los problemas del sifón y del bejuco como demostraciones de la aberración que existe en la naturaleza hacia la formación del vacío. La naturaleza actúa para evitar una ruptura o discontinuidad en la materia.

¹⁴ Enzo Levi. Op. cit. pp. 204-205.

El problema del funcionamiento del fuelle

Desde los griegos los sifones y los fuelles fueron conocidos y utilizados ampliamente en tareas cotidianas ¿qué explicaciones se encuentran sobre su funcionamiento?

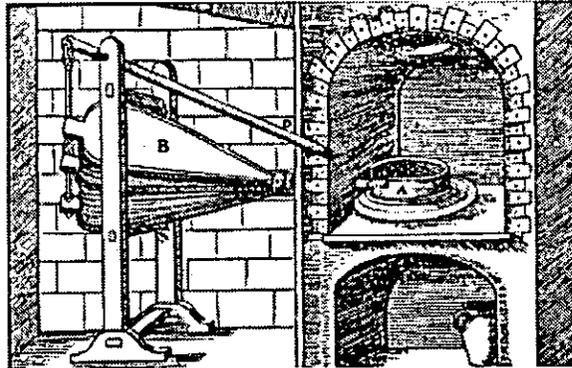


Figura 3.2. Fuelle. Tomada de *A History of Thechology*¹⁵. Fuelle adaptado para encender el fuego en un horno de comida.

Buridan (c. 1300- 1358) explica que los lados de un fuelle se colapsarán si se llega a sacar todo el aire sin poderse separar por el vacío que se forma. Afirma también que las paredes del fuelle pueden separarse solamente si penetra aire nuevamente. Buridan justifica de esta manera la imposibilidad de encontrar un espacio vacío entre las paredes de un fuelle.

¹⁵ Editores. Charles Siger, E. J. Holmyard, A. C. Hall y Trevor I Williams. *A History of Thechnology*. Vol III. From the renaissance to the industrial revolution. c. 1500- c. 1750. Oxford at the Clarendon Press. 1º Ed. 1957. Reprints: 1964, 1969, 1979. pp. 60.

El problema de la clepsidra

Los antiguos griegos como Empédocles (400 a. C.) utilizaba la clepsidra como un reloj de agua, en donde se mide el tiempo con la caída de agua. El problema de la clepsidra, al igual que los anteriores, puede explicarse con la idea de que el vacío no puede formarse.

La clepsidra es un reloj de agua que mide el tiempo al llenarse por goteo un recipiente que tiene un pequeño orificio en su parte inferior. La cantidad de agua que puede almacenarse limita el intervalo de tiempo. El flotador marca el nivel de llenado del agua con lo que se calcula el tiempo transcurrido.

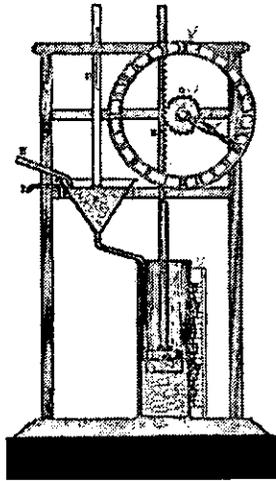


Figura 3.3. Clepsidra Clepsidra con un apuntador en escala de tiempo automático utilizada por griegos y romanos. Ilustración tomada de *A brief History of clocks: from Thales to Ptolemy*.¹⁶

¹⁶ Jesse Weissman. *A brief History of clocks: from Thales to Ptolemy*. www.perseus.tufts.edu/GreekScience/Students/Jesse/CLOCK1A.html

Las primeras clepsidras consistían de una botella ensanchada en su parte inferior que presentaba un orificio en la sección más baja, y se continuaba con un cuello abierto largo y angosto, éste orificio podía ser tapado con un dedo. Si la clepsidra se sumergía en agua o vino se llenaba del líquido antes de sacarla se tapaba el orificio superior y ya fuera el agua no caía mientras este orificio estuviese tapado. Este es el hecho que no podía ser explicado. Para Aristóteles el fenómeno de la clepsidra es una experiencia en la que se demuestra la corporalidad del aire.

En la primera mitad del siglo XII, Abelardo de Bath (1079-1142) atribuyó el comportamiento mágico de la clepsidra a un afecto natural que existe entre los cuatro elementos de la naturaleza (agua, aire, tierra y fuego) que según Aristóteles constituyen el universo. Consideraba que la unión entre estos elementos es tan grande que al dejar uno de los elementos su lugar el otro le sigue.

Durante el siglo XIII las ideas sobre el funcionamiento de la clepsidra giraban alrededor del comportamiento del agua para evitar la formación del vacío. Así mientras el dedo tapaba el orificio superior de la clepsidra, la tendencia natural del agua de caer se eliminaba evitándose que el vacío se formara. La mayoría de las discusiones medievales describen el aparato y el comportamiento del agua. Por ejemplo, Marsilius de Inghen afirmaba que el comportamiento del agua era necesario para evitar la formación de vacío. Buridan describió el funcionamiento de la clepsidra con base en el argumento de que el agua no puede caer ya que se formaría un vacío.

De forma similar, Simplicio (525-545) explicó que el fenómeno era una confirmación de la imposibilidad de la existencia del vacío, mientras que para

otros el fenómeno tenía un carácter mágico. Nicolás de Autrecourt (? - c. 1350) pensaba, al igual que Abelardo de Bath, en la afinidad de los elementos del universo que no permitirían que se formara un vacío. Abelardo centra su explicación en que

“el cuerpo en el universo sensible está compuesto de cuatro elementos que se encuentran unidos por un natural afecto y cómo ninguno de ellos existiría sin el otro, tan pronto que uno deja su posición el otro inmediatamente toma su lugar”¹⁷ .

De aquí se concluye que si no puede entrar aire por la otra entrada, el agua no puede abandonar su posición.

Rogelio Bacon (1219-1292) y Burley (1275 - c. 1345?) estaban convencidos de que el comportamiento del agua en la clepsidra era debido a la necesidad de prevenir la formación del vacío. Bacon consideraba que si llegara a caer toda el agua las paredes de la clepsidra se colapsaría para evitar la formación del vacío, por lo que la naturaleza debía escoger entre dos opciones no placenteras, la deformación de las paredes, o que el agua no caiga lo cual sería antinatural, siendo menos probable que las paredes se colapsaran ya que implicaría la formación instantánea de un vacío.

La continuidad material se preserva siempre. Por ejemplo, Burley señala que son dos las causas que intervienen para evitar la formación de un vacío:

- 1) El agua sube al salir el aire
- 2) El agua no cae por los orificios inferiores, esto se debe a la presencia de una fuerza celestial que evita la caída del agua para impedir la formación de un vacío.

¹⁷ Grant E. (1981). Op. cit. Pp. 83.

Un análisis del fenómeno revela discrepancias aparentes en la forma de justificar cómo es que la naturaleza actúa para evitar la formación de un vacío, ya que algunas veces el agua sube y otras el agua queda suspendida y baja cuando se abre el orificio superior. Esta supuesta discrepancia fue resuelta por Burley afirmando la supremacía del agente celestial que actúa siempre sobre el orificio de la clepsidra y evita así la formación del vacío que implicaría una imperfección en el universo.

La resistencia que presentan dos superficies pulidas a separarse

Otro problema muy discutido a lo largo de la historia es la dificultad al separar dos superficies pulidas de metal, mármol o vidrio colocadas cara a cara.

Lucrecio (c. 98 - c. 55) explicaba que aún cuando el aire entrara con rapidez no es posible que esto ocurra instantáneamente, por lo que debía formarse un vacío momentáneo. El trabajo de Lucrecio contenido en el *De rerum natura*, fue conocido hasta el S XV. Bacon y Pseudo-Siger de Brabant (1240 - 1281/1284) estuvieron también de acuerdo con la idea de que un vacío momentáneo debía formarse durante el proceso de la separación de las placas, lo que creaba un dilema respecto a la idea de que la naturaleza aborrece el vacío.

Bacon argumentaba que la única forma de separación de las dos placas era que una se inclinaran con respecto a la otra, lo que permitía que el aire penetrara paso a paso logrando así la separación de las dos placas. De no presentarse estas condiciones, las placas no podían separarse porque se formaría un vacío

entre ellas. Sin embargo, Burley fue aún más lejos, tomando como base el argumento de Bacon, el dilema al que se enfrentó fue la posible formación del vacío en el momento de la separación de las dos placas, argumentando que en la naturaleza no se pueden encontrar dos placas perfectas por lo cual, el caso ideal no se presentaría y siempre sería posible separarlas.

Blasius de Parma (1345 - 1416) insistió en que era posible la separación de las superficies simultáneamente sin que se formara un vacío o la necesidad de invocar al movimiento instantáneo. Afirmaba también que, mientras que dos superficies se acercan una a otra continuamente permaneciendo paralelas, el aire salía sucesivamente sin dejar atrás un vacío en el centro. La primera objeción que surgió a este argumento fue que el aire cercano al centro no se mueve tan rápidamente como lo hace el cercano a la zona central. La respuesta que dio consistió en considerar que el aire continuamente resiste más y más su movimiento debido a que se condensa. El aire central disminuye cada vez más su resistencia porque disminuye paulatinamente, con lo cual las dos superficies pueden estar unidas sin que en ningún momento se haya formado un vacío. Hecho esto, Blasius se propuso explicar cómo es que las dos placas pueden separarse sin que se forme en ningún instante un vacío. Para demostrar que no podría formarse vacío entre las dos superficies, Blasius mostró que siempre existe aire entre las superficies después de la separación. El aire entra a las superficies separadas a partir del punto medio del radio y de ahí al centro, de esta manera el aire no llena el espacio entre las placas instantáneamente. Blasius no solamente negó la presencia del vacío sino también evitó una explicación sobre el movimiento instantáneo.

Un cambio en la visión sobre el vacío

En el curso del S XVI se dió un cambio en la interpretación de los fenómenos aquí considerados. Empezaron a tomarse en cuenta la existencia de textos antiguos como el de Lucrecio y el de Herón que hablaban de la posibilidad de que el vacío existiera. Esta nueva perspectiva permitió el desarrollo de una visión anti-Aristotélica, como la de Bernardino de Telesio (1509 - 1588), quien creía que si un fuelle se construye con materiales gruesos y no con materiales delgados y ligeros, podrían separarse sus lados después de que se extrajera el aire dejando un espacio vacío entre ellos. La posible formación del vacío quedaba reducida a la resistencia de los materiales y no a ninguna consideración sobre la estructura del universo.

Partiendo de la falsa creencia de que el agua se contrae al congelarse, Telesio y Patrizi estaban convencidos de que al contraerse el agua un espacio vacío aparecía. Ambos aceptaron las interpretaciones tradicionales del experimento de la clepsidra y sugirieron modificaciones que permitirían la formación de un vacío. Ellos pensaban que cambiando la densidad del líquido (por ejemplo utilizar miel en vez de agua) y agrandando los orificios inferiores de la clepsidra, la miel caería dejando un vacío detrás. Como puede observarse tales explicaciones están centradas en las características de los objetos.

Adrián Turnèbe, quien parece haber tomado la idea de los escritos de la Neumática de Herón, pensaba que era posible hacer un orificio en el sifón por el que se succiona al aire quedando un vacío dentro del sifón. Para demostrar que quedaba un vacío cubría el sifón con un dedo y lo introducía en el agua, si el líquido entraba al quitarse el dedo se mostraría la presencia de un vacío.

Galileo Galilei (1564-1642) aceptaba la existencia de un vacío intersticial. En el Primer día del *Discurso entre dos Nuevas Ciencias* interpretó el experimento de la separación de dos placas paralelas, como una prueba de que la naturaleza aborrece el vacío; sin embargo, concluye que en otras circunstancias es posible que se presente un vacío momentáneamente. Como parte de la solución de este problema analizó la resistencia a la fractura de los cuerpos duros en donde una de las causas es la formación del vacío.

Las discusiones e interpretaciones de fenómenos relacionados con la existencia del vacío giran en torno a demostrar que es imposible, aunque en algunos casos se llega a considerar su existencia parcial e instantánea. Con el inicio del Renacimiento se empieza a considerar como posible la existencia del vacío y por ello se hacen esfuerzos para explicar su presencia. Este cambio de visión implica un cambio de paradigma y da un giro a los argumentos sobre la presencia del vacío y su modelo de interpretación de la naturaleza.

Un cambio de paradigma El desarrollo del concepto de presión.

El cambio de visión sobre el problema del vacío dio inicio en el Renacimiento al considerarse el aire como el agente causal de una serie de fenómenos que hasta ese momento habían sido interpretados como debidos a la acción “variable” del vacío. Pero ¿qué propiedad del aire es la que debía considerarse como factor decisivo en la descripción de los fenómenos como la clepsidra?

El mismo Galileo sostenía las ideas dominantes en la época, acerca del horror al vacío. En su libro *Discursos y demostraciones matemáticas acerca de dos*

*nuevas ciencias referentes a la mecánica y a los movimientos continuos*¹⁸, describe el problema de la separación de dos placas pulidas como una reacción de la naturaleza a tener que admitir, aunque sea por un corto tiempo, un espacio vacío entre las láminas, antes de que el aire ocupe ese lugar.

Baliani Giovanni Battista (1582 - 1666), quien mantenían correspondencia con Galileo, le escribió en 1630 lo que piensa que sucedería en el fondo del mar y establece una analogía con el aire de la atmósfera:

“Lo mismo opino que nos ocurra en el aire, en el fondo de cuya inmensidad nos encontramos sin sentir ni su peso ni la compresión a que nos sujeta por todos lados; .porque Dios ha hecho nuestro cuerpo tal que pueda muy bien aguantar esta compresión sin sentir daño; no sólo, sino que a lo mejor la necesitamos y no podríamos vivir sin ella. Por lo que creo que, aunque no tuviésemos que respirar, no podríamos permanecer en el vacío; pero si estuviésemos en el vacío, de inmediato se advertiría el peso del aire que tendríamos sobre la cabeza, que creo sea grandísimo. Porque, aun estimando que a medida que el aire es más alto ha de ser más liviano, creo que su inmensidad sea tanta que, por pequeño que sea su peso, conviene que quien sintiera el de todo el aire que tiene encima lo notaría muy grande, aunque no infinito, y por tanto determinado; y que con una fuerza en proporción con dicho peso se le pueda vencer y así producir el vacío. Si alguien quisiese calcular esta proporción tendría que conocer la altura del aire y su peso a cualquier nivel.”¹⁹

Torricelli (1608-1647), abiertamente partidario de la existencia del vacío en la naturaleza, consideraba que los argumentos que se empleaban para sustentar la imposibilidad de la formación del vacío resultaban de las dificultades técnicas para conseguirlo y la causa debía tener un efecto. Para Torricelli la causa que dificultaba la obtención del vacío era el peso del aire.

¹⁸ Enzo Levi. Op. cit. pp. 44

¹⁹ Galilei, *Le Opere*, vol. XIV, 159pp. En Enzo Levi. Op. Cit. pp. 51

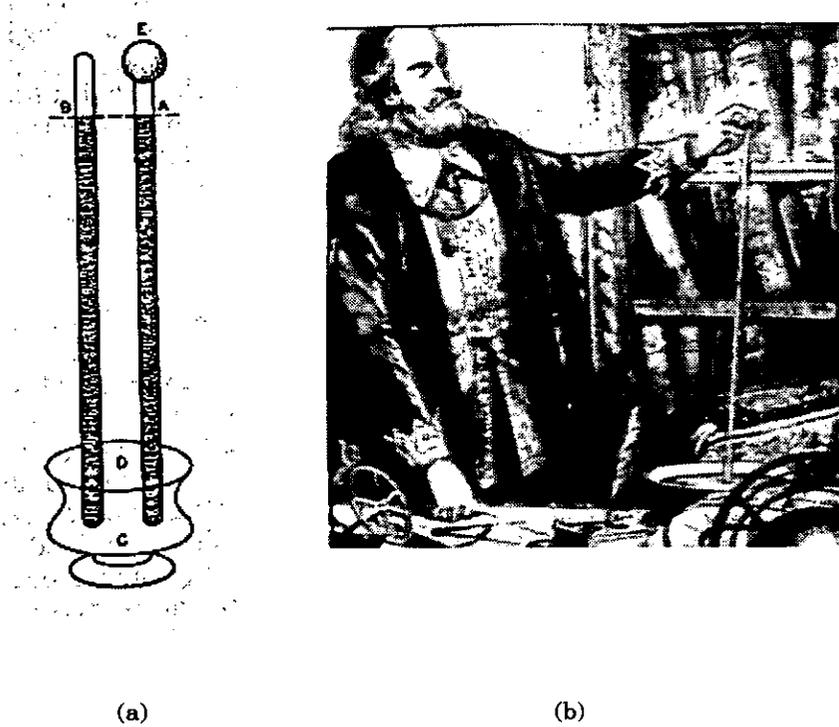


Figura 3.4. El experimento de Torricelli. (a) Tomada del libro de Enzo Levi.²⁰
(b) Tomada del libro de Física 3²¹.

Torricelli encargó la construcción de sus aparatos a Viviani y comunicó sus resultados a Michelangelo Ricci, de Roma, el 11 de julio de 1644.

²⁰ Enzo Levi Op. Cit. pp. 52.

²¹ Flores Fernando, Gallegos Leticia y Covarrubias Héctor (1997). Física 3. Secretaría de Educación, Cultura y Bienestar Social. pp 82.

“Hemos construido muchos tubos de vidrio como los designados como A, B, gruesos y con cuello de dos codos de largo. Llenados éstos de mercurio, cerrada con un dedo su boca y volteados en una cubeta C que contenía mercurio, se veían vaciar sin que en los tubos pasara nada; porque el cuello AD quedaba siempre lleno hasta la altura de un codo y cuarto, y un dedo más. Para comprobar que el tubo (en su parte superior) fuese perfectamente vacío, se llenaba la cubierta inferior con agua hasta D; y levantando poco a poco el tubo, en cuanto su boca alcanzaba el agua se veía el mercurio bajar del cuello y esta llenarse con horrible ímpetu totalmente de agua hasta E....Hasta ahora se ha creído que, estando el espacio EA vacío, y sosteniéndose el mercurio, aun siendo pesadísimo, en el tramo AC, la fuerza que sostiene al mercurio en contra de su tendencia natural a caer haya sido interior al espacio AE, o se de vacío...Pero yo pretendo que ella sea externa, que la fuerza venga de afuera. Sobre la superficie del líquido que está en la cubeta gravita la altura de cincuenta millas de aire. ¿Qué hay pues de raro si en el vidrio CE, en el cual por no haber nada el mercurio no tienen ni propensión ni repugnancia, éste entre y se levante hasta equilibrar el peso del aire exterior que lo empuja? Por su parte el agua en un tubo semejante, pero mucho más largo, subiría casi hasta dieciocho codos, o sea tanto más de lo que sube el mercurio cuanto éste es más pesado que el agua, para equilibrarse con la misma causa que los empuja a ambos”²²

Ricci al recibir los resultados que comprobaba la existencia del vacío contestó con tres objeciones a los experimentos de Torricelli, quien sin ningún problema pudo responderle y sostener sus resultados.

Con lo anterior, Torricelli planteó que todos los experimentos similares que realizó podían ser explicados aplicando como agente causal el peso del aire, sin encontrar contradicciones ni la necesidad de recurrir al argumento de la repugnancia de la naturaleza hacia el vacío. Pronto el experimento de Torricelli fue conocido por los científicos de la época, estableciéndose una analogía con lo que ocurría con los líquidos.

²² Torricelli, en Vol II, 187-188. Cit. por Enzo Levi. Op. cit. pp. 52-53.

Después de la demostración realizada por Torricelli en Italia, Pascal (1623-1662) decidió realizar una serie de experimentos que mostraran la posibilidad de la formación del vacío. Los experimentos diseñados por Pascal fueron ocho.

De estos experimentos Pascal concluye que:

- a) la naturaleza opone tan solo una resistencia limitada a la producción del vacío;
- b) que basta para producir el vacío una fuerza un poco mayor a aquella con la que el agua tiende a caer de una altura de 31 pies (9.45 m)²³;
- c) que el vacío puede ser agrandado a voluntad sin que aquella (la naturaleza)²⁴ se le oponga en absoluto.²⁵

A continuación se presenta una muestra de los experimentos diseñados por Pascal, incluyendo las máximas y proposiciones con las cuales concluye su libro *Tratado del equilibrio de los líquidos*. Esta obra contiene diferentes experimentos realizados desde la época de los griegos y cuyas explicaciones defienden las ideas del horror al vacío.

Experimentos:

1. "Tomemos una jeringa de cristal con un émbolo bien ajustado, completamente sumergida en el agua y cuya abertura tapamos con el dedo de manera que toque la parte inferior del émbolo, metiendo para ello la mano el brazo en el agua: bastará una fuerza mediana para poder tirar del mismo y hacer que se separe del dedo sin que entre nada de agua (cosa que los filósofos consideraban imposible con una fuerza finita), si bien el dedo se siente fuertemente atraído y experimenta dolor. El émbolo deja un espacio aparentemente vacío, en el cual no parece que haya podido entrar nada, puesto que está

²³ Las equivalencias en sistema métrico decimal no son parte del documento de Pascal y son notas de la autora de la tesis.

²⁴ Nota aclaratoria del texto.

²⁵ Koyré A. (1977). *Estudios de Historia del Pensamiento Científico*. Siglo XXI. México. pp. 368.

- completamente rodeado de agua que no ha podido tener acceso al mismo por estar tapada la abertura; si se tira un poco más del émbolo, es espacio aparentemente vacío aumenta, pero el dedo no siente una atracción mayor. Y si se le saca casi por completo del agua, no quedando sumergidos más que la abertura y el dedo que la taponan, el agua, en contra de su naturaleza, asciende violentamente y llena todo el espacio que ha dejado el émbolo.
2. En un fuelle bien cerrado por todas partes, y con una preparación similar, se da el mismo efecto, en contra de los que piensan esos mismos filósofos.
 3. Se llena de agua, o mejor de vino muy rojo para que sea más visible, un tubo de cristal de 46 pies (14.02 m), uno de cuyos extremos está abierto y el otro cerrado herméticamente; a continuación se tapa, se coloca perpendicularmente al horizonte, y con la abertura taponada hacia abajo se sumerge dentro de un recipiente lleno de agua hasta una profundidad de aproximadamente un pie. Al destapar la abertura el vino desciende hasta una altura determinada, que es de unos 32 pies (9.75 m) a partir de la superficie del agua del recipiente, vaciándose y mezclándose con ésta (a la tinte ligeramente), a la vez que deja un espacio de unos trece pies aparentemente vacío cuando se separa de la parte superior del cristal, espacio en el que aparece igualmente imposible que haya podido entrar algo. Si se inclina el tubo, con lo que la altura del vino que hay en él disminuye, éste vuelve a ascender hasta los 32 pies. Si, por último, lo inclinamos hasta la altura de 32 pies, el tubo se llena por completo reabsorbiendo tanta agua como vino había expulsado. Lo veremos, pues, lleno de vino en su parte superior hasta una altura de 13 pies (3.96 m) y de agua ligeramente teñida en los 13 pies restantes.
 4. Si se llena de agua un sifón escaleno cuyo brazo más largo alcanza 50 pies (15.24 m) y 45 (13.72 m) el más corto, tapando ambas aberturas y sumergiéndolas en dos recipientes llenos de agua hasta una profundidad de aproximadamente un pie, de forma tal que el sifón esté perpendicularmente al horizonte y que la superficie del agua de uno de los dos recipientes esté 5 pies (1.52 m) más alta que la del otro, entonces, al destapar las dos aberturas cuando el sifón está en dicha posición, el brazo más largo no atrae agua del más corto, ni por consiguiente, la del recipiente en la que ésta se encuentra inmersa (en contra de la opinión de todos los filósofos y artesanos), sino que el agua cae de ambos brazos a los recipientes hasta la misma altura que en el tubo precedente, contabilizando éste a partir de la superficie del agua de cada uno de los recipientes. Ahora bien, si inclinamos el sifón por debajo de esa altura en unos 31 pies (9.92 m), el brazo más largo

atraerá el agua contenida en el recipiente del más corto; cuando lo alzamos de nuevo por encima de esa altura, deja de ser así y ambos extremos se vacían en sus respectivos recipientes; y cuando volvemos a inclinarlo, el agua del brazo más largo atrae nuevamente al agua del más corto.

5. Se mete una cuerda de unos 15 pies (4.8 m) de longitud con un hilo atado a uno de sus extremos (dejándolo un buen rato en el agua para que se vaya empapando y salga todo el aire que pudiera contener) en un tubo de 15 pies lleno de agua y tapado por uno de sus extremos, de manera que fuera del agua no quede más que el hilo que hemos atado a la cuerda para poder tirar de ella, y se introduce su abertura dentro de [un recipiente lleno de] mercurio: a medida que se va sacando la cuerda poco a poco, el mercurio sube proporcionalmente hasta que su altura - sumada a la catorceava parte del agua que aún queda - sea de 2 pies y 3 pulgadas (.072 m) puesto que después, al tirar más de la cuerda, el agua desciende desde lo alto del tubo y deja un espacio aparentemente vacío, que se hace tanto mayor cuanto más se tira de la cuerda. Y si se inclina el tubo, el mercurio del recipiente vuelve a entrar; de hecho, si se le inclina suficientemente, se llena por completo de mercurio y de agua que golpea con fuerza la parte superior del mismo, produciendo un rumor y un ruido como si se estuviera quebrando el vidrio (que, efectivamente, corre el riesgo de romperse). A fin de eliminar la pizca de aire que pudiera pensarse que ha quedado en la cuerda, el experimento puede hacerse con pequeños cilindros de madera atados entre sí con un alambre de latón.
6. Se introduce en mercurio una jeringa con un émbolo perfectamente ajustado, de forma que su abertura se sumerja al menos una pulgada y que el resto de la jeringa se mantenga en posición vertical: al sacar el émbolo sin modificar la posición de la jeringa, el mercurio penetra por la abertura de ésta y se eleva adherido al émbolo hasta una altura de 2 pies y 3 pulgadas. Ahora bien, si una vez alcanza esta altura se sigue tirando del émbolo, éste ya no atraerá más al mercurio, que se separa del émbolo y se mantiene a la altura de 2 pies y 3 pulgadas, produciéndose así un espacio aparentemente vacío que es cada vez mayor mientras se siga tirando del émbolo: cabe suponer que lo mismo sucederá en una bomba aspirante, no pasando el agua de los 31 pies de altura correspondiente a los 2 pies y 3 pulgadas de mercurio. Y lo más destacable es que en tal estado, sin sacarla del mercurio ni moverla en forma alguna, la jeringa pesa exactamente lo mismo (por pequeño que sea el espacio aparentemente vacío) que cuando hacemos dicho espacio tan grande como se desee con sólo tirar más del émbolo, y que siempre pese lo mismo que el cuerpo de la jeringa con los 2 pies

y 3 pulgadas de mercurio, sin que haya todavía un espacio aparentemente vacío (es decir, cuando el émbolo no se ha separado aún del mercurio de la jeringa, pero está a punto de hacerlo a poco que se tire de él). Por consiguiente, y a pesar de que todos los cuerpos circundantes tiendan a llenarlo, el espacio aparentemente vacío no aporta cambio alguno a su peso y de ese modo, cualquiera que sea la diferencia de tamaño entre esos espacios, no hay ninguna entre sus pesos.

7. Se llena de mercurio un sifón cuyo brazo más largo es de 10 pies (3.2 m) y de 9 y medio (3.04 m) el otro, introduciéndose las dos aberturas en sendos recipientes de mercurio hasta una profundidad de aproximadamente una pulgada, de modo que la superficie de uno de ellos esté medio pie más alta que la superficie del mercurio del otro: cuando el sifón se encuentra en posición perpendicular, el brazo más largo no atrae al mercurio del más corto; ahora bien, el mercurio - separándose de la parte superior - desciende por ambos y rebosa en los recipientes, cayendo hasta la altura habitual de 2 pies y 3 pulgadas a partir de la superficie del mercurio de cada recipiente. Si se inclina el sifón, el mercurio de ambos recipientes vuelve a elevarse por los brazos, llenándolos y comenzando a pasar del más corto al más largo hasta llegar a vaciar su recipiente: en los tubos en los que se da este vacío aparente cuando están sumergidos en algún líquido, tal inclinación hace que los líquidos de los recipientes sean siempre atraídos, en el caso de que sus aberturas no están taponadas, o que se ejerza atracción sobre el dedo si es que éste tapa la aberturas.
8. Si ese mismo sifón se llena por completo de agua y como ya se explicó más arriba, se mete en él una cuerda, introduciéndose sus dos aberturas en los mismos recipientes de mercurio, al tirar de la cuerda por uno de los extremos el mercurio sube de los recipientes a los brazos, de forma tal que la catorceava parte de la altura del agua de un brazo junto a la altura del mercurio que por él ha subido equivalen a la catorceava parte de la altura del agua del otro brazo más la altura alcanzada por el mercurio que en él penetra: tal cosa sucederá siempre que la catorceava parte de la altura del agua unida a la altura del mercurio de cada brazo alcancen la altura de 2 pies y 3 pulgadas, puesto que a partir de ahí el agua se dividirá por arriba y se formará un vacío aparente.²⁶

Cabe hacer notar que las descripciones son similares a las que se obtienen de los estudiantes cuando trabajan con experimentos similares, tal y como puede

²⁶ Pascal B. Op. Cit. pp. 36-39

observarse en el Capítulo 2. Aunque los estudiantes admiten la idea del vacío; la justificación resulta muy parecida. Pascal deduce las siguientes máximas, que para él son lo mismo que los principios, después de reportar el trabajo realizado con tubos de distintas longitudes, medidas, formas y llenándolos con distintos fluidos, e introduciéndolos en distintas formas y fluidos.²⁷

Máximas:

1. “Que todos los cuerpos experimentan repugnancia a separarse los unos de los otros y a admitir entre medios ese vacío aparente; es decir, que la naturaleza aborrece ese vacío aparente.”²⁸
2. Que este horror y esta repugnancia que sienten todos los cuerpos no es mayor al tener que admitir un gran vacío aparente que al admitir uno pequeño, esto es, para rehuir un gran intervalo que uno pequeño.
3. Que la fuerza de tal horror es limitada y semejante a aquélla con la que el agua de una cierta altura -unos 31 pies (9.45 m) aproximadamente-, tiende a descender.
4. Que los cuerpos que circundan este vacío aparente tienden a llenarlo
5. Que esta inclinación no es mayor por el hecho de tener que llenar un gran vacío aparente que uno más pequeño.
6. Que la fuerza de esta inclinación es limitada, y siempre parecida a aquélla con la que el agua de una cierta altura, - unos 31 pies -, tiende a caer.
7. Que una fuerza mayor, por poco que sea, que aquélla con la que el agua de los 31 pies tiende a caer basta para producir ese vacío aparente, todo lo grande que se quiera; es decir, para hacer que se separen los cuerpos cuanto se desee, siempre y cuando no haya más obstáculo que se oponga a su separación ni a su alejamiento que el horror de la naturaleza a este vacío aparente.”²⁹

Siguiendo su propia línea de razonamiento, Pascal plantea las proposiciones a partir de las cuales llega a la conclusión de que el peso del aire es la causa de todos estos fenómenos.

²⁷ En las máximas presentadas aquí muestra la forma de justificar cada uno de los experimentos presentados con base en la idea del horror al vacío. Obsérvese sin embargo, que la justificación está acotada para que la conclusión sea la negación de esta premisa.

²⁸ El subrayado indica la secuencia del argumento sobre la posibilidad de que el vacío exista. El subrayado es mío.

Proposiciones:

1. "Que el espacio aparentemente vacío no está lleno del aire exterior que rodea al tubo y que de éste no ha entrado por los poros del tubo.
2. Que no está lleno del aire que algunos filósofos dicen que encierran los poros de todos los cuerpos, y que esta forma se hallaría en el interior del líquido que llena los tubos.
3. Que no está lleno del aire que algunos suponen entre el tubo y el líquido que hay en él encerrado y en los intersticios o átomos de los corpúsculos que componen tales líquidos.
4. Que no está lleno de un grano de aire imperceptible, que hubiera podido quedar por azar entre el líquido y el cristal, que hubiera sido llevado por el dedo que taponaba el tubo o penetrado de cualquier otra forma, el cual se rarificaría extraordinariamente, incluso hasta llenar el mundo entero, según dirían algunos antes que admitir el vacío.
5. Que no está lleno de una pequeña parte del mercurio o del agua que, al ser atraída por las paredes del tubo, de un lado y por la fuerza del líquido, de otro, se rarifica y se convierte en vapor; así, esta atracción recíproca haría el mismo efecto que el calor que convierte a los líquidos en vapores y los vuelve volátiles.
6. Que no está lleno de los espíritus del líquido que hay en el tubo.
7. Que no está lleno de un aire más sutil mezclado con el aire exterior, el cual, habiéndose separado de éste y penetrado por los poros del cristal, tendería siempre a volver allí o sería atraído incesantemente hacia allí.
8. Que el espacio aparentemente vacío no está lleno de ninguna de las materias conocidas en la naturaleza y puedan ser percibidas por alguno de los sentidos."²⁹

Los argumentos de Pascal explicaban los experimentos realizados por él y por Torricelli, sin embargo, la aceptación de la posibilidad de la existencia del vacío y la acción del peso del aire como causa de los fenómenos no resultaba ser tan directa. Una prueba más de que la causa del funcionamiento del barómetro era el peso del aire fue el experimento de Pascal para medir la presión del aire a diferentes alturas. El experimento consistió en medir con el barómetro de

²⁹Pascal Blaise. Op. Cit. pp. 41

³⁰Pascal Blaise. Op. Cit. pp. 42

Torricelli la presión atmosférica en lo más alto del cerro Puy de Dôme cercano a la ciudad de Clermont, Francia y en el lugar más bajo de la ciudad. El experimento se realizó el 19 de septiembre de 1648 y mostró una diferencia de 3 pulgadas entre las dos alturas.

“...la evidencia de mis experimentos me fuerza a abandonar las opiniones en que me había mantenido el respeto a la antigüedad. Con todo, no he renunciado a ellas sino gradualmente; porque del primero de estos principios, que la naturaleza posee por el vacío un horror invencible, pasé al segundo, que le tiene horror, pero no invencible; y finalmente llegué a creer en el tercero, que la naturaleza no experimenta ningún horror por el vacío.”³¹

Una vez que Pascal realizó los experimentos del vacío a distintas alturas, pudo sostener la idea de Torricelli sobre el peso del aire como la causa de la altura alcanzada por el mercurio en el tubo. Sin embargo, de acuerdo a Koyré, Pascal

“seducido e inducido a error por la asimilación del aire a un líquido (asimilación corriente en su época) explica la aparición del vacío en el tubo de mercurio mediante concepciones extraídas de la hidrostática, es decir, mediante un equilibrio de pesos que no supera el nivel alcanzado por Torricelli”³².

Otto von Guericke (1602-1686) repitió los experimentos desarrollados por Torricelli y Pascal e hizo grandes contribuciones en cuanto a la formación de vacío. Guericke realizó varios intentos de formar vacío dentro de toneles de madera que se rompían con facilidad durante el proceso de extracción del aire; supuso entonces que dos semiesferas de cobre podían soportar sin romperse la extracción del aire y de esta manera logró producir vacío. Sin embargo, resultaba sorprendente la violencia con que el aire penetraba a las esferas al

³¹ Pascal 396-401. En Enzo Levi. Op. Cit. pp. 56.

³² Koyré A. Op. Cit. pp. 317

abrirse la llave que controlaba la entrada de aire. Después de estos experimentos Guericke construyó una bomba de aire en la que pudo observar diversos fenómenos, como que en el vacío una vela encendida se apaga y una campana no suena. Construyó también un barómetro de agua al comunicar un tubo largo sumergido en agua con un cilindro vacío. Todos estos efectos antes atribuidos al horror al vacío fueron explicados por la presencia de la presión atmosférica producida por el peso del aire. Con ello las explicaciones habían cambiado su agente causal y el vacío dejó de considerarse como el problema conceptual a resolver, tomando su lugar el desarrollo del concepto de presión.

La visión de un atomista como Gassendi permitió dar un paso adelante en la interpretación del fenómeno. Para él, era fácilmente comprensible que los fenómenos de dilatación (expansión) y de condensación (compresión) de una misma cantidad de aire (un mismo número de partículas y por tanto de igual peso), podían ejercer presiones variables según su estado de dilatación o condensación. Para Gassendi la analogía entre los experimentos barométricos y la aerodinámica era directa:

“El peso de la columna de aire, nos dice, comprime las capas inferiores, y es esa presión la que hace subir el mercurio en el tubo. La acción del peso es colocada, pues, en su lugar; de causa directa se convierte en indirecta; la causa directa es la presión”³³.

Los átomos de Gassendi eran partículas masivas con inercia que se movían en el vacío. Esta definición fue dada a conocer por Newton en su Óptica, 50 años después.

³³ Id.

La formalización del concepto de presión

Newton (1643- 1727) fue el primero en pensar lo que sucedería en una porción de fluido al interior del mismo y afirmar que “era igualmente comprimido en cada lado y que cualquier parte interna de un fluido está en el mismo estado que un cuerpo sumergido”³⁴. Si bien, Newton lo piensa en un líquido encerrado dentro de un recipiente esférico, no hace una interpretación mental del suceso. Newton presenta problemas particulares en los que no se aplica el concepto de presión, ya que las explicaciones de los fenómenos se basan en conjeturas en donde no se hace uso de este concepto.

La explicación de los fluidos estáticos respondían a problemas de fluidos en las tuberías, sin embargo, resultaba insuficiente en cuanto a la descripción de fluidos en movimiento, como escribió Daniel Bernoulli (1700-1782).

“Lo singular en esta hidráulico-estática es que la presión no puede definirse, a menos que se haya conocido exactamente el movimiento; y es por tal razón que esta doctrina pasó inadvertida durante mucho tiempo. De hecho, hasta ahora los autores no tenían mucho interés en investigar el escurrimiento; y casi en todas partes determinaban las velocidades tan solo con base en la altura del agua. Ahora, aunque a menudo los movimientos tiendan hacia esta velocidad tan rápidamente que la observación no permite distinguir con claridad las aceleraciones, y parece que todo el movimiento se engendra instantáneamente, es importante, sin embargo, que tales aceleraciones se entiendan correctamente; porque de otro modo, por lo general, no sería posible determinar las presiones (dentro) de la corriente. Por eso me pareció de máximo interés examinar tales cambios -aunque sean instantáneos- con todo cuidado, desde la iniciación del movimiento hasta un límite determinado, y confirmarlos a través de experimentos.”³⁵

³⁴ Truesdell C. (1975). *Ensayos de Historia de la Mecánica*. Editorial Tecnos Madrid, pp. 199.

³⁵ Enzo Levi Op. Cit. pp. 220-221.

Daniel Bernoulli publicó en 1727 en su libro titulado *Hidrodinámica* un análisis del problema de los fluidos en donde por primera vez se relacionan la presión y la velocidad de un fluido en movimiento. En este documento Bernoulli presenta el concepto de presión como la fuerza ejercida por el fluido sobre las paredes del tubo o recipiente que lo contiene. La presión la mide por la altura de una columna de fluido, que era la forma usual de medirla desde tiempos antiguos. En su libro considera un flujo estacionario, es decir, el movimiento del fluido tiene velocidad constante. Por ello, supone que actúa como si fuera un bloque, si sobre él mide la presión de una columna de fluido en donde las paredes desaparecen. Partiendo del principio de conservación de la energía relaciona la presión que ejerce la pared que contiene la columna del fluido con un impulso sobre el bloque fluido.

Juan Bernoulli (1667-1748), determinó el movimiento de un cuerpo deformable mediante el equilibrio de fuerzas, que fue publicado en su *Hidráulica* en 1739. J. Bernoulli sabía que no era suficiente con generalizar la aplicación de las leyes de Newton a los fluidos a menos que se establecieran ciertas consideraciones sobre la acción del fluido sobre sí mismo. Al respecto Truesdell* menciona:

“Tal vez guiándose por anteriores estudios de las catenarias generalizadas (llevados a cabo entre 1692 y 1692, publicados en 1743) donde había conseguido aislar satisfactoriamente las fuerzas que actúan sobre un elemento infinitesimal de una cuerda, conjeturó que, aislando un cilindro recto infinitesimal del fluido en el seno del mismo, la acción del resto del fluido es la de una presión perpendicular a las caras del cilindro, con una fuerza variable que es por sí misma una incógnita.”

Mediante esta abstracción se introdujo posteriormente el concepto de presión interna en el campo de la hidráulica. Este concepto no debe confundirse con el

* Truesdel C. Op. Cit. pp. 120.

concepto de la presión ejercida por las paredes del recipiente, definido por Daniel Bernoulli, o con el peso de una columna de líquido en reposo, ya que este nuevo concepto los incluye a ambos como casos particulares y representa un gran avance teórico ya que permite distinguir entre la presión y el peso, “reemplazando las nociones vagas de acción a distancia mediante una acción por contacto en el seno de un material”³⁷.

Euler basándose en las ideas de Juan Bernoulli, crea “el concepto general de presión interna, según el cual, la fuerza ejercida por un fluido sobre cualquier superficie frontera imaginaria en el seno del mismo es equipotente a la acción de un campo de presiones normales a la superficie, cualesquiera que sean su geometría y la posición que ocupe dentro del fluido.”³⁸. Este enunciado aparentemente tan sencillo se enseña hoy en día a los estudiantes como un resultado obvio, aun cuando se encuentra lejos de serlo. Ahora sabemos que en el intento de describir el movimiento de ciertos fluidos se demuestra que tal generalización no es siempre válida. Por otro lado, habrá que señalar que el desarrollo de estos conceptos implicó necesariamente imaginar lo que ocurre al interior de un fluido en movimiento, lejos de la experimentación y de la observación.

Euler había descrito el concepto de presión interna en hidráulica, para continuar su trabajo tiene que situarlo en el espacio y analizarlo con el principio de la cantidad de movimiento. Para explicar la presión interna, Euler recurre en 1750 a considerar un elemento de volumen de agua que está “sujeto a las presiones de las partículas de agua que lo rodean”, especificando dos años después que “las presiones con las cuales las partículas de agua en todas partes

³⁷ Truesdel C. Op. Cit. pp. 120

³⁸, Truesdell C. Op. Cit. pp. 121

de hecho actúan unas sobre otras³⁹. Las ecuaciones de Euler presentan por vez primera la presión como un campo variable en el espacio y el tiempo. El tratamiento matemático de Euler resulta ser tan claro y explícito que determina el comportamiento de la presión en sistemas hidráulicos.

La presión en la teoría cinética de los gases

De acuerdo a Truesdell, el primero en formular una verdadera teoría cinética fue Euler (1929) quien tomando en consideración la revisión que hiciera Juan Bernoulli de la cosmología de vórtices de Descartes (1596-1650), concibió al aire compuesto de moléculas esféricas en rotación. Considerando la presión del aire como una manifestación de la fuerza centrípeta que acompaña al movimiento de rotación, concluyó que a temperatura constante la presión es proporcional a la densidad. Esta es la conocida ley de Towneley-Power-Boyle. De esta forma en una teoría cinética rudimentaria, la presión y la temperatura son manifestaciones de conjunto de las acciones moleculares.

La teoría cinética de Euler no era una teoría estadística, que es la visión moderna aceptada para describir y explicar el comportamiento molecular de la materia. El primero en plasmar en forma matemática un modelo cinético y estadístico fue Daniel Bernoulli en su tratado de *Hidrodinámica* en 1733. En las ilustraciones que presenta muestra un émbolo que comprime un recipiente en donde hay corpúsculos diminutos que son impulsados en todas direcciones, movimientos rápidos y en número prácticamente infinito.

³⁹ Truesdell C Op. cit. pp. 217.

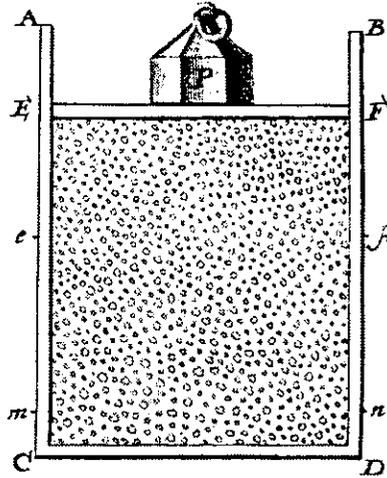


Figura. 3.5 Figura de Daniel Bernoulli en la que se ilustra su teoría cinética de un gas en la Hidrodinámica, 1738. Tomada. *Ensayos de historia de la mecánica.*⁴⁰

En la propuesta del modelo de Bernoulli se establece una analogía al sustituir el aire por un fluido que se comporta como un fluido elástico. El peso sobre el émbolo representa la presión de la atmósfera, que se equilibra con los impactos de las partículas sobre el émbolo. Para aumentar la presión el émbolo debe moverse hacia abajo, lo que implica que se debe aumentar el peso ya que el número de partículas es mayor en relación al volumen y por lo mismo el número de impactos es más frecuente sobre el émbolo. Con estas consideraciones Bernoulli se aproxima a la descripción del comportamiento experimental de los gases ideales definido por la ley de Boyle. La presión en el

⁴⁰ Truesdell Op. Cit. pp. 256

modelo de Bernoulli es una manifestación de innumerables colisiones completamente elásticas con las paredes del recipiente.

Implicaciones para la Enseñanza

Entre las muchas aplicaciones de la historia de la física en su enseñanza, señalaré dos por ejemplo: en la organización del currículum que conlleve a la organización del conocimiento, remontándolo desde sus inicios para mostrar con ello una física dinámica, en donde el pensamiento científico constituye parte del desarrollo del conocimiento del ser humano; en el reconocimiento de esquemas conceptuales, experimentos, e ideas que emergen como elementos indispensables para la construcción de conceptos.

Después de haber hecho un análisis de las diferentes teorías y modelos que constituyen nuestro actual conocimiento sobre el concepto de presión y vacío, la historia nos ubica en las dificultades conceptuales por las que tuvo que desarrollarse el concepto de presión. Establecer los puntos comunes en el desarrollo de las ideas en la historia y en la génesis de las ideas de los estudiantes pueden ilustrar dificultades comunes en cuanto a la construcción de los conceptos. En este caso la idea de vacío, es un punto en común con las ideas de los estudiantes hacia la construcción del concepto de presión.

Un análisis de la evolución de estos conceptos brinda información sobre su construcción y la forma en la que se estructuró a lo largo del tiempo. Esta estructuración es de gran ayuda para comprender las dificultades que pueden presentarse en la construcción de estos conceptos en los estudiantes. Los conceptos científicos han pasado por diversas fases de evolución durante su

proceso de desarrollo y estos pasos podrían corresponder parcialmente a las formas como se manifiestan las ideas de los estudiantes.

En el siguiente capítulo se comparan las distintas teorías y sus respectivos modelos explicativos con referencia a ciertos fenómenos que implican el uso de los conceptos de presión y vacío, con los modelos que los estudiantes emplean para describir situaciones similares. De esta manera será posible establecer puntos de similitud y diferencia entre los modelos utilizados tanto durante el desarrollo histórico como en las respuestas de los estudiantes de bachillerato. La presentación por problemas en tanto elementos de discusión en la antigüedad corresponde también en la mayoría de las investigaciones sobre concepciones previas a cuestionamientos similares para los alumnos. Esto permite situarse ante un problema común cuyo contexto fenomenológico ayudará en la interpretación de los modelos de los estudiantes y permitirá la elaboración de estrategias didácticas de acuerdo con su nivel de desarrollo.

CAPÍTULO 4

COMPARACIÓN ENTRE LOS MODELOS HISTÓRICOS Y LOS MODELOS DE LOS ESTUDIANTES RESPECTO DE LAS IDEAS SOBRE EL VACÍO EL PESO DEL AIRE Y LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA

“El pensamiento precientífico no ahinca en el estudio de un fenómeno bien circunscrito. *No busca la variación, sino la variedad.*
Y es éste un rasgo particularmente característico; la investigación de la variedad arrastra al espíritu de un objeto a otro, sin método; el espíritu no apunta entonces sino a la extensión de los conceptos; la investigación de la variación se liga a un fenómeno particular, trata de objetivar todas las variables, de probar la sensibilidad de las variables.”
Gastón Bachelard¹

En el capítulo 2 se analizaron las ideas de los estudiantes ante problemas muy específicos y la evolución del concepto de presión en Física. Las ideas encontradas muestran que la idea de vacío es para la mayoría de los estudiantes la explicación de fenómenos como el del agua que suspendida en un popote o una bureta, el agua sostenida por un papel en un vaso invertido, etc..

El análisis de estas ideas permitió concluir que existen problemas en la construcción de los conceptos de presión y vacío, ya que no se muestra una definición de su acción y de las condiciones en la que se desarrollan los fenómenos. Las explicaciones están ligadas al contexto específico del problema.

¹ Gastón Bachelard. (1982). La formación del espíritu científico. Contribución a un psicoanálisis del conocimiento objetivo. Siglo XXI. 10ª Edición. pp. 36.

Algunas preguntas que surgen de este análisis son ¿cuáles son las causas de estas ideas? ¿cuáles son los elementos que no están siendo considerados por los estudiantes? ¿qué conceptos no han sido estructurados y por qué?

En el capítulo 3 el análisis histórico sobre la evolución de los conceptos de presión y vacío, sirvió de gran apoyo en la comprensión de las dificultades teóricas implícitas en el desarrollo de estos conceptos. Por ello se presentaron algunos aspectos del desarrollo histórico de los conceptos de presión y de vacío, todos ellos relacionados con el planteamiento de problemas fenomenológicos. Este análisis permite identificar cuatro momentos en los que los conceptos de vacío y presión se constituyeron. Estos momentos constituyen modelos que a grandes rasgos son:

- **Modelo 1. Las ideas de los antiguos griegos y las desarrolladas en Edad Media**

Los griegos estaban identificados con un modelo de perfección de la naturaleza por lo que rechazaban la posibilidad de existencia del vacío, de tal suerte que las explicaciones a ciertos fenómenos como la clepsidra, el funcionamiento de los fuelles, el problema de dos placas de superficies pulidas que con dificultad se separan, etc., se basaban en que la naturaleza debiera actuar para evitar la presencia de alguna imperfección, como sería la presencia del vacío. Para los griegos no tenía sentido imaginar un espacio sin objeto, por lo que todo objeto se asocia a la presencia de un marco de referencia. La naturaleza actuaba para impedir la formación de espacios vacíos, llenándolos de inmediato con las cosas o sustancias más próximas a ellos. A partir de la premisa de la no existencia del vacío la observación de los fenómenos se ajustaba en su descripción general sin plantear ninguna contradicción con la premisa del vacío. En aquellos casos en los que esta idea

no se adaptaba, se ajustaba la explicación. Tan sólo en contados casos, algunos griegos como Herón partieron de la posibilidad de que el vacío si existiera; sin embargo, aún para él la existencia de este vacío tenía que ser breve. Sabemos que el pensamiento de los griegos prevaleció en la construcción de la ciencia hasta el Renacimiento, momento en el que se presenta un cambio de visión.

• **Modelo 2. Las ideas de Torricelli y Pascal**

Las ideas de Torricelli y Pascal formalizaron el cambio que paulatinamente se había presentado a finales de la Edad Media. La existencia del vacío empezó a convertirse en parte de la explicación sobre los mismos fenómenos que se habían preguntado los griegos. Galileo empezó a considerar la idea de la existencia efímera de un vacío; sin embargo convencido de su existencia fue Torricelli quien, se dedicó a demostrarlo experimentalmente. Los experimentos con el barómetro llevaron a demostrar que el vacío podía presentarse en la naturaleza pero, más allá de esto, llevó a explicar el funcionamiento del barómetro de mercurio y a determinar que la causa de los fenómenos era el peso del aire. La explicación del barómetro implicó el manejo de conceptos como el peso de los gases, hasta entonces asignado sólo a objetos sólidos y líquidos. Una vez hecho esto, el modelo empleado por Torricelli y Pascal para explicar el funcionamiento del barómetro fue análogo al de una balanza hidráulica, es decir, la igualación de pesos entre el aire y el agua.

Dos aspectos habrá que señalar en este punto:

- 1) Torricelli y Pascal establecen la relación entre dos nociones que parecieran estar ajenas, estas son el peso del aire y el horror al vacío.

2) El concepto de presión no se había desarrollado, sino de manera intuitiva y estaba asociado a la idea de fuerza, como consecuencia de derivarse del concepto de peso y del equilibrio de fuerzas.

Uno de los grandes méritos de Pascal fue establecer una analogía entre los fenómenos producidos por el peso de los líquidos y aquellos producidos por el peso del aire.

- **Modelo 3. Las ideas de los Bernoulli sobre la presión interna de un gas**

Daniel Bernoulli considera la presión que ejerce el líquido sobre las paredes del recipiente, explicando de esta manera ciertos fenómenos como la dependencia de la velocidad de salida de un fluido dentro de un recipiente en función de su altura. Posteriormente Juan Bernoulli analizó el problema del líquido, trató de explicar el problema del origen de la presión en un líquido y para ello imaginó cuáles podrían ser las acciones que estuvieran presentes en un cilindro infinitesimal de agua (sin pared alguna) dentro del seno del fluido. Con este experimento imaginario Bernoulli se explicó la acción de una presión perpendicular a las caras de dicho cilindro ejercida por el resto del fluido. Esta presión constituyó un nuevo concepto al que definió como presión interna. La presión del fluido tiene un origen distinto al de la presión definida por la acción de las paredes del recipiente, en este caso la estructura del líquido ejerce presión sobre el mismo líquido. Este es un paso en la construcción del concepto de la constitución de la materia y su acción al interior de la misma.

- **Modelo 4. El concepto de presión en la teoría cinética de los gases**

Pensar en los gases y los líquidos como fluidos permitió el desarrollo de los conceptos que constituyen el cuerpo teórico de la teoría cinética. El aire fue considerado como un fluido elástico y Euler, tomando en consideración los trabajos realizados sobre vórtices en líquidos, estableció que el aire estaba formado por pequeñas moléculas esféricas en rotación en donde la presión del aire era una manifestación de continuos choques elásticos al interior del gas. Con este trabajo estableció la relación entre la presión y la densidad de un gas a temperatura constante, la cual había sido propuesta experimentalmente por Boyle.

Comparación entre los modelos históricos y los modelos de los estudiantes

Del análisis histórico surgen preguntas como ¿en qué son similares las ideas de los estudiantes con las expuestas en el desarrollo histórico?, ¿los modelos usados a lo largo de la historia pueden ayudar a explicar los problemas de los estudiantes? Para contestar estas preguntas es conveniente comparar las ideas de los estudiantes y las ideas que fueron parte del desarrollo histórico de los conceptos de presión y vacío. Ya que en ambos casos fueron problemas específicos los que han servido de punto de análisis, la comparación se presentará con base en tres problemas, en donde coinciden las interrogantes planteadas en las investigaciones sobre preconcepciones y en el desarrollo histórico de los conceptos.

Las ideas de los estudiantes que se analizan son parte de las respuestas presentadas en el Capítulo 2. Las ideas históricas se describen de acuerdo con las interpretaciones de los cuatro modelos históricos que se han presentado al inicio de este capítulo y que fueron desarrollados en extenso en el Capítulo 3.

Un primer punto a señalar en esta comparación de ideas se refiere a las explicaciones sobre el vacío. En la antigüedad se partía de la premisa de la imposibilidad de la presencia del vacío, mientras que los estudiantes parten siempre de la premisa contraria, es decir, el vacío está presente y es en muchos casos el agente causal. Ambas premisas sirven como elementos de explicación de los fenómenos.

Para cada uno de los problemas analizados se comparan las similitudes y diferencias entre el desarrollo histórico de los modelos de las teorías científicas y las explicaciones de los estudiantes; los cuadros 1, muestran las explicaciones en las cuales el vacío o su ausencia es causa del fenómeno; los cuadros 2 comparan las ideas entre alguno de los modelos históricos y las explicaciones de los estudiantes en donde la causa se relaciona con la presencia del aire y la presión.

Problema 1

El problema de la separación de dos superficies pulidas fue explicado como una consecuencia del horror de la naturaleza al vacío (para los griegos) y posteriormente en función del peso del aire (Torricelli y Pascal). Problemas similares presentados a los estudiantes son la separación de una taza caliente sobre una superficie lisa y la adherencia de un dardo sobre una pared o un vidrio.

Tabla 4.1

Problema 1. Cuadro 1.

**Comparación entre los modelos históricos y las ideas de los
estudiantes relacionadas con el vacío**

Antigua Grecia y Edad Media		Estudiantes
Explicación aceptando la presencia del vacío	Explicación por horror al vacío	Explicación usando la idea del vacío
<ul style="list-style-type: none"> • Aún cuando se introduce aire con gran rapidez, durante el proceso de separación de las placas se formará un vacío instantáneo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las placas se mantienen unidas para evitar la formación del vacío que se produciría al jalar una de las tapas justo antes de la entrada del aire. • Las placas no pueden separarse a menos que se inclinen entre sí y eso permita la entrada de aire poco a poco, evitando así la formación de un vacío. 	<ul style="list-style-type: none"> • Entre el dardo y el vidrio se crea un vacío que es lo que los mantiene unidos. • De igual manera dentro de la taza se forma un vacío que la une con la superficie pulida. • El vacío hace que se una el vidrio al hule. • Hay un vacío entre el hule y el vidrio que produce una presión y no permite que se separen.

Este cuadro muestra las diferentes interpretaciones del problema de la separación de placas paralelas, las explicaciones variaban entre la posibilidad de la existencia del vacío y el rechazo a que éste se presente. La explicación que mayor respaldo tuvo durante muchos siglos, hasta aproximadamente finales de la Edad Media, fue la imposibilidad de la existencia del vacío. Hemos visto que esta idea se encuentra fundamentada ampliamente por una visión del mundo

en el cual aceptar la idea de un espacio sin objeto y sin materia mostraría una imperfección de la naturaleza. En esta explicación el aire no tiene ninguna acción, es “la naturaleza” la que actúa para evitar la formación del vacío. El modelo queda entonces determinando como:

Modelo HV1¹. La naturaleza actúa uniendo las superficies para evitar que se forme el vacío.

En cuanto a las ideas de los estudiantes, ellos aceptan la posibilidad de que el vacío exista, lo que lleva a la posibilidad de determinar un espacio en el que no se encuentre objeto alguno. Esta idea está influenciada por la aceptación de un espacio tridimensional, en donde de manera independiente los objetos pueden colocarse; lo cual es un punto que marca una distinción entre los dos modelos. Al no existir conflicto con la existencia del vacío, los estudiantes adjudican al vacío el carácter de agente causal, es decir, el vacío une, separa, empuja, etc... como hemos visto en las explicaciones fenomenológicas que aportan los estudios sobre ideas intuitivas. Puede entonces determinarse un modelo general de explicación de los estudiantes:

Modelo AV1. El vacío existe y es la causa de que las superficies estén unidas

Pese a las diferencias en los modelos de interpretación de la naturaleza que se presentan, no existe gran diferencia en las descripciones fenomenológicas,

² Cada uno de los modelos será designado con dos letras y un número, la primera letra permite distinguir de quién proviene el modelo, H si el modelo tiene un origen histórico y A si es empleado por los estudiantes en sus respuestas. La segunda letra corresponde al concepto con el que se justifica o describe la situación, esto es: V si se trata del vacío, A si corresponde al aire, P si es la presión, F si se trata de la fuerza y C si implica colisiones. Una misma combinación de las dos primeras letras no puede repetirse, por lo que se distinguen estos modelos con un número entero y en secuencia. Si un modelo ya fue empleado la numeración no se incrementa tan sólo se hace referencia al modelo correspondiente.

hecho que permite manejar la idea de un pensamiento Aristotélico en los estudiantes, sin serlo más allá de la forma común usada en su descripción. La descripción es un primer nivel de explicación de la relación entre conceptos, es por ello que resulta ser la primera aproximación que se hace en cuanto a la comprensión de lo que ocurre en un determinado fenómeno.

Tabla 4.2

Problema 1. Cuadro 2.

Comparación entre los modelos históricos y las ideas de los estudiantes relacionadas con el aire

Pascal y Torricelli	Estudiantes	
Explicación por el peso del aire	Explicación usando el aire como agente causal	Explicación usando el concepto de fuerza o presión
<ul style="list-style-type: none"> • El peso del aire empuja las placas una contra otra y es lo que no permite que éstas se separen. • El peso del aire empuja hacia arriba al cuerpo presionándolo contra el otro, de forma que se experimenta una resistencia al separarlos. 	<ul style="list-style-type: none"> • El aire, del interior de la taza, la aprieta contra la superficie. • El aire atrapado en un objeto flexible lo adhiere a la superficie. • El aire exterior hace presión entre el vidrio y el hule. • El aire comprimido ejerce mucha fuerza. • El aire dentro de la ventosa atrae los dos cuerpos 	<ul style="list-style-type: none"> • La atmósfera ejerce presión sobre los objetos y eso es lo que los mantiene unidos. • Entre el dardo y la ventana hay una fuerza (presión) que no permite que se separe fácilmente. • Sólo hay presión interior.

Las ideas encontradas sobre el aire como agente causal se encuentran en el pensamiento de Torricelli y Pascal. Aquí el aire es el agente activo y es la causa de los fenómenos que antes fueron interpretados en su gran mayoría como un

aborrecimiento de la naturaleza por el vacío. Para Torricelli y Pascal la acción del peso del aire se distribuye en toda la superficie, envolviendo el objeto, lo que indica que el concepto de presión se encuentra en proceso de construcción. El modelo histórico puede definirse entonces como:

Modelo HA1. El peso del aire une las placas.

En el caso de las ideas de los estudiantes referidas a la acción del aire, resulta significativo que si bien el aire es el agente causal del fenómeno, su acción se registra como una fuerza que jala o empuja y que no se basa en la idea del peso del aire. Se pueden distinguir en este caso dos modelos:

Modelo AA1. El aire encerrado une las superficies

Modelo AA2. El aire exterior presiona las superficies

En este sentido su interpretación se queda en un plano distinto al de Pascal y Torricelli, ya que se limita a señalar algunas características ya sea de los objetos o del aire que actúa de manera diferente según que esté o no confinado en un recipiente. Por ello tampoco se puede decir que las ideas expresadas por los estudiantes se encuentren en un proceso similar al antes citado. El aire para los estudiantes tiene el mismo carácter que la idea de vacío.

Algunos de los estudiantes hacen explícita la idea de fuerza o presión, dando el carácter causal no a la presencia del aire sino a la acción de una fuerza. Las expresiones sobre presión expresan el concepto de fuerza. Es importante señalar que en el modelo de Torricelli y Pascal, la causalidad se encuentra ligada al peso de la columna del aire, estando implícito el concepto de fuerza y

no el de presión que posteriormente se encuentra en los trabajos de Bernoulli y Euler. Los modelos de los estudiantes podemos sintetizarlos en dos:

Modelo AF1. Entre las superficies hay una fuerza o presión que une las superficies

Modelo AP1. La atmósfera ejerce presión sobre los objetos y los mantiene unidos

Aplicando el concepto de presión interna, el problema se reduce a que la presión del aire entre una superficie lisa y el dardo es menor que la presión que ejerce el aire en el exterior. Esta diferencia de presiones se considera como una magnitud escalar. El modelo se explicaría como:

Modelo HP1. La presión del aire encerrado entre la pared y el dardo actúa en todas direcciones y es menor que la que ejerce la presión atmosférica en la superficie externa del dardo.

Utilizando la teoría cinética, la explicación corresponde a la diferencia de presiones, la diferencia de presiones se debe a la mayor cantidad de colisiones del aire fuera del dardo que del aire dentro del dardo, lo cual es regulado por el cambio de volumen a temperatura constante.

Modelo HC1. Es mayor la cantidad de colisiones de las moléculas del aire fuera que dentro de la superficie del dardo, lo que produce una mayor presión externa que interna.

En cuanto a los estudiantes es interesante como la presión o la acción de una fuerza se presenta únicamente en uno de los lados del dardo, ya sea fuera o

dentro del dardo, dependiendo de la importancia que estén dando al lugar en de ubicación del aire.

Problema 2.

Otro de los problemas tratados en relación al concepto de vacío y presión es el del fuelle, cuyas paredes se colapsan al sacar el aire y tapar el orificio de entrada de aire. Este problema es similar al que se presenta cuando se introduce una jeringa en agua, se retira el émbolo y el agua sube como si estuviera adherida a él. Problemas similares se presentan en la succión de agua con un popote o al aplicar ventosas.

Tabla 4.3

Problema 2. Cuadro 1.

Comparación entre los modelos históricos y las ideas de los estudiantes relacionadas con el vacío

Antigua Grecia y Edad Media	Estudiantes
Explicación utilizando la idea del horror al vacío	Explicación de los estudiantes utilizando la idea del vacío
<ul style="list-style-type: none"> • El líquido debe subir ya que de no ser así se produciría un vacío. Si se deja entrar aire el agua deja de subir. • El agua sube en un bejuco al succionar el aire ya que las superficies del agua y el aire están húmedas y unidas de tal manera que el aire jala el agua violentamente. • Cuando el aire y el agua están en contacto hay una fuerza atractiva. 	<ul style="list-style-type: none"> • El agua sube dentro de la jeringa; hay un vacío y éste aspira o succiona el agua. • El agua sube por el popote porque se hace un vacío que se llena con el líquido. • Algo como el agua debe llenar el vacío que se forma.

El argumento de que la naturaleza aborrece el vacío fue utilizado en la antigüedad para explicar la presencia de una fuerza atractiva por ejemplo entre dos placas (**Modelo HV1**). En este caso es interesante ver otro modelo utilizado que se refiere a la presencia de una atracción entre la superficie del agua y del aire como causa de que el agua suba por un popote.

Modelo HV2. Existe una fuerza atractiva entre el aire y el agua.

Los estudiantes interpretan como causa del fenómeno a la acción del vacío que se forma al extraer el aire dando como resultado que el agua suba.

Modelo AV2. El vacío aspira o succiona.

Con poca frecuencia, en algunas de las respuestas de los estudiantes se encuentra otro modelo referido a que el agua debe ocupar el espacio que queda vacío.

Modelo AV3. El vacío debe llenarse.

Debemos señalar que esta explicación es similar a las presentadas en la antigüedad como justificación de la imposibilidad de la presencia del vacío.

Tabla 4.4

Problema 2. Cuadro 2.

Comparación entre los modelos históricos y las ideas de los estudiantes relacionadas con el aire.

Torricelli y Pascal	Estudiantes	
Explicación utilizando la idea del peso del aire	Explicación utilizando la idea del aire	Explicación utilizando la idea de presión
<ul style="list-style-type: none"> • El peso del aire empuja el agua que llena la jeringa y sube el émbolo. • El peso del aire está en contacto con todas las partes del agua menos aquella que coincide con la abertura de la jeringa a la que no tiene acceso. El aire presiona todas las partes y hace que el agua suba a medida que se mueve el émbolo. El agua entra hasta que se equilibra el peso del aire exterior. 	<ul style="list-style-type: none"> • El agua sube por el popote porque el aire presiona hacia abajo sobre la superficie del agua. • Al succionar el agua el aire exterior presiona. • El aire dentro de la jeringa aspira el agua. 	<ul style="list-style-type: none"> • El agua sube porque hay una presión externa. • El agua sube porque hay una presión abajo del líquido.

Las explicaciones se basan en la presencia del peso del aire como justificación del fenómeno (**Modelo HV1**). En cuanto a las ideas sobre el peso del aire el argumento en la solución de este problema es consistente con el modelo de interpretación sobre un equilibrio de fuerzas, en donde el peso del aire es el agente causal. Este modelo emerge de una analogía con los sistemas hidráulicos.

Modelo HA2. El peso del aire empuja el agua que entra hasta que se equilibra con el peso del aire exterior.

Los mismos modelos **HP1** y **HC1** son aplicables al funcionamiento del fuelle, es decir, las explicaciones sobre fenómenos aparentemente distintos reciben una misma explicación teórica. En este momento puede observarse la utilidad de una teoría general que explique un mismo grupo de fenómenos.

Si se considera como problema la succión del agua por un popote, la presión interna del aire que queda en la parte superior del popote y la boca es menor que la ejercida por el aire externo, es esta presión atmosférica sobre la superficie del líquido la que hace subir el agua. Los otros problemas planteados como similares presentan el mismo tipo de relación entre las presiones interna y externa y por tanto la explicación es la misma.

Las explicaciones de los estudiantes se enfocan en los aspectos específicos del fenómeno o bien en los efectos o acciones determinadas que el agua se succiona o el aire o el vacío jalan el agua porque sus superficies están en contacto. En algunos casos, los estudiantes explican el fenómeno partiendo de la idea de que el aire presiona el agua el agua sube, sin embargo, ellos asocian la acción de succionar el agua con el empuje del aire sobre el agua por lo que la atención está centrada en la acción de succionar y no en el empuje del aire.

Modelo AA3. Al succionar el agua el aire exterior presiona.

Cuando los estudiantes explican los fenómenos utilizando la idea de presión consideran tan sólo la acción de la presión en un punto específico, lo que indica que no lo consideran un sistema en donde en diversos puntos pueda presentarse la presión.

Modelo AP2. El agua sube porque hay una presión externa.

Modelo AP3. El agua sube porque hay una presión abajo del líquido.

Problema 3

Una botella con dos orificios uno superior y uno inferior se coloca dentro de un recipiente con agua, hasta que se llena completamente, si al sacarla del agua se tapa el orificio superior, por el orificio inferior no caerá el agua. Problemas similares se presentan cuando se llena una bureta o se suspende el agua de un vaso invertido con ayuda de un papel.

Tabla 4.5

Problema 3. Cuadro 1

Comparación entre los modelos históricos y las ideas de los estudiantes relacionadas con el vacío

Antigua Grecia y Edad Media	Estudiantes
Explicación en base al horror al vacío	Explicación utilizando la idea del vacío
<ul style="list-style-type: none"> • El agua de la botella no cae ya que dejaría un espacio vacío, lo que no puede suceder en la naturaleza. • La afinidad de los elementos del universo no permiten que se forme el vacío, por lo que el agua no cae. • El universo está compuesto de cuatro elementos si uno de ellos deja su lugar, otro lo ocupa, es por ello que el agua no cae. • Si el agua cayera, las paredes de la clepsidra se colapsarían para evitar la formación del vacío. 	<ul style="list-style-type: none"> • El espacio cerrado está vacío y detiene al agua.

En este rubro encontramos las ideas sobre la imposibilidad de formación del vacío, mostrándose con más claridad los motivos que llevan a esta interpretación y que están relacionados con el modelo de universo y su perfección (**Modelo HV1**). Para los estudiantes el agua no cae porque el vacío la detiene o succiona (**Modelos AV1**).

Tabla 4.6

Problema 3. Cuadro 2

**Comparación entre los modelos históricos y las ideas de los
estudiantes relacionadas con el aire**

Torricelli, Pascal	Estudiantes	
Explicación utilizando la idea del peso del aire	Explicación utilizando la idea del aire	Explicación utilizando la idea de presión
<ul style="list-style-type: none"> • En una clepsidra el peso del aire mantiene suspendida el agua al cerrar el tubo superior. • El peso del aire afecta al agua dentro de la clepsidra y no a la que está dentro del tubo, ya que el tapón se lo impide, es la única manera en que mantenga un equilibrio. • La diferencia de presiones dentro y fuera de la clepsidra o bien de la bureta, es lo que hace que el agua no caiga. La presión externa es mayor que la interna. 	<ul style="list-style-type: none"> • El aire encerrado no ejerce presión. • El movimiento del agua depende de que el aire tome el lugar del agua. • El gas expandido sobre el líquido lo succiona y lo hace regresar. • El aire encerrado es ligero y no puede empujar el líquido hacia afuera. • El aire está presurizado y no puede empujar el líquido hacia abajo. • Si el aire está encerrado la gravedad no actúa. 	<ul style="list-style-type: none"> • La presencia del tapón detiene la acción de la presión atmosférica sobre el líquido. • La presión del aire encerrado es menor que la atmosférica. • La presión del aire encerrado es mayor que la atmosférica. • La presión del aire disminuye hasta que es atrapado entre el tapón y el líquido.

La idea sobre el peso del aire como un equilibrio de fuerzas constituye el argumento de Pascal y Torricelli (**Modelos HA1 y HA2**) y el **Modelo HA3**.

Modelo HA3. La presión externa es mayor que la presión interna y actúan como fuerzas en equilibrio.

Las ideas de los estudiantes sugieren que el aire ejerce una acción de jalar o empujar. Cabe señalar que en este caso se habla del aire que por permanecer encerrado no ejerce presión, y que constituye una negación del **Modelo AA1**. **El aire encerrado une las superficies.**

Las explicaciones que se refieren a que el aire es más ligero son similares a las explicaciones sobre aire enrarecido empleadas por algunos científicos defensores de la idea de que la naturaleza aborrece el vacío (**Modelo AV3**).

Puede observarse que se atribuyen características especiales al aire, dependiendo de las situaciones de contexto, esto es, si se encuentra en un lugar cerrado o si se considera que está presurizado. Los modelos son:

Modelo AA4. El aire jala o aspira el agua.

Modelo AA5. El aire encerrado es ligero y no puede empujar el líquido hacia afuera.

Modelo AA6. El aire presurizado no puede empujar el líquido.

Modelo AA7. En el aire encerrado no actúa la gravedad

En cuanto a las ideas sobre la presión, ésta muestra características diferentes dependiendo de las condiciones en las que se encuentre, esto es, si está dentro o fuera de un recipiente.

Modelo AP4. El tapón detiene la presión atmosférica.

Modelo AP5. La presión del aire disminuye hasta que queda atrapado

El equilibrio entre la presión del aire dentro y fuera del recipiente se manifiesta en algunas de las ideas de los estudiantes.

Modelo AP6. La presión del aire encerrado es menor que la atmosférica.

Modelo AP7. La presión del aire encerrado es mayor que la atmosférica.

Este es un punto de avance en cuanto a los modelos de los estudiantes que puede compararse con las ideas de Torricelli y Pascal.

En cuanto a los modelos 3 y 4, las explicaciones corresponden a los modelos **HP1** y **HC1** ya antes descritos. Al igual que en los casos anteriores, los fenómenos se explican a través de la diferencia de presiones dentro y fuera del vaso o bureta. Lo anterior explica que en realidad todos estos fenómenos son equivalentes en cuanto a los conceptos que involucran, no así los aspectos específicos de los distintos fenómenos.

Modelos históricos que pueden vincularse con las ideas de los estudiantes.

A manera de síntesis se presenta la siguiente tabla en donde pueden analizarse con mayor facilidad todos los modelos determinados con base en las explicaciones en el desarrollo histórico y en las explicaciones de los estudiantes. En la primera columna se presenta el concepto o idea central en la explicación de los problemas. La segunda columna corresponde a las ideas sobre dichos conceptos desarrollados históricamente, mientras que la última columna corresponde a las ideas de los estudiantes con base en sus ideas sobre los mismos conceptos centrales.

Tabla 4.7
Resumen de los modelos encontrados en la historia
y en las explicaciones sobre los alumnos

Ideas centrales	Modelos Históricos (H)		Modelos de los Alumnos (A)	
Vacío	V1	La naturaleza actúa uniendo las superficies para evitar que se forme el vacío	V1	El vacío existe y es la causa de que las superficies estén unidas.
	V2	Existe una fuerza atractiva entre el aire y el agua	V2	El vacío aspira o succiona
			V3	El vacío debe llenarse (con agua u otra sustancia)
Aire (A)	A1	El peso del aire une las placas	A1	El aire encerrado une las superficies
	A2	El peso del aire empuja el agua que entra hasta que se equilibra con el peso del aire exterior	A2	El aire exterior presiona las superficies
	A3	La presión externa es mayor que la presión interna y actúan como fuerzas en equilibrio	A3	Al succionar el aire exterior presiona
			A4	El aire jala o aspira el agua
			A5	El aire encerrado es ligero y no puede empujar el líquido hacia afuera
			A6	El aire presurizado no puede empuja el líquido
			A7	En el aire encerrado no actúa la gravedad
Fuerza (F)			F1	Entre las superficies hay una fuerza o presión que une las superficies
			F2	La atmósfera ejerce presión sobre los objetos y los mantienen unidos.

Continuación Tabla 4.7

Ideas centrales	Modelos Históricos (H)		Modelos de los Alumnos (A)	
Presión (P)	P1	La presión del aire encerrado entre la pared y el dardo está en todas direcciones y es menor que la que ejerce el aire a presión atmosférica en la superficie externa del dardo.	P1	La atmósfera ejerce presión sobre los objetos y los mantiene unidos.
			P2	El agua sube porque hay una presión externa.
			P3	El agua sube porque hay una presión bajo el líquido.
			P4	El tapón detiene la presión atmosférica.
			P5	La presión del aire disminuye hasta que queda atrapado.
			P6	La presión del aire encerrado es menor que la atmosférica.
			P7	La presión del aire encerrado es mayor que la atmosférica.
Colisiones (C)	C1	Es mayor la cantidad de colisiones de las moléculas de aire fuera que dentro de la superficie del dardo, lo que produce una mayor presión externa que interna.		

Implicaciones para la enseñanza

La forma en la que se desarrolló el concepto de presión se ha modificado a partir del concepto de vacío, del peso del aire, del equilibrio entre el peso del aire dentro y fuera del contenedor, del concepto de presión, de la presión interna en un fluido y la concepción del movimiento molecular.

En la época de los griegos la idea dominante para explicar fenómenos como la clepsidra, fue que la naturaleza actuaba para evitar la formación del vacío, al mismo tiempo, otras ideas alternativas surgían para contrarrestarla, asegurando la posibilidad de existencia y creación de un vacío continuo. Estas explicaciones están ligados a un modelo de la naturaleza y respondían a las limitaciones y posibilidades del modelo. La presión en sus inicios se entendió y relacionó con la idea de una fuerza que empujaba un objeto sobre otro.

El modelo cambió a finales de la Edad Media y principios del Renacimiento con las ideas de Torricelli y Pascal, quienes brindaron una nueva interpretación de la fenomenología. Los fenómenos analizados no cambiaron pero los modelos de interpretación sí. Torricelli y Pascal habiendo trabajado con agua y construido un modelo mecánico de equilibrio de fuerzas para interpretar los fenómenos hidráulicos, amplían su modelo para incorporar los fenómenos en los que está presente el aire. La concepción del aire cambia convirtiéndose en un elemento análogo al agua. Por lo que su comportamiento debía ser similar al del agua y esto es lo que les permite construir la idea del peso del aire como causa de los fenómenos en los que se pensaba que el vacío no podía existir.

Los elementos que confluyen en explicaciones como las anteriores son las ideas sobre el espacio y la posibilidad de concebir el aire como un agente activo y no como un elemento inactivo en la naturaleza. El concepto de presión requiere para su evolución de una concepción atomística de la materia sin la cual no es posible rebasar la conceptualización de la acción de una fuerza identificada como el peso de aire.

Los 4 modelos identificados en el Capítulo 3 explican la evolución del concepto de presión dando lo elementos necesarios para establecer una comparación entre la evolución del concepto y las ideas de los estudiantes en sus

explicaciones ante fenómenos similares a los que se enfrentaron Aristóteles, Torricelli, Pascal, Bernoulli, Euler, etc..

Los estudiantes utilizan para explicar los fenómenos tres distintos tipos de modelos. Distinguiéndolos en cada caso de acuerdo al conjunto de ideas que representan:

• **Primer grupo. Los modelos relacionados con el vacío.**

- Los estudiantes parten de aceptar que es posible la existencia del vacío y le adjudican una serie de acciones como son jalar y empujar. Su acción del vacío está relacionada con el contexto o aspecto fenomenológico.
- Las explicaciones de los griegos estaban centradas en el comportamiento de la naturaleza para evitar los espacios vacíos, debido a que en su concepción del mundo el vacío no tenía cabida, en el caso de los estudiantes el vacío es el agente causal.
- En ambos modelos, la naturaleza o el vacío actúan de manera aleatoria y se ajustan al fenómeno, por lo que las explicaciones de los griegos y de los estudiantes resultan ser similares.
- Un caso particular es el modelo en el que el vacío debe llenarse, esto puede sugerir la idea de que los estudiantes consideran que el espacio no puede permanecer vacío, idea que es similar a la que tenían los antiguos griegos.

- El número de alumnos que utiliza este modelo es alto en relación con los demás modelos (35% de las respuestas categorizadas en el capítulo 2.
- **Segundo grupo. Los modelos relacionados con el aire.**
 - Los modelos históricos muestran que la concepción del peso de aire tuvo un papel muy importante, ya que permitió trasladar los conocimientos sobre la hidráulica hacia lo que ocurría con los fluidos como el aire y de ahí iniciar su trabajo con gases. En el caso de los estudiantes, ellos identifican que el aire es un agente causal, sin embargo, su nivel de explicación se centra, al igual que en el caso del vacío, en explicar brevemente que el aire empuja o jala. Cuando explican que el aire exterior empuja y el aire encerrado en un recipiente jala, su explicación tiene relación con la acción de una fuerza. Sin embargo, ellos no señalan por qué asignan una acción de fuerza a la presencia del aire, por lo que no es posible considerar en estos casos si la atribución de fuerza está relacionada con el peso del aire.
 - En este caso los modelos descritos por los estudiantes se encuentran aún en un proceso de construcción que no es similar a los modelos de Pascal y Torricelli.
 - Los alumnos que explican el fenómeno de esta manera es en número similar al que se presenta en el caso del vacío.

- **Tercer grupo. Los modelos relacionados con el peso, la fuerza o presión del aire.**
 - El modelo de Torricelli y Pascal presenta la analogía entre la construcción de un equilibrio de fuerzas hidráulico. Los estudiantes señalan que el agente causal es el peso del aire, la presión o fuerza, utilizan estos tres conceptos como adjetivos que describen una acción del aire y que se identifica en general como una fuerza cuya causa está en el peso de la columna de aire.
 - Este modelo puede ser parcialmente identificado con el de Torricelli, sin embargo, no está presente la comparación entre distintas fuerzas en equilibrio como resultado de un sistema sujeto a distintas fuerzas.
 - Este modelo fue señalado por muy pocos alumnos y menos aún los que señalaron el equilibrio de fuerzas.

Como se puede observar no existe el manejo de otros modelos que se encuentren relacionados con la construcción del concepto de presión. Por ejemplo, el concepto de presión interna, que es posterior históricamente a Pascal, nunca se presenta en los estudiantes, de igual manera que un manejo de los gases a nivel molecular y sus implicaciones en la construcción del concepto de presión tampoco existe. De igual manera no se observa ningún modelo que explique los fenómenos de acuerdo con la teoría cinética de los gases. En las explicaciones de estos últimos modelos debe tenerse en cuenta que se incluyen diversos factores como son el reconocimiento de la acción de la presión en toda la superficie del objeto, y cuyo carácter vectorial desaparece, así

como el uso de un modelo molecular de la materia y sus relación con la acción de la presión sobre la superficie.

Es posible concluir que los estudiantes utilizan en algunos casos descripciones fenomenológicas porque parten de elementos descriptores semejantes, pero con modelos de interpretación diferentes. Mientras que en la reconstrucción histórica encontramos modelos en los cuales se explican las causas, los estudiantes centran su atención sobre elementos como el objeto o contexto, para dar una explicación causal lineal, sin que por ello se pueda decir que se trata de un modelo de la naturaleza y mucho menos que pueda ser trasladado a otros fenómenos.

Con lo antes descrito es posible delimitar los problemas que están presentes en la conceptualización de los estudiantes en cuanto al concepto de presión. Esto se considera como un punto de partida necesario para establecer posibles estrategias que posibiliten su desarrollo.

CAPÍTULO 5

PROPUESTA DIDÁCTICA Y CONSIDERACIONES FINALES

“.... los profesores reemplazan los descubrimientos por lecciones.

En contra de esta indolencia intelectual que nos priva poco a poco de nuestro sentido de las novedades espirituales, la enseñanza de los descubrimientos realizados en el transcurso de la historia científica es un precioso auxiliar.

Para enseñar a los alumnos a inventar, es bueno darles la sensación de que ellos hubieran podido descubrir.”¹

Gastón Bachelard

En los capítulos precedentes se muestra que la evolución del concepto de presión es muy compleja. Fenómenos particulares como la clepsidra, permitieron la construcción del concepto de presión; esta construcción partió de la negación de la idea del vacío, después evolucionó hacia el concepto de fuerza, para establecerse luego como el concepto de presión interna que se desprende de su referente fenomenológico y en donde pasan a segundo plano la acción de empujar o jalar representadas como las explicación del vacío y de la fuerza. En el Capítulo 3 se desarrollaron cuatro modelos históricos que de manera parcial marcaron los cambios de paradigma y guiaron las concepciones que siguieron a su desarrollo. En el Capítulo 2 se mostraron diversos modelos de explicación de problemas fenomenológicos similares a los históricos. De esta revisión surgen las siguientes preguntas: ¿Existe semejanza entre los modelos históricos y los modelos empleados por los estudiantes en la descripción de fenómenos similares? En este último capítulo se definirán algunas líneas generales a

¹ Bachelard Gastón. (1982). La formación del espíritu científico. Una contribución a un psicoanálisis del conocimiento objetivo. 10ª Edición. Siglo XXI. pp. 291.

considerar en la elaboración de una propuesta didáctica, estableciendo los puntos en los que la historia de la ciencia puede apoyar el desarrollo de la propuesta. Al final de éste capítulo se presentan, a manera de síntesis, una serie de conclusiones en la dirección de contestar a la pregunta planteada.

En el Capítulo 4 se analizaron los modelos utilizados por los estudiantes para explicar fenómenos como la clepsidra, la unión de placas paralelas, etc.. Estos modelos se encuentran resumidos en la tabla 4.1 presentada en el capítulo 3 y son respuesta ante ciertos problemas fenomenológicos específicos. Una generalización que resume las ideas en estos modelos se presenta en la tabla 5.1:

Tabla 5.1
Generalización de los modelos encontrados en la historia
y en las explicaciones sobre los alumnos

Resumen de las ideas centrales	Modelos Históricos (H)	Modelos de los Alumnos (A)
Vacío	La naturaleza actúa para evitar que se forme el vacío.	El vacío existe en la naturaleza y es el agente causal de diversos fenómenos en los que se presenta.
Aire	El vacío existe en la naturaleza. El agente causal es el peso del aire.	El aire (encerrado o fuera del recipiente según sea el caso) es el agente que actúa en los fenómenos.
Fuerza	El peso del aire es una fuerza. Los fenómenos pueden ser explicados por un equilibrio de fuerzas.	Existe una fuerza externa del aire o del agua que actúan sobre los objetos y es el agente causal del fenómeno
Presión	La presión interna en un fluido es ejercida en todas direcciones por el mismo fluido.	Existe una presión externa producida por el aire o el agua en una dirección preferencial. La presión del aire encerrado es distinta (menor o mayor) que la presión atmosférica.
Colisiones	La materia está constituida por partículas en movimiento. Un mayor movimiento molecular se relaciona con la temperatura del gas o líquido. La incidencia en los choques de las partículas sobre las paredes del recipiente representan la presión ejercida por el gas o líquido sobre ellas.	

- **Modelos relacionados con el vacío**

La acción que los alumnos le asignan al vacío, es la misma que la asignada a la naturaleza por considerar que el vacío no podía existir. Las explicaciones tienen una estructura similar, sin embargo, el agente causal es la naturaleza (que presenta similitud con el desarrollo histórico) en un caso y, el vacío en el caso de los estudiantes. Otro aspecto importante que establece una diferencia en las explicaciones, es el argumento de la imposibilidad del vacío de los pensadores griegos y de la Edad Media. Este modelo de la naturaleza, corresponde a explicaciones de otros fenómenos que no hacían posible aceptar la existencia del vacío.

Para los estudiantes no existe un modelo que explique el comportamiento de los objetos, se asigna a los objetos y a las sustancias la causalidad de los fenómenos. Por ejemplo, un dardo permanece unido a la pared porque es de hule. Para los estudiantes la existencia del vacío es una condición aceptada, en este sentido parecería que se encuentran en una situación similar al modelo de Torricelli o Pascal; sin embargo, a diferencia de ellos, los estudiantes adjudican al vacío diversas acciones que resultan contradictorias.

En el problema 1 del capítulo 2, en donde se solicita explicar lo que ocurre con una balanza con dos objetos en equilibrio dentro de una campana sin aire, las explicaciones de los estudiantes se centran en resolver el desequilibrio de la balanza pensando en la acción que debe ejercerse sobre uno de sus extremos, esto es, uno de los extremos es empujado o jalado por la acción del vacío, de manera similar el dardo permanece unido a la pared ya que el vacío lo jala. Lo anterior sugiere que el concepto de vacío no está definido. La mayor parte de los alumnos utilizan este modelo explicativo. Su

modelo explicativo no puede ser comparado con el de Aristóteles, sin embargo el tipo de inferencias que hacen en cuanto a la explicación directa del fenómeno basadas en explicaciones causales directas sugieren cierto tipo de similitud entre el pensamiento de los estudiantes y el de Aristóteles.

- **Modelos relacionados con el aire**

El concepto de peso del aire tiene gran importancia en este caso y motivó el cambio de interpretación en el agente causal, ayudando con ello a aceptar la existencia del vacío. Las explicaciones que da Torricelli sobre el funcionamiento del barómetro se fundamentan en aceptar la existencia del vacío y en un análisis sobre el sistema mercurio, barómetro, aire y vacío considerando como agente causal al peso del aire (en donde en forma implícita se encuentra la noción de fuerza). Las explicaciones de los alumnos no cambian en cuanto a su estructura lógica, esto es, constituyen una relación causa efecto directa. La causa, en este caso el aire, es el agente que produce cierta acción similar a la que ocurre con el vacío es decir, los estudiantes no justifican sus respuestas por la acción del vacío sino por la acción del aire. Observan la acción del aire en condiciones específicas, esto es, dentro de un recipiente o bien fuera de él pero nunca el sistema general. Un menor número de estudiantes utiliza este tipo de modelos explicativos como se muestra en el Capítulo 2.

- **Modelos relacionados con el peso, la fuerza o la presión del aire**

Torricelli y posteriormente Pascal establecen una analogía hacia el conocido comportamiento de sistemas hidráulicos. El peso del aire, es la acción que funciona de acuerdo a un sistema en equilibrio. La construcción del concepto de presión resulta posterior a través del análisis de los fluidos en su seno.

Los estudiantes explican los fenómenos con base en la acción de una presión o fuerza, conceptos que se utilizan como sinónimos. Sin embargo, no establecen una relación de equilibrio entre las presiones del sistema, como tampoco en la estructura molecular de la materia. Los agentes causales cambian de nombre, sin embargo, la presión es sinónimo de fuerza. Aún cuando los estudiantes piensan en la presencia de la presión atmosférica, resulta ser tan sólo la acción de una fuerza sobre una superficie, sobre la parte interna de un recipiente o bien debida a la acción del agua. En ninguno de los casos los estudiantes no contemplan en sus explicaciones más de un agente causal.

¿Cómo son las ideas de los alumnos comparadas con las ideas en la historia?

En síntesis, para los estudiantes la existencia del vacío no se pone en duda; sin embargo, la idea del vacío está aislado de otros conceptos con los cuales se relaciona y con el contexto fenomenológico. Su concepción de vacío corresponde a la de un espacio sin materia; esta ausencia de materia implica la ausencia de fuerzas (por ejemplo la gravitacional); se admite que el vacío jala o empuja objetos, lo que habla de la existencia de modelos vinculados al contexto y que explican un solo fenómeno. Si se comparan estas ideas sobre el vacío con las que aparecen en la historia, se encuentra que ambas implican la ausencia tanto de materia como de fuerzas del tipo de la gravitacional. Una diferencia significativa es que las ideas que defendían la ausencia del vacío están vinculadas a un modelo general de la naturaleza y no tanto a explicar un fenómeno particular.

Los conceptos de presión y vacío señalan históricamente una línea de desarrollo. Las ideas fueron transformándose poco a poco a través de los siglos, pasando por la descripción fenomenológica de ciertos eventos que llevaron a la construcción de modelos de interpretación cuya generalización permitió su aplicación en distintos contextos. Sin embargo, la visión parcializada de estos modelos indica la fuerte ligadura que prevalecía entre el fenómeno, su contexto y el modelo de explicación. Conforme el modelo de interpretación se hace más general y abstracto, éste amplía la búsqueda de la descripción fenomenológica, y las preguntas se convierten en la búsqueda de explicaciones causales.

Las explicaciones causales primero están directamente relacionadas con el contexto fenomenológico y luego se transforman en explicaciones causales de los modelos, es decir, describen un modelo más allá de lo fenomenológico, pretendiendo con ello describir el fenómeno en condiciones que no pueden ser observadas experimentalmente. Esta idealización presenta mayor complejidad en el desarrollo y construcción de modelos de interpretación que se transforman partiendo de lo directamente observable para llegar a lo posible. En la figura 5.1 se puede observar la secuencia de modelos encontrada en el desarrollo de la construcción del concepto de presión.

Para el caso de la construcción histórica del concepto de presión puede armarse una secuencia de ideas de los científicos y pensadores que lo conformaron, sin embargo, con las ideas de los estudiantes no parece ser posible establecer una secuencia de las ideas de los estudiantes. Resulta importante analizar si las ideas de los estudiantes presentan rasgos similares a los históricamente obtenidos.

Los resultados que provienen de las investigaciones en enseñanza de la ciencia no permiten seguir un proceso de transformación de los conceptos en el sujeto.

La investigación en el área ha abordado un pequeño grupo de conceptos, y los estudios se han realizado de acuerdo a muy diversos enfoques teóricos por lo que sus resultados difícilmente pueden ser retomados o incorporados para dar seguimiento al desarrollo de conceptos específicos.

En la figura 5.1 puede observarse qué ideas de los estudiantes corresponden a características que los ubican dentro de dos modelos históricos, lo cual sugiere que existe una relación entre la secuencia histórica desarrollada y las ideas que expresan los estudiantes.

Otro aspecto importante a señalar es que la mayor cantidad de respuestas (los porcentajes se muestran en el Capítulo 2 y corresponden en forma resumida a los resultados de las investigaciones encontradas en la revisión bibliográfica presentada), corresponden a las ideas históricamente más antiguas y que son descripciones de los fenómenos. A diferencia de los modelos históricos, los estudiantes no establecen ideas o modelos generales que expliquen más allá de un fenómeno, esto es, sus explicaciones están centradas en la descripción de un fenómeno particular sin capacidad generalizadora. Sus explicaciones son parciales y centradas en el contexto fenomenológico, lo que no les permite observar el problema general, siendo ésta una de las causas por la que los estudiantes no pueden reconocer contradicciones en su razonamiento, ya que estas lo son en función de otros fenómenos que pueden ser explicados con el mismo modelo. Si bien los modelos históricos responden a preguntas específicas y contextuales, no caen en contradicciones de este tipo.

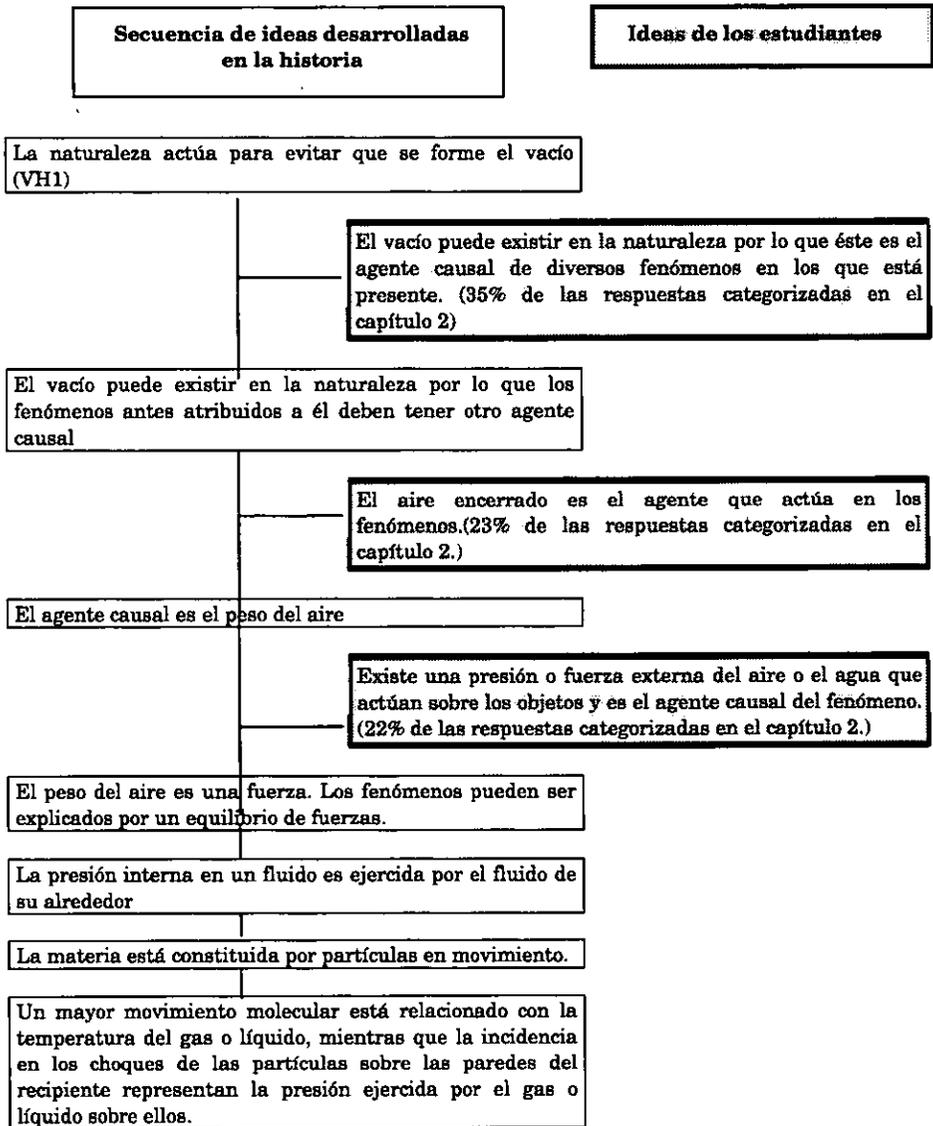


Figura 5.1. Ideas principales que describen el desarrollo de los conceptos de presión y vacío

La figura 5.1 está formada por dos columnas: la primera describe el desarrollo de las primeras ideas sobre la negación del vacío que constituían las explicaciones de una serie de fenómenos que posteriormente, con el desarrollo del concepto de presión, se describen a partir de condiciones de equilibrio en la presión. Esta secuencia corresponde a la respuesta de fenómenos como la clepsidra, la unión de dos superficies, el funcionamiento del sifón, etc., que representan casos particulares de situaciones más generales en donde se aplican conceptos que corresponden a un nivel de explicación causal de mayor orden de abstracción.

Las explicaciones medievales (alrededor de 1200 a 1300) recuperan los conocimientos de los griegos al inicio de la construcción del concepto de presión. Tal concepción está ligada al concepto de fuerza y es el producto del peso del aire como se muestra en las ideas de Torricelli y Pascal (1600-1700). Sin embargo, se requirieron 400 años en el proceso de construcción conceptual, unido a un cambio de metodología de investigación que permitió la superación de una serie de obstáculos epistemológicos², como fueron la aceptación de la existencia del vacío, la conceptualización del aire como materia, etc..

En la figura 5.1 las ideas de Torricelli y Pascal se desglosan en tres distintos puntos que servirán para situar las ideas de los estudiantes. En la misma

² El concepto de obstáculo epistemológico fue planteado por Bachelard, quien lo define de la siguiente manera: "Cuando se investigan las condiciones psicológicas del progreso de la ciencia, se llega muy pronto a la convicción de que hay que plantear *el problema del conocimiento científico en términos de obstáculos*. No se trata de considerar los obstáculos externos, como la complejidad o la fugacidad de los fenómenos, ni de inculpar a la debilidad o la fugacidad de los fenómenos, ni de inculpar a la debilidad de los sentidos o del espíritu humano: es en el acto mismo de conocer, íntimamente, donde aparecen, por una especie de necesidad funcional, los entorpecimientos y las confusiones. Es ahí donde mostraremos causas de estancamiento y hasta de retroceso, es ahí donde discerniremos causas de inercia que llamaremos obstáculos epistemológicos." En Bachelard Gastón. 1982. La formación del espíritu científico. Contribución a un psicoanálisis del conocimiento objetivo. Siglo XXI 10ª Edición.

columna puede apreciarse la construcción del concepto de presión como la presión interna de un fluido, estos trabajos de formalización del concepto culminan con los trabajos de Euler en 1829 acerca de la teoría cinética de los gases. Esta última transformación del concepto constituye un cambio que va de la concepción de la presión como una fuerza hacia su explicación en términos de la estructura molecular de la materia. El modelo de la estructura de la materia constituye otro obstáculo epistemológico que al superarse modifica el modelo de interpretación de los conceptos físicos que forman parte de la visión de la termodinámica dentro de la física clásica.

La segunda columna corresponde a las ideas de los estudiantes ante ciertos problemas de tipo experimental. Las respuestas de los estudiantes no tienen una secuencia en el tiempo, es decir, responden a la explicación de los estudiantes de nivel de preparatoria en conjunto, porque no se ha analizado la evolución conceptual en individuos en un periodo relativamente breve de tiempo, por lo que no puede establecerse una secuencia en el tiempo como fue posible mostrarlo para la primera columna. Sin embargo, es posible ubicar las ideas de los estudiantes de acuerdo a las ideas más cercanas a las históricas.

Las indicaciones de porcentajes de la población investigada muestran también que la mayor parte de los estudiantes se encuentran entre las ideas medievales y el inicio del concepto de presión como una fuerza. Por otro lado, un porcentaje menor se encuentra distribuido entre lo que constituyen las ideas de Torricelli y Pascal, sin lograr concretar la visión de éstos.

Cabe aclarar que la tarea que se plantea a los estudiantes no es la construcción de un concepto sino la explicación fenomenológica de un evento, para lo cual se considera que cuentan con una serie de conceptos que les servirán para interpretar el fenómeno. Por lo anterior es posible decir que:

- 1) A los estudiantes se les presenta una tarea equivalente a la que se planteaban los científicos griegos y medievales y
- 2) Los estudiantes todavía no han construido el concepto de presión, ya que no les es posible utilizarlo para explicar los fenómenos.

La figura 5.1 muestra que las explicaciones de los estudiantes sobre los fenómenos son de carácter descriptivo en todos los casos y que en su mayoría explican el fenómeno en función de la acción de una fuerza a la que le dan dos posibles causas; para algunos estudiantes la causa es el vacío mientras que para otros es el aire. No se analiza en ningún caso un sistema físico, lo que indica que los estudiantes centran su atención en las características del objeto y/o del aire o su ausencia.

Por lo anterior puede decirse que los estudiantes no han construido el concepto de presión y no analizan el fenómeno como un proceso, por lo que sus explicaciones son de tipo fenomenológico. La idea de fuerza como agente que causal es el elemento de explicación que varía de acuerdo al agente que consideran ser la causa de la fuerza, esto es el vacío o la presión. Las relaciones que los estudiantes establecen son parciales y su causalidad es directa, es decir, no pueden describir los fenómenos con conceptos no ligados a una categoría material y sus implicaciones son de primer orden y no de segundo, como correspondería a una función de funciones³.

De esta manera, estableciendo la comparación entre el desarrollo histórico y las nociones de los estudiantes, resulta que las formas de pensamiento que utilizan

³ De acuerdo con Piaget, la primera característica del pensamiento formal está definida por un pensamiento que va más allá del aquí y ahora, en donde lo real es un subconjunto de lo posible. Esto implica el carácter hipotético deductivo del pensamiento formal. Por su parte, la segunda característica del pensamiento formal es el proceso involucrado en las operaciones formales que

no pueden llegar a un nivel de mayor estructuración debido a que centran su atención en los aspectos descriptivos del fenómeno y en la interacción entre sustancias materiales que observan. Sin embargo, es posible señalar que el obstáculo epistemológico acerca de la existencia del vacío está superado, no así el caso de la constitución molecular de la materia.

Sugerencias para la planeación de la enseñanza del concepto de presión

Del análisis y comparación de ideas sobre el concepto de presión surge la posibilidad de construir una serie de propuestas para su enseñanza que deben considerar los puntos antes expuestos y que pueden resumirse como sigue:

- Los obstáculos epistemológicos detectados en el desarrollo de la historia coinciden con los que se observaron en el desarrollo de las ideas de los estudiantes. El desarrollo del concepto de presión tuvo que superar algunos obstáculos epistemológicos que son un indicativo de los obstáculos que los estudiantes seguramente deberán superar.
- En el desarrollo histórico se encuentra la construcción de modelos generales a diferencia de los construidos por los estudiantes, quienes desarrollan modelos ligados solamente a la fenomenología. Del análisis de las ideas históricas y de las ideas de los estudiantes es posible ver que los modelos aceptados en las distintas épocas por la ciencia son modelos generales que abarcan una amplia gama de fenómenos, mientras que los estudiantes construyen modelos que explican consistentemente un solo fenómeno.

se convierten en operaciones de segundo orden u operaciones de operaciones. Estas operaciones de segundo orden son las que posibilitan la construcción del pensamiento formal.

- El carácter explicativo de los modelos históricos se contrapone con el descriptivo de los modelos de los alumnos. Los modelos históricos llevan a las explicaciones causales de los fenómenos, recurriendo de manera parcial a las descripciones, mientras que la mayoría de los estudiantes busca las explicaciones descriptivas y no las causales.

Sobre los obstáculos epistemológicos

Se han detectado algunos aspectos que constituyen obstáculos epistemológicos en la construcción del concepto de presión. En este sentido se puede señalar que si bien para los estudiantes existe el vacío éste es un concepto ligado a la acción de una fuerza, de manera que la acción de un campo gravitacional provoca que los objetos cambien su comportamiento “natural”. Por ello habrá que ayudar a que su concepción de vacío cambie, reconociendo las condiciones de un espacio vacío y su relación con otras variables (presión, temperatura, etc..).

Otro obstáculo epistemológico se refiere a la falta de un modelo molecular de la estructura de la materia. Las explicaciones de los estudiantes siempre se sitúan en una visión macroscópica y continua de la materia. Considerar el peso del aire como una variable importante dentro de la explicación de fenómenos relacionados con la presión atmosférica resultó ser un elemento crucial dentro de la construcción del concepto de presión.

Sobre los modelos de los estudiantes

Los modelos utilizados por los estudiantes en la explicación de los fenómenos están vinculados con problemas específicos. Esto en realidad sucede debido al planteamiento de los problemas; sin embargo, los estudiantes no manejan modelos generales, explican cada fenómeno de manera diferente. Lo anterior lleva a continuas contradicciones que no son identificadas por lo alumnos, ya que para ellos el conjunto de explicaciones no forman parte del mismo modelo explicativo.

Sobre el tipo de las explicaciones

Los estudiantes basan la mayoría de sus explicaciones en las características fenomenológicas de los sucesos, las explicaciones están centradas en objetos o sustancias. Esto explica también que la ausencia de sustancia u objeto puede ser considerada como la causa del fenómeno. Por otro lado, las explicaciones están directamente relacionadas con el fenómeno y en cada caso se busca una sola causa aunque esta no siempre sea la misma, de tal manera que el estudiante generalmente no entra en las explicaciones de sistemas de varias variables.

Propuesta Didáctica

En la figura 5.1 se sitúan las ideas de los estudiantes dentro de un amplio rango que varía entre: a) los que piensan que el vacío es el agente causal que actúa sobre los objetos; b) aquellos que asignan esta función al aire sin que puedan hacer explícita la razón de ello y c) los que consideran que es la presión como una fuerza que actúa. Trabajando con una dinámica de discusión entre estos distintos puntos de vista de los alumnos, sería conveniente situarse

dentro de una serie de actividades que históricamente correspondieran a la época de Torricelli y Pascal y que permitieran confrontar los distintos niveles de ideas que presentan los estudiantes. Así, los estudiantes que utilizan la idea del vacío deberán explicar sus hipótesis y contrastarlas con las de los estudiantes que utilizan la idea de la presión del aire como explicación. También resultaría importante discutir con ellos acerca de las explicaciones que se basan en la diferencia de presiones; esto implica que los estudiantes deberán reconocer un sistema más complejo en equilibrio, en el que más de una variable del sistema puede ser identificado.

De todos los aspectos antes señalados se pueden destacar los siguientes como generadores de la propuesta:

1. Las explicaciones de los estudiantes corresponden a ciertos periodos de transformación conceptual que en la historia corresponden al proceso de construcción del concepto de presión.
2. El proceso de cambio conceptual que se observa en los cambios históricos sugieren el tipo de cambio conceptual que pueden realizar los estudiantes, o bien, los diferentes acercamientos que pueden llevarse a cabo para lograr dicho cambio.
3. Desde la perspectiva de la física clásica la construcción del concepto de presión requiere de otros conceptos como son densidad, volumen, peso, fuerza, y área.
4. Las primeras ideas alrededor del concepto de presión consistieron en la descripción de ciertos fenómenos, antes de que los conceptos fuesen en sí mismos objetos, de conocimiento sobre los cuales se construyeran otros

conceptos. En una primera aproximación los estudiantes responden a problemas fenomenológicos, lo que sugiere que la experimentación deba ser un punto importante en el desarrollo de los conceptos.

Debido a la serie de acciones que los estudiantes asignan al vacío, resulta apropiado iniciar con actividades en donde la presión del líquido sea la causa, ya que puede ser fácilmente observable. De esta manera podría pensarse en el agua como el agente causal y por analogía trasladarse hacia las acciones del aire al considerarlo como una sustancia similar al agua. Por ello se propone presentar dos series de actividades al final de las cuales se pueda generalizar el concepto de presión independiente del medio.

La propuesta didáctica que se propone se compone de tres distintas etapas de desarrollo:

- I. La construcción del concepto de presión en líquidos;
- II. La construcción del concepto de presión en gases;
- III. La interpretación de la presión como consecuencia del movimiento molecular de la materia.

Etapas I. Construcción del concepto de presión en líquidos.

La propuesta parte del problema fenomenológico. Por ello se sugiere iniciar con problemas que generen en el estudiante interrogantes que lo motiven a encontrar explicaciones a los fenómenos. Una sola experiencia no es suficiente, pero si un conjunto de experiencias que muestren la complejidad del concepto, en cuanto a las múltiples relaciones que se tiene con otros conceptos y las relaciones entre distintas variables. Lo anterior puede verse en el mapa de conceptos de la figura 5.2.

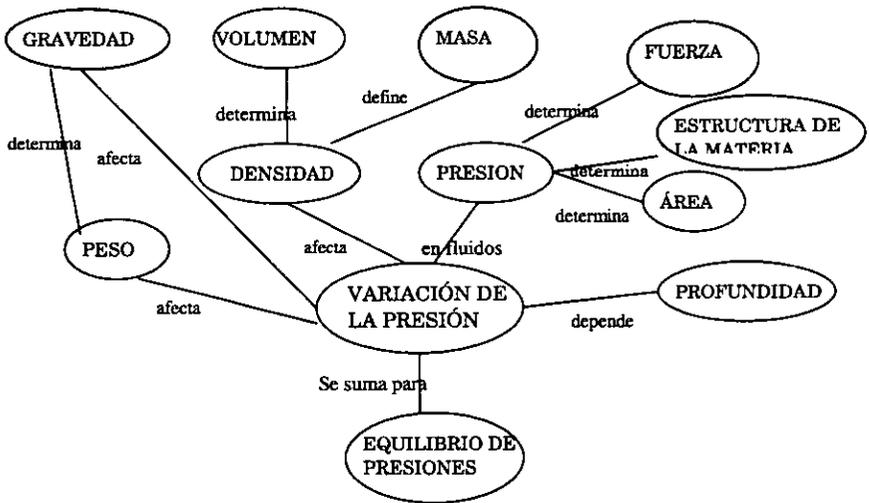


Figura 5.2 Mapa conceptual que muestra la diversidad de conceptos que intervienen en la construcción de los conceptos de presión y equilibrio de presiones.

En la figura 5.2 se muestra un mapa conceptual sobre los conceptos relacionados con el concepto de presión. Como puede observarse, la presión depende de los conceptos de área y fuerza directamente, así como de la concepción de la estructura de la materia que tenga el estudiante. Sin embargo, para construir la idea de variación de presión deberán construirse los conceptos de densidad, gravedad, masa, volumen y peso, así como determinarse la relación entre la profundidad y la variación de la presión. Esta variación de presión puede ser comprendida y calculada de acuerdo al equilibrio de presiones que se expresarán matemáticamente como una suma.

Justificación:

- El tratamiento se inicia con líquidos, ya que los elementos fenomenológicos son más fácilmente observables, lo que permite la discusión sobre el concepto de presión dirigido a la acción del agua
- El desarrollo histórico señala que el proceso de construcción del concepto de presión se presentó a través del análisis de la acción del agua.

Desarrollo:

1. Puede presentarse a los estudiantes una serie de experiencias en donde se buscará que hagan explícitas sus hipótesis sobre las causas que originan ciertos fenómenos. Ejemplos de estas actividades pueden consistir en explicar por qué: el líquido en una jeringa sube al mover el émbolo; no cae el agua de una pipeta o un popote, etc.. (todos estos son problemas similares a los que se planteaban en los inicios de la construcción del concepto de presión).
2. Un buen elemento de motivación puede ser una lectura sobre las explicaciones que los griegos daban a problemas similares, como son la clepsidra, las placas paralelas,
3. Conviene determinar cuáles son las variables que influyen dentro del fenómeno y qué conceptos habrá que señalar, así como indicar las relaciones que los unen.

Es pertinente iniciar con la discusión sobre la acción de la presión con sustancias como el agua, en donde para los estudiantes es clara la idea de que el agua tiene masa, peso, volumen, etc., son conceptos que ayudan a la caracterización del fenómeno.

Para ayudar a hacer explícito el conocimiento que se tiene sobre la presión y su equilibrio puede hacerse explícita la función de la acción de la presión externa, tomando como pretexto el ejemplo de la prensa hidráulica y sus posibles alteraciones. Los estudiantes se encuentran en distintos niveles de comprensión del fenómeno, lo que puede ayudar en la confrontación de ideas entre los alumnos y permitir la toma de conciencia de las variables y su importancia.

Cambio conceptual esperado:

- Construcción del concepto de presión en líquidos. El concepto establecerá la relación entre la fuerza ejercida y el área sobre la cual actúa.
- Construcción de conceptos directamente relacionados como son densidad, peso y área.

Etapa II. Construcción del concepto de presión en gases. (Transferencia por analogía de la acción del agua al aire)

Justificación:

- Apoyados en el desarrollo de experiencias en agua, se traslada el problema a ejemplos en los que la presión atmosférica está presente.
- El ejemplo histórico que puede ser utilizado es el barómetro.
- Se desarrollará la argumentación sobre el vacío y su acción en los fenómenos que se aborden.

Desarrollo:

1. Puede presentarse una serie de experiencias a los estudiantes en donde se busca que expliciten sus hipótesis sobre las causas que originan estos fenómenos. Ejemplos de estas actividades pueden ser: explicar por qué el dardo queda adherido a una pared, o un globo flota en el aire, etc.. (todos estos son problemas similares a los que se planteaban en los inicios de la construcción del concepto de presión).
2. Una lectura sobre el tubo de Torricelli o las experiencias diseñadas por Pascal puede ayudar a generar una discusión grupal en donde los estudiantes defiendan y contrasten las diferentes posiciones históricas.
3. Determinar cuáles son las variables que influyen dentro del fenómeno y qué conceptos están involucrados, así como cuales son sus interrelaciones.

En esta etapa es importante la presentación de actividades en las que el aire actúa y la presión producida se relaciona con la presión atmosférica. De esta manera se procurará hacer la transferencia al caso del aire los conceptos que se han discutido en el caso del agua, como son masa, peso, volumen, densidad, etc..

Esta transferencia es un paso diferente en el que se asigna a otro sistema físico una fenomenología específica antes descrita con respecto a un fluido como el agua en donde el modelo de la constitución de la materia de los estudiantes puede resultar más claro. Estos conceptos transferidos al aire ayudan a darle una constitución material al aire, a partir de la cual puede iniciarse la conceptualización de la constitución de la materia. Recuérdese que uno de los aspectos que ayudó en el desarrollo de la concepción de la estructura molecular de la materia fue la construcción de un modelo que explicara la constitución de la materia en los gases.

Cambio conceptual esperado:

- Generalización a gases del concepto de presión en líquidos.
- Construcción del modelo de la estructura molecular de la materia.

Actividad de síntesis de los puntos I y II.

Discusión general sobre los conceptos que explican los fenómenos analizados con presión del agua y presión atmosférica.

La estrategia general puede cerrarse al analizar los fenómenos que combinan la presencia de aire y agua y en donde se retomen los problemas a los que se enfrentaron históricamente los griegos, por ejemplo en fenómenos como la clepsidra y el sifón. Con estos elementos puede emprenderse la construcción de un barómetro, variar líquidos y por ejemplo analizar que pasa cuando Torricelli hizo su primer barómetro utilizando vino ¿qué tamaño de barómetro utilizó? ¿por qué?

La lectura del desarrollo del barómetro resultaría interesante para determinar la presión atmosférica, el tamaño de la columna, el peso del vino, etc., todos estos elementos pueden conducir al alumno a ir más allá de la descripción de un instrumento y tratar de construir con la ayuda de un texto histórico un instrumento como el barómetro. El siguiente punto a discutir puede centrarse en responder a preguntas tales como: ¿Qué líquidos pueden utilizarse además del vino? ¿Cuál sería el tamaño de la columna? ¿Qué ventajas presenta el uso del mercurio en vez del agua?

El punto final de la discusión deberá ser la posible presencia del vacío y la explicación del funcionamiento del barómetro. De esta forma se retoma uno de los obstáculos epistemológicos en el desarrollo del concepto que es la conceptualización del vacío, al que la mayoría de los estudiantes asignan la acción de jalar o empujar. Lograr el cambio en la concepción sobre el vacío resulta de gran importancia para el desarrollo de la siguiente fase que es la construcción del concepto de presión.

Etapa III. La presión como consecuencia del movimiento de las moléculas. (Punto que puede ser visto al finalizar el Bachillerato o al inicio de la Licenciatura).

Justificación:

- Generalización del concepto de presión en distintos estados de la materia.
- Análisis de la presión como una variable de estado termodinámico.
- Construcción del vacío como un elemento de constitución de la materia.

Desarrollo:

1. Definición del concepto de sistema físico.
2. Discusión sobre los distintos fenómenos que pueden explicarse a través del equilibrio de la presión interna y externa de un sistema físico.
3. Análisis del concepto de presión desde el punto de vista molecular. Inferencias sobre el comportamiento de un gas en condiciones específicas que llevan a la conclusión de que la presión es una variable termodinámica.
4. Lectura de los trabajos de Bernoulli sobre la definición del concepto de presión interna.

5. Generalización del concepto de presión y sus aplicaciones en la comprensión en la estructura interna de la materia.

Cambio conceptual esperado:

- Generalización del concepto de presión.
- Desarrollo de la visión molecular de la materia.

Consideraciones finales

¿Qué información brinda el desarrollo histórico de los conceptos en relación a las concepciones de los estudiantes?

Del análisis realizado sobre el desarrollo paralelo entre la construcción histórica de los conceptos físicos y el desarrollo de los estudiantes sobre esos conceptos, es posible concluir que:

- 1) La historia de la ciencia puede ser un elemento indicativo de los obstáculos epistemológicos que se pueden presentar en el desarrollo de los conceptos científicos en los estudiantes;
- 2) La historia de la ciencia permite plantear estrategias de aprendizaje que contemplen la superación de esos obstáculos epistemológicos;
- 3) Los estudiantes al egresar del Bachillerato pueden desarrollar el concepto de presión y por tanto los conceptos afines requeridos para su construcción.

Entre los conceptos necesarios se encuentran: densidad, peso, equilibrio de fuerzas como una suma vectorial, etc...

- 4) Sin lugar a dudas los estudiantes pueden alcanzar el nivel de comprensión del modelo de Pascal, mismo que resulta ser un punto importante de interpretación de muchos de los fenómenos físicos con los que se enfrentan diariamente.
- 5) Si los estudiantes no han construido un modelo molecular de la materia, no podrán incorporar el modelo microscópico a su concepto de presión y por ello, no podrán construir el concepto de presión interna ni integrarlo como una variable de estado.
- 6) Es importante señalar que el desarrollo del concepto de presión llevó aproximadamente 700 años de elaboración y fue necesaria la superación de diversos obstáculos epistemológicos. Los estudiantes no parten de las mismas premisas, ni bajo las mismas estructuras; sin embargo, requieren de estructurar los conceptos bajo la perspectiva de modelos abstractos que deben ser construidos con base en la superación de obstáculos similares a los que se presentaron históricamente.

En síntesis:

Un estudio detallado de la historia de la física puede apoyar el desarrollo de las concepciones en física, ya que ayuda a entender los obstáculos epistemológicos que los estudiantes tienen que superar, así como los problemas a los que se van a enfrentar.

Entender parte del desarrollo de la física permite establecer el marco general para el desarrollo de estrategias didácticas, ubicándolas de acuerdo a la complejidad del problema y los problemas conceptuales de los estudiantes.

El análisis de las ideas previas de los estudiantes permite reconocer las ideas y sus secuencias en función del desarrollo de la física, lo que establece el marco de referencia sobre el que será importante discutir, experimentar y construir conceptos que permitan a los estudiantes, la construcción de los elementos propios de la estructura de la física.

La integración en la enseñanza del análisis histórico con el de las ideas previas y las dificultades conceptuales de los alumnos, puede contribuir y propiciar un cambio de visión conceptual y metodológico en los estudiantes, de manera que les lleve a la reflexión sobre sus conocimientos, facilitando así, la reconstrucción de los conceptos que utilizan para explicar o resolver los problemas a los que se enfrentan.

Partiendo de lo señalado por Piaget en cuanto a la toma de conciencia⁴ sobre los conceptos empleados en descripciones y explicaciones, será posible conseguir que los conceptos y las formas de llegar a ellos, se constituyan en elementos de reflexión por parte de los estudiantes. En la medida en que por medio de esa toma de conciencia sus conceptos les resulten insatisfactorios, crearán lo

⁴ El concepto de toma de conciencia constituye dentro del modelo Piagetiano uno de los núcleos fundamentales para el cambio conceptual. "Así, la toma de conciencia resulta esencial para pasar de tener éxito (reussir) en un problema a comprender (comprendre) por qué se ha tenido éxito o se ha fracasado.El papel de la toma de conciencia en la conceptualización y el cambio conceptual estaría ligado a esta abstracción reflexiva que conduciría niveles de equilibrio y desequilibrio cada vez más complejos.....esos niveles irían del conflicto entre una predicción y un observable, en el nivel inferior, al conflicto producido por la integración de nuevos conceptos en la estructura de conocimientos." En Pozo I. (1989). Teorías cognitivas del aprendizaje. Ediciones Morata. Madrid. pp. 184.

aspectos cognoscitivos y estructurales que les permitirán avanzar en la construcción de su conocimiento sobre los conceptos científicos.

Finalmente es conveniente señalar, que el desarrollo de investigación en la enseñanza de la física, con elementos de análisis como los que se han señalado, ha permitido a la fecha, tener una mejor comprensión del problema al que nos enfrentamos docentes y alumnos en cuanto a la construcción de los conceptos en la ciencia. Sin embargo este trabajo de investigación que aún es incipiente (no tiene más de veinte años) empieza a conformarse como un ámbito interdisciplinario en donde la psicología cognoscitiva, la epistemología de la ciencia, la historia de la ciencia, la pedagogía y el conocimiento de la disciplina misma, deben reunirse con el propósito de atender las dificultades propias de la construcción del conocimiento científico en los alumnos y mostrar los posibles caminos tanto metodológicos como conceptuales para el desarrollo del pensamiento científico de nuestros alumnos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abimbola I. O. (1988). The problem of terminology in the study of student conceptions in science. *Science Education* 72, pp. 175-184.
- Aguirre J. M. (1988). Student preconceptions- about vector kinematic. *The physics teacher* 26, 4, pp. 212-216.
- Andrés M. M., (1990). Evaluación de un plan instruccional dirigido hacia la evolución de las concepciones de los estudiantes acerca de circuitos eléctricos. *Enseñanza de las Ciencias*, 8, 3, pp.231-237.
- Arnaudin M. y Mintzes J. J., (1978). The cardiovascular system: children's conceptions and misconceptions. *Science and Children* 23, pp. 48-51.
- Ausubel, D. P.; Novak, J. D.; Hanesian, H. (1978). Educational Psicology. A cognitive view. 2nd. Edition. New York. Holt, Rinehart y Winston. Trad. Cast. de M. Sandoval: Psicología educativa. México Trillas, 1983.
- Bachelard Gastón. (1982). *La formación del espíritu científico. Una contribución a un psicoanálisis del conocimiento objetivo*. 10^o Edición. Siglo XXI.
- Barral, F.M., (1990) ¿Cómo flotan los cuerpos? Concepciones de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias* 8, 3, pp. 244-250.
- Bauman R. P. y Adams S. (1990). Misunderstandings of electric current. *The Physics Teacher* 28, 5, pp. 334.
- Black D. y Solomon J. (1987) Can pupils use taught analogies of electric current? *School Science Review*, pp. 249-254.
- Brown, D. E., y Clement J., (1989). Overcoming misconceptions via analogical reasoning: Factors influencing understanding in a teaching experiment. Presentación en Annual Meeting of the American Educational Reasearch Ass. San Francisco Calif USA.
- Caramazza A., MacCloskey M. y Green B. (1980). Curvilinear motion in the absence of external forces: Naive beliefs about the motion of objects. *Science* 210, pp. 1139-1141.

- Caramazza A., Mc Closkey M. y Green B. (1981). Naive beliefs in "sophisticated" subjects: Misconceptions about trajectories of objects. *Cognition* 9, 2, pp. 117-123.
- Carey Susan (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA:MIT Press.
- Clement J. (1983). A conceptual model discussed by Galileo and used intuitively by physics students. En Gentner D., Stevens A. L. *Mental Models*. Hillsdale and London: Lawrence Erlbaum, pp. 325-339.
- Champagne A. B. , Klopfer L. E. y Anderson J. (1980). Factors influencing the learning of classical mechanics. *American Journal of Physics* 48, pp. 1074-1079.
- De Berg K. C., (1992). Student's thinking in relation to pressure-volume changes of a fixed amount of air: the semi-quantitative context. *International Journal of Science Educacion* 14, 3, pp. 295-303.
- Di Sessa, (1983). Phenomenology and the evolution of intuition. En Gentner D. y Stevens A. (eds) *Mental Models*. Lawrence Erlbaum Associates. Pub.
- Doran R. L. (1972). Misconceptions of selected science concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 9, pp. 127-137.
- Dow W. M., Aula J. y Wilson D., (1978). Pupils concepts of gases, liquids and solids. Dundee College of Education: Dundee.
- Driver R., (1994). Constructivist perspectives on learning science. En Lijnse, P. L.: *European Research in Science Education*. Proceedings of the first Ph. D. Summerschool Utrecht. CDS Press. Centrum Voor SS.Didactiek, pp.65-74.
- Driver R., Guesne, E., y Tiberghien A., (1985), *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press.
- Driver Rosalind y Erickson G. L., (1983) Theories in action: some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual frameworks in science. *Studies in Science Education* 10, pp. 37-60.
- Driver, R. (1988). Theory into practice 2: A constructivist approach to curriculum development. En Fensham, P. ed.: *Development and dilemmas in science education*. London, New York Philadelphia: The Falmer Press, pp. 133-149;

- Einstein A. e Infeld, (1965). *La Física, aventura del pensamiento*. Losada. pp.34.
- Engel Clough E. y Driver R. (1986). A study of consistency in the use of student's conceptual framework across different task contexts. *Science Education* 70, 4, pp. 473-496.
- Enzo Levi (1989). *El agua según la ciencia*. Editado por, CoNaCyT y Ediciones Castell Mexicana.
- Erickson G. L. (1979). Children's conception of heat and temperature. *Science Education* 63, 2, pp. 221-230.
- Erickson G. L. (1980). Children's viewpoints of heat: A second look. *Science Education* 64, pp. 323-336.
- Erickson, G. L. y Tiberghien A. (1985) Heat and temperature. En Driver R., Guesne, E. y Tiberghien A., *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press.
- Fishbein E., Stavy R., y Ma-Naim H., (1989). The psychological structure of naive impetus conceptions. *International Journal of Science Education* 11, 1, pp. 71-81.
- Flores F. y Gallegos L. (1998). Partial Possible Models: An Approach to Interpret Students' Physical Representation. *Science Education*. 82, pp.15-29.
- Furió M., (1986) Metodologías utilizadas en la detección de dificultades y esquemas conceptuales en la enseñanza de la química. *Enseñanza de las ciencias* 4, 73-77.
- Galili, I., (1996). Student's conceptual change in geometrical optics. *International Journal in Science Education*, 18, 7, pp. 847-868.
- Gallegos L., Flores F., Covarrubias H., Vega E. y García B., (1994). Ideas Alternativas sobre los conceptos de flotación y presión. Manuscrito. Centro de Instrumentos UNAM.
- Gilbert J. K. Y Swift D. J. (1985). Towards a Lakatosian analysis of the Piagetian and alternative conceptions research programs. *Science Education* 69, pp. 681-696.

- Gilbert, Osborne y Fensham, (1982) Children's science and its consequences for teaching. *Science Education* 66, 4, pp. 623-633.
- Goldberg F. M. y McDermott, L. (1986). Student difficulties in understanding image formation by a plane mirror. *The physics Teacher*, November, 1986.
- Grant, E. (1981). *Much Ado About Nothing*. Cambridge University Press.
- Guesne E., (1985) Light. En Driver R., Guesne E. y Tiberghien A., *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press, pp. 10-33.
- Gunstone R. F. y Watts M., (1985) en Force and motion en Driver R., Guesne, E., Tiberghien, A.: *Children's ideas in science*. Milton Keynes; Open University Press.
- Gunstone R. F. y White R. T. (1981). Understanding of gravity. *Science Education* 65, pp. 291-299.
- Gunstone R. F., (1988). Learners in science education. En Fensham, P.: *Development and dilemmas in science education*. London, N. Y. Philadelphia. Pozo Loc. cit. pp. 3
- Hewson M. G. y Hamlyn D., (1984). The influence of intellectual environment on conceptions of heat. *European Journal of Science Education* 6, pp. 254-262.
- Karmiloff-Smith A. e Inhelder B., (1976) If you want to get ahead, get a theory. *Cognition* 3, 3, pp. 195-212.
- Khun T. S., (1962). *La estructura de las revoluciones científicas* Fondo de Cultura Económica. México.
- Koyré A. (1977). *Estudios de Historia del Pensamiento Científico*. Siglo XXI. México.
- López Rupérez (1990). Epistemología y Didáctica de las Ciencias. Un análisis de segundo orden. *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (1), pp. 65-74.
- Maloney D. P., (1985). Rule-governed approaches to physics: Conservation of mechanical energy. *Journal of Research in Science Teaching* 22, 3, pp. 261-278.

- Matthews Michael R. (1991). *History, Philosophy, and Science Teaching*. OISE Press Teachers College Press. Toronto & New York.
- McCloskey M. (1983). Naive theories of motion. En Gentner D. y Stevens A. (Eds.) *Mental Models*. pp. 325-340. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Millar, R., (1989). Constructive criticisms. *International Journal of Science Education* 11, pp. 587-596.
- Nersessian N. (1991). Conceptual Change in Science and in Science Education. En Matthews M. (ed.) *History, Philosophy, and Science Teaching*. OISE Press. New York.
- Nersessian N. (1991). The cognitive sciences and the history of science. Critical problems and research frontiers in history of science and history of technology pp. 92-115. Conference proceedings, Madison WI. Mencionado en Dusch A. (1994). Research on the History and Philosophy of Science en Gabel ed. *Handbook of Research in Science Teaching*. Mac Millan Pub. New York.
- Novick S. y Nussbaum J. (1978). Junior High School pupils' understanding of the particulate nature of matter: An interview study. *Science Education* 62, pp. 273-281.
- Novick S. y Nussbaum J. (1981). Pupils' understanding of the particulate nature of matter. A cross-age study. *Science Education* 65, pp. 187-196.
- Osborne R. y Freyberg P., (1985). Roles for the science teacher. En Osborne R. y Freyberg P., *Learning in science. The implications of children's science*. Auckland: Heinemann, pp. 91-99.
- Pascal Blaise (1988). *Tratados de Pneumática*. Alianza Editorial SEP.
- Perales P. J., Nieves C. F. y Cervantes A. (1989). Misconceptions on geometric optics and their association with relevant educational variables. *International Journal of Science Education* 11, 3, pp. 273-286.
- Pessoa de Carvalho Anna Ma.(1989). *Física. Proposta para um ensino construtivista*. Editorial Pedagógica Universitaria. Sao Paulo Brasil.
- Pfundt H. y Duit R., (1994). Bibliography students' alternative frameworks and science education, IPN:University Kiel.
- Piaget J. (1981). *La toma de conciencia*. Editorial Morata Madrid.

- Piaget J. Y García R. (1982). *Psicogénesis e historia de la ciencia*. Editorial Siglo XXI, México.
- Pozo I. (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Ediciones Morata. Madrid.
- Pozo J. I. y Carretero M., (1987). Del pensamiento formal a las concepciones espontáneas ¿Qué cambia la enseñanza de la ciencia? *Infancia y aprendizaje* 38, pp. 35-52.
- Pozo J. I., Gómez Crespo M. A. Limón M., Sanz Serrano A., (1991). *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: las ideas de los adolescentes sobre la química* C.I.D.E., Madrid España.
- Ranney y Thagard (1988) Explanatory coherence and belief revision in naive physics (Cognitive Science Laboratory Report 31) Princeton NJ: Princeton University. Mencionado en Dusch A. (1994). Research on the History and Philosophy of Science en Gabel ed. Handbook of Research in Science Teaching. Mac Millan Pub. New York.
- Rollnick M., y Rutherford M., (1990). African primary school teachers- What ideas do they hold on air and air pressure? *International Journal on Science Education* 12, 1, pp. 101-113.
- Rollnick M., y Rutherford M., (1993). The use of conceptual change model and mixed language strategy for remediating misconceptions on air pressure. *International Journal on Science Education* 15, 4, pp. 362-381.
- Rosch E. (1978). Principles of categorization. En: E. Rosh y B. J. Lloyd (eds). *Cognition and categorization*. Hillsdale N. J. Erlbaum.
- Serè M. G. (1985). *El estado gaseoso en ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata.
- Shayer M. y Wylam H. (1981). The development of the concepts of heat and temperature in 10-13 years old. *Journal of Research in Science Teaching*, 18, pp. 419-434.
- Shipstone D. M., (1985). *On children's use of conceptual models in reasoning about current electricity*. Kiel: Schmidt & Klauning, pp. 73-82.
- Torricelli, en Vol II, 187-188. Cit. por Enzo Levi. Enzo Levi (1989). *El agua según la ciencia*. Editado por, CoNaCyT y Ediciones Castell Mexicana.

- Towbridge D. E., y McDermott L. (1981). Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension. *American Journal of Physics* 49, pp. 242-253.
- Truesdell C. (1975). *Ensayos de Historia de la Mecánica*. Editorial Tecnos Madrid. pp. 199.
- Vázquez A. A. (1990) En Concepciones alternativas en física y química de bachillerato: Una metodología diagnóstica. *Enseñanza de las Ciencias* 8 (3), pp. 251-158.
- Wandersee J. H., Mintzes J. J. Y Novak J. D (1994). Research on Alternative Conceptions in Science. En Gabel D. L. (ed.) *Research Handbook of research on science teaching and learning*. Macmillan Pub. N. Y.
- Watts M., (1982). Gravity -Don't take it for granted! *Physics Education* 17, pp. 116-121.
- Weissman Jesse. A brief history of clocks: from Thales to Ptolemy. Home page <http://www.perseus.tufts.edu/GreekScience/Students/Jesse/CLOKS1A.html>.