

CAPÍTULO 2

ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS Y RECONTEXTUALIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO

LA ENSEÑANZA TRADICIONAL DE LAS CIENCIAS

Enseñar ciencias hoy en día es un reto para los docentes. Hasta hace un tiempo se asumía que la función del docente era transmitir los conocimientos científicos como lo sugiere la psicología conductista, estímulo-respuesta, el docente brindaba información como paquetes que el estudiante debía memorizar y mecanizar para luego repetir y así interiorizar. Para enseñar un concepto el docente explicaba su definición y la expresión matemática asociada, seguido de algunos ejemplos ilustrativos y la resolución de ejercicios, si acaso un experimento demostrativo para justificar el tema, en adelante el estudiante debía repasar las definiciones, aprenderse las fórmulas matemáticas y resolver los ejercicios del libro de texto, posteriormente una evaluación que indicara que efectivamente el estudiante había aprendido. Las prácticas de laboratorio eran espacios para repetir los experimentos del libro texto, cuando se contaba con los instrumentos para ello, siguiendo un orden como quien prepara una receta de cocina, al final el resultado no debía fallar, y si fallaba entonces era porque hubo un error en su realización, por lo tanto había que hacerlo de nuevo o inventar la excusa que justificara la dificultad. Algunas variaciones a esta presentación: que el estudiante realice exposiciones, presente trabajos y talleres escritos, realice trabajos en grupo y presente evaluaciones orales.

Esta manera de enseñar ciencias, conocida como conductivista fue el referente para los docentes durante muchos años. Sin embargo el sinnúmero de investigaciones realizadas desde la década de los 80 han puesto de relieve las dificultades que conlleva esta forma de enseñanza; estudiantes que después de pasar por cursos de física fueron interrogados sobre cuestiones fundamentales de los conceptos aprendidos no sabían qué contestar, tampoco se apreciaba comprensión en la explicación de fenómenos asociados, se registraban errores conceptuales, la actitud era pasiva y poco crítica, aspectos que denotaban que la ciencia no resultaba ser significativa para el estudiante, contribuyendo así a que este asumiera la ciencia como una serie de verdades absolutas e incontrovertibles que requieren ser aprendidas y usadas, como un asunto abstracto, ininteligible y carente de significado para su vida. Las investigaciones en este campo ponen en evidencia que “este enfoque tradicional está tan remoto del mundo en que viven los estudiantes que éstos deciden que la mayor parte del asunto es bastante irrelevante” (Driver 1994).

ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS DESDE LA PERSPECTIVA SOCIOCULTURAL

Reconocer entonces que la ciencia es una actividad cultural ha permitido a grupos de investigadores construir propuestas alternas para la enseñanza de las ciencias donde se destaca que el conocimiento en el aula es también una construcción social. Si la ciencia es una actividad cultural porque responde a necesidades, intereses, problemas sociales, políticos, económicos e ideológicos, entonces su enseñanza debe darse teniendo en cuenta estos aspectos y no por fuera de ellos. Esta tendencia pedagógica es conocida como perspectiva sociocultural.

Si la ciencia responde a formas de ver y explicar el mundo de maneras diferentes, entonces no hay razón para que se enseñe como una única forma universal y verdadera, debe enseñarse reconociendo que los conceptos responden a contextos de producción, validación y legitimización, tanto en cada época como en cada región geográfica. En este sentido el método en la ciencia está determinado por las dinámicas culturales y por las necesidades e intereses sociales, por lo tanto no hay razón para enseñar un “método científico” como el único y verdadero, es necesario enseñar a construir formas de ver y explicar los fenómenos de acuerdo con las diferentes métodos utilizados históricamente.

Las investigaciones actuales reconocen la importancia del estudio de la actividad científica como comunidades organizadas en contextos sociales, más que el resultado del conocimiento como producto mismo, esto es, leyes y teorías, entonces su enseñanza no se debe circunscribir solamente a enseñar “la ciencia como producto”, sin tener en cuenta la actividad del científico en torno a sus problemáticas y necesidades personales y sociales y los contextos de producción y validación.

Las investigaciones en enseñanza de las ciencias se han preocupado por tener en cuenta los aspectos anteriores en las nuevas propuestas. Algunas se han centrado en el papel del estudiante, cómo aprende y cómo construye conocimiento; otras en las concepciones y creencias del docente, cual es la concepción de ciencia que posee y cómo se ve reflejada en su ejercicio docente; otras sobre la relación docente-estudiante, esto es el papel del diálogo y la comunicación interpersonal; otras en el contexto docente-estudiante-sociedad (Izquierdo 2002) esto es, el conocimiento como construcción social.

En estas tendencias se reconoce que el estudiante posee formas explicativas de la realidad que deben ser tenidas en cuenta en la apropiación de nuevos conocimientos, el conocimiento no es una copia de la realidad sino una construcción de ella (Ayala M. 1993). Se reconoce que el docente no es un mero transmisor de información sino un agente social que reflexiona sobre su propia práctica para transformar los procesos de enseñanza. Se reconoce que el contexto social determina las necesidades e intereses de docentes y estudiantes en los procesos de enseñanza-aprendizaje (García E. 1999).

El recurso de las fuentes originales

Los investigadores en enseñanza de las ciencias, que pretendan hacer uso de la HC desde las perspectiva sociocultural deben considerar entre otros aspectos el recurso de los documentos originales. Ello permite encontrar nuevos sentidos en torno a las ideas, preocupaciones y problemas que tenían los científicos en sus contextos y épocas, sentidos que tal vez no son considerados por los propios historiadores pero que se convierten en una fuente de ideas y aportes para la intención pedagógica. Los escritos originales permiten un diálogo intercultural con sus autores, donde estas problemáticas hacen parte de su pensamiento.

El retorno a las fuentes puede ayudar a entender, en primer lugar, que los conceptos que finalmente fueron decantados en el paradigma y que son presentados de manera acabada y precisa en los libros de texto tuvieron una génesis y un proceso de desarrollo. Conocer este proceso permite enriquecer el concepto, flexibilizándolo y sugiriendo nuevos significados y relaciones. Permite reconocer, con mayor facilidad, que el significado del concepto nunca se agota y que toda decantación es por eso provisional.

En segundo lugar, los textos originales, considerados dentro del contexto cultural y científico en el que fueron producidos, permiten entender los problemas que originalmente motivaron la elaboración de un conocimiento particular.

Pueden permitir, además, un acercamiento al proceso que hizo surgir lo nuevo a partir de la situación problemática y, en ocasiones, de las contradicciones y del debate agudo entre posiciones contrapuestas. Por ejemplo, el concepto de “vacío” era un problema teológico en la época de Aristóteles, lo mismo las concepciones plenistas de la Edad Media y las consideraciones energéticas del siglo XVIII, la mecánica newtoniana tuvo su origen en la cultura whig, la física cuántica fue cultivada en Alemania como reacción al determinismo teleológico y las concepciones modernas de caos y complejidad responden a un nuevo sistema de orden mundial.

En tercer lugar, el recurso a la historia de las ciencias y a los textos originales es con frecuencia la única manera de responder adecuadamente a preguntas que se suelen hacer los estudiantes sobre el origen y la fundamentación de principios básicos de la física.

Finalmente, el recurso a los textos originales permite entender, por comparación, los procesos de recontextualización que se operan en los libros de texto. Es decir, resulta posible tomar conciencia de los cambios en el significado de los conceptos y en su articulación respectiva, de las transformaciones en la formulación de los problemas, en el lenguaje, en las formas de argumentación y en los criterios de coherencia y de rigor²⁵.

La construcción de explicaciones

En la propuesta que se presenta se pretende generar condiciones que favorezcan una nueva relación frente al conocimiento, en la que sea posible organizar y ampliar la experiencia y en esa medida establecer una relación de diálogo con los aportes de otros pensadores y con la información que circula en nuestro medio. Dentro del enfoque que nos orienta se aborda el conocimiento como una construcción de sentidos, significados y de explicaciones, en la que se pone de presente la imagen de ciencia como actividad cultural. Ello implica, según nuestra perspectiva, elaborar formas de organización de acuerdo a las preocupaciones individuales en torno a los fenómenos abordados. Dichas formas de organización son dinámicas y se transforman en la medida que se amplían las explicaciones. En este enfoque el compromiso no es con las teorías o modelos de explicación establecidos; en este sentido se hace posible tomar distancia frente a los modelos explicativos y entrar a analizar la experiencia misma. Tener este distanciamiento frente a las formas explicativas usuales permite establecer que las verdades no son reveladas por la autoridad del modelo, sino que ellas se construyen en la medida que podemos validar nuestras formas de organización y socializarla en el contexto cultural en el que nos movemos.

²⁵ García, E. op cit pag 58.

En la presentación usual esta dinámica no es posible ya que la organización viene dada por el modelo explicativo y la actividad cognitiva se reduce, en el mejor de los casos, a explicar situaciones desde el modelo y por lo tanto no genera inquietudes frente a la experiencia como tal. En esta nueva relación con el conocimiento la manera de abordar los libros de texto cambia, lo mismo la información que se tiene en general. Se analiza de los libros aquello que aporta elementos en la organización del fenómeno; no todo lo que dicen los libros se asume como válido o relevante. Los textos son sometidos a un análisis histórico-crítico en un contexto muy particular, donde se posibilita un diálogo con el autor (Ayala 2005). Al asumir una posición crítica y reflexiva, los criterios de verdad no son impuestos, sino producto de la constante reflexión y generación de significados acordes con la manera de organizar el mundo. Tal actividad, a la vez que le permite a la persona construir una imagen del mundo y de sí mismo, le exige su confrontación continua en los diferentes espacios posibles con las organizaciones elaboradas por otros grupos e individuos, buscando estructurar y validar su pensamiento en el contexto cultural donde se desenvuelve.

Los seminarios son espacios de diálogo donde en torno a una situación problemática fundamental derivada de la HC se construyen y validan explicaciones. Las problemáticas propuestas por el docente sugieren experiencias y experimentos que se deben estudiar y que a su vez generan nuevas problemática que sugieren a su vez nuevos experimentos y argumentos y así sucesivamente, convirtiéndose la construcción de explicaciones en una forma de construcción de conocimiento y los diálogos y debates en las formas de socialización. La sustentación en espacios públicos más amplios como congresos y coloquios impulsa la legitimidad del conocimiento y su divulgación.

El papel de la experiencia y el experimento

Desde que se configuró con Galileo la llamada ciencia experimental, esta ha generado múltiples reflexiones por parte de la filosofía de las ciencias y de otras disciplinas en torno al papel del experimento en la actividad científica. Para algunas corrientes como el positivismo el experimento es demostrativo, permite falsear teorías o también resultan ser cruciales para dirimir entre teorías enfrentadas, mientras que para otras corrientes como el relativismo científico, el experimento responde a elaboraciones teóricas no para contrastarlas sino para enriquecerlas y dimensionarlas. Pero sea cual sea la corriente filosófica comparto con Artigas que “no existe un control experimental que sea totalmente independiente de interpretaciones teóricas”²⁶ en este sentido el experimento cumple una función esencial en la construcción del conocimiento.

²⁶ Artigas, M. op cit. Pag 43-55.

La experimentación supone observaciones y experiencias, la observación sería imposible sin la percepción de señales sensibles. La experimentación es una actividad que supone la intervención activa en los procesos naturales con el objeto de obtener respuestas a las preguntas formuladas hipotéticamente, de acuerdo con un plan establecido. De otra parte, la experiencia es asumida de una forma diferente a la usual²⁷. El término experiencia se utiliza en sentidos diversos, uno de ellos es que designa los sucesos que tienen un impacto vital sobre los individuos concretos, esto es, enriquecen sus conocimientos de un modo personal y se refiere al impacto que el conocimiento recibe de los hechos. Los hechos son construidos y organizados. En la organización de los fenómenos físicos la experiencia no está dada, hay que construirla. Construir experiencia es llenar de sentido una actividad en la que la práctica es un medio de constante reflexión sobre el fenómeno abordado. En este sentido construir experiencia que sea sensible a partir de las preocupaciones individuales resulta significativo. En la propuesta que se hace en este libro la experiencia sobre los fenómenos neumáticos e hidrostáticos no está dada, es necesario a partir de las preguntas e indagaciones históricas que se empieza a construir, y en la misma medida sugiere nuevas preguntas y por lo tanto nuevas experiencias que hacen que la imagen del fenómeno se amplíe cada vez más.

En síntesis, con este libro se espera, en particular, contribuir a promover la imagen de ciencia como una actividad con un carácter eminentemente cultural e histórico; donde las obras de los científicos, teorías, conceptos, procedimientos, en fin, los productos de la actividad científica se conviertan en un referente que adquiera significación en la medida en que logremos con intenciones y sentidos propios aproximarnos a él, para que en ese proceso de diálogo, así posible, podamos elaborar nuevos sentidos y significados y de esta manera avanzar en nuestra organización y ampliación de nuestra experiencia y en la elaboración de criterios de acción.

Recontextualización del conocimiento científico

En la década de los 80 se divulgó en el medio académico la obra del sociólogo Basil Bernstein quien consideraba que las dinámicas sociales están sujetas a constantes procesos de recontextualización, esto es: “situar, insertar un conocimiento de manera significativa en un nuevo contexto, diferente de aquel en el que se originó”²⁸.

²⁷ El papel que usualmente se ha asignado a la experiencia es demostrativo. Se parte de algunos referentes conceptuales y luego se contrastan con la experiencia. En este sentido la experiencia misma es incuestionable, pues ella es artificioosamente ajustada para arrojar los resultados esperados.

²⁸ BERNSTEIN, B., “La construcción social del discurso pedagógico” ed. Griot, Cap 4 “Sobre el discurso pedagógico”. Citado en :Granés José, et al “la educación como recontextualización” Rev. Momento, Dpto de Física Universidad Nacional de Colombia, No 14-15, dic 1997.

Siguiendo las tesis de Spengler y Fleck, Berstein asumía que cada sociedad produce conocimiento que tiene validez y significado en su propio contexto cultural, fuera del contexto el conocimiento pierde su sentido y originalidad. Lo que hacen las sociedades para comunicarse y transmitir conocimiento es a través del proceso de recontextualización.

Para las investigaciones actuales en didáctica de las ciencias este ha sido un concepto que ha posibilitado la apertura a nuevas formas de abordar la enseñanza y de tener en cuenta las problemáticas y necesidades inherentes a los conceptos de la ciencia.

Las versiones del conocimiento científico que aparecen en los textos de enseñanza son recontextualizaciones de los saberes originales (Granés 1998); y si seguimos a Kuhn, se podría afirmar que un libro de texto que presenta en la forma más articulada y coherente posible un determinado paradigma científico, tal como es aceptado por la comunidad científica de la época es ya en sí mismo un ejercicio de recontextualización²⁹. De esta manera la neumática que se conoce en los medios escolares a través de los textos son recontextualizaciones de las elaboraciones de los pensadores que aportaron a la constitución de este campo de la física.

Sin bien la enseñanza de la física puede ser considerada como una actividad de recontextualización del conocimiento, se pueden establecer diferentes formas de asumir esta actividad.

- a) Quienes defienden la transmisión de contenidos consideran que la recontextualización es una actividad ilegítima, que es necesario en la medida de lo posible evitarla. Se asume la enseñanza como la transmisión del conocimiento del contexto de las comunidades científicas al contexto del estudiante en la cual se torna imperativo reproducir lo más fielmente posible ese conocimiento.
- b) Otros autores y maestros asumen la recontextualización como la modificación o transformación inevitable que deben sufrir los conocimientos desde las comunidades científicas que lo producen hasta los nuevos contextos culturales que lo apropian; modificaciones sufridas de acuerdo a las necesidades de la comunidad particular. Se parte así, de un conocimiento establecido por las comunidades científicas, el cual es apropiado por una determinada comunidad cultural, de acuerdo a las necesidades y problemas que ella tenga. En este sentido el conocimiento sufre una transformación para poder ser apropiado. Se diferencia de la anterior perspectiva en cuanto se asume como punto de partida que la transformación de los contenidos –que expresan el conocimiento validado

²⁹ Tomado de: GRANES, J. et al “La educación como recontextualización” Rev. Momento, Dpto. de Física Universidad Nacional de Colombia, No 14-15, dic 1997.

por la comunidad científica– es inevitable y ello legitima en cierto sentido la elaboración de nuevas versiones e interpretación. J. Granés reivindicando esta perspectiva afirma:

“ la primera perspectiva tiende a devaluar los procesos de recontextualización y a considerar la enseñanza como una suerte de simulación que remeda las prácticas reales de la investigación. La segunda perspectiva enfatiza la creación de nuevos significados y de nuevas relaciones en los procesos de recontextualización que podrían constituir incluso aportes cognitivos”.

Desde esta mirada de la recontextualización el maestro es considerado como un mediador entre dos culturas diferentes, la cultura científica, de la cual extrae el conocimiento y la cultura donde se desenvuelve, en la que apropia el conocimiento. El maestro se convierte en “anfibio cultural” (Mockus 1993) que se mueve por entre todos estos medios culturales, circulando el conocimiento.

- c) Es posible distinguir una tercera perspectiva para la que no es posible separar el conocimiento de quienes lo elaboran y le dan significado, es la convicción que funda y diferencia esta perspectiva de las dos anteriores. Es decir, no hay propiamente, un ‘producto’ para ser recontextualizado que sea susceptible de ser separado de la actividad de producción de significados y que pueda llamarse ‘conocimiento’. Se asume, pues, la recontextualización como una actividad que genera las condiciones para que estudiantes y maestros se involucren en la actividad de organizar los fenómenos; y es precisamente en esa actividad que paralelamente se conforman problemas, se configuran fenómenos y se construyen los aportes de quienes han contribuido a la formación de tradiciones en el conocimiento. Es claro que esta perspectiva según Ayala:

“no supone o implica una actividad solipsista; implica eso sí una nueva relación con el conocimiento, con los “productos científicos” y los planteamientos de los científicos con la información en general, en la medida en que posibilita establecer un diálogo con los autores analizados con miras a avanzar en la elaboración de una estructuración particular de toda la clase de fenómenos abordados”³⁰.

Así desde este enfoque, la construcción de significados en torno a las obras de los científicos se daría en relación con las preguntas y problemas que la persona se plantee sobre los fenómenos a los que estos corresponden.

³⁰ Ayala M M. “Análisis histórico crítico y la recontextualización de saberes científicos” Preimpresos. Universidad Pedagógica Nacional. 2005.

SOBRE EL ESTUDIO DE LA MECÁNICA DE FLUIDOS

Si la ciencia es asumida como una actividad cultural cambiante y sujeta a las necesidades particulares de una comunidad, entonces la relación con la historia está también sujeta a dichas necesidades. En este sentido se analiza la historia a partir de una necesidad particular y con unas intenciones definidas. Una manera de abordar la historia en la enseñanza de las ciencias sustentada en los criterios anteriores es la que se presenta en este libro para el caso de la neumática e hidrostática. A partir de la necesidad de dar sentido y organizar las experiencia sensible en torno a lo atmosférico, se hace un análisis histórico-crítico de los escritos originales de los científicos cuyo aporte ha sido significativo en la organización y evolución del fenómeno. Dicho análisis sólo es posible desde las necesidades de conocimiento que lo orientan, por lo tanto las problemáticas estudiadas son restringidas a dicha necesidad, de tal manera que en la interpretación que se hace de la problemática se pueda hacer un ejercicio de recontextualización al plano de preocupaciones que la determinaron.

El trabajo con Torricelli, Pascal, Boyle... son una muestra clara del tipo de relación que se asume con la historia y lo que se analiza en los escritos originales. Los historiadores y quienes divulgan el conocimiento científico por ejemplo, se refieren a Pascal como la persona que aportó a la filosofía y matemática, pero poco han escrito sobre la importancia que para Pascal tuvo considerar el comportamiento del aire como un líquido y asimilarlo a la ley de equilibrio de los líquidos.

Dificultades en torno a la enseñanza de la mecánica de fluidos

Las investigaciones en torno a la enseñanza y aprendizaje sobre el comportamiento del aire y los fluidos en equilibrio ha sido frecuente. Sin embargo la forma de enfocar el problema ha sido diferente. A continuación presentaré algunas de ellas para destacar posteriormente la importancia de la propuesta que se presenta en este libro.

Caso 1: Mazurano et al investigaron en torno a las dificultades conceptuales y procedimentales en temas relacionados con la presión y los fluidos en equilibrio (Mazurano 2005); en sus informes identifican las dificultades más frecuentes que presentan los alumnos al estudiar el concepto de presión y su aplicación al estudio de los fluidos en equilibrio, la importancia de algunas habilidades procedimentales involucradas en experiencias sencillas. Entre las dificultades encontradas consideraron las siguientes:

1. Grafican la fuerza con sentido contrario al de la fuerza aplicada cuando se les pide que expliquen qué sucedería al tratar de cortar la papa con la hoja del cuchillo. Tampoco muestran un manejo adecuado y simultáneo de las variables *fuerza y superficie*.
2. Consideran que la presión disminuye con la profundidad cuando se les pregunta que ocurre cuando se introduce un tubo, con una lámina de cartón, en un recipiente con agua.
3. Relacionan en forma incorrecta fuerza y presión cuando en la misma experiencia se pregunta qué ocurre si se cambia el tubo por otro de mayor diámetro.
4. Tienen dificultades para relacionar y controlar variables y hay una indiferenciación de los conceptos (fuerza y presión, fuerza y velocidad, peso y empuje).
5. Consideran la fuerza de empuje y las condiciones de flotabilidad sólo en relación con el peso del cuerpo cuando se les pide que con un trozo de plastilina realicen varios objetos y los coloquen sobre agua para ver si flotan.

La preocupación de los investigadores para superar las dificultades observadas estaba orientada por la organización de una guía de actividades que parten de: primero, hacer las experiencias, segunda, buscar información (definiciones) y bibliografía sobre los temas presentados, tercero, aplicar los conceptos encontrados en la bibliografía a nuevas situaciones, por ejemplo, por qué pinchan los objetos puntiagudos? Por qué te hundes menos en la nieve si usas esquíes?

Esta forma de presentar las actividades permite evidenciar que por un lado están las actividades de exploración de las ideas de los estudiantes y por otro el aprendizaje de los conceptos a partir de las definiciones, pero no se evidencia aprendizaje con relación a la aplicación de las definiciones en la solución de nuevos problemas propuestos.

Caso 2: R. Driver presenta estudios realizados sobre el comportamiento del aire con estudiantes de distintas edades. En su estudio se encontraron las siguientes dificultades:³¹.

1. Algunos estudiantes estaban menos seguros de que hubiera aire dentro de un recipiente herméticamente cerrado
2. Algunos niños sólo asociaban la existencia del aire con la sensación que experimentaban cuando se movían
3. Algunos niños pequeños consideraban que el aire y el humo existen sólo de forma transitoria, algo similar a los pensamientos que son transitorios.

³¹ Driver, R. et al “Dando sentido a la enseñanza en la secundaria” capítulo 13. ediciones VisorDis, S. A. Madrid. 1999.

4. Algunos niños parecía que no diferenciaban el peso y el volumen y utilizaban el tamaño aparente de un recipiente de aire como indicador de su peso.
5. Algunos niños consideran que el aire tiene peso negativo o no tiene peso.
6. Algunos niños consideran que el aire y la gravedad son inseparables; que en el espacio las cosas no caen porque no hay atmósfera y, en ausencia de aire el peso se hace cero.
7. Algunos alumnos pensaban que sólo el viento tenía presión, y el aire no.
8. Algunos alumnos estaban menos inclinados a pensar que la presión actuara en todas las direcciones, se inclinaban a pensar en una mayor presión hacia abajo.
9. Las explicaciones de los alumnos sobre los cambios que se observan con los pitillos (pajillas) y las jeringas se debe a que el aire o un vacío “chupan”
10. Los escolares tienden a asociar la presión en los gases con aire en movimiento, suponiendo que la presión actúa en la dirección del movimiento
11. La mayoría de los estudiantes consideraban que las fuerzas en el aire sólo actúan cuando una fuerza externa produce movimiento y en ese caso, sólo en la dirección del movimiento. Por lo tanto en condiciones de equilibrio (cuando no se percibe movimiento) los estudiantes decían que el aire no estaba “haciendo nada”
12. Cuando se les pedía que interpretaran situaciones que implicaban presión atmosférica, tendían a dar explicaciones en términos de que un vacío chupaba o empujaba, o una idea de que los espacios tienden a llenarse (es decir, que es difícil mantener un vacío en la naturaleza)
13. Otros estudiantes utilizaban la idea de que la atmósfera presiona hacia abajo sobre las superficies pero no extendían esta idea a una explicación en términos de diferencia de presión.

El estudio exhaustivo de muchos investigadores compilado por Driver para detectar las dificultades de los estudiantes en distintas edades sobre el comportamiento del aire deja claro que a pesar de una enseñanza de los conceptos de forma tradicional, los estudiantes siguen presentando dificultades para comprender y explicar los fenómenos estudiados y las situaciones cotidianas presentadas.

Caso 3: En una investigación realizada sobre neumática e hidrostática por Ayala y García (1992) se identificaron las siguientes dificultades alrededor de algunas situaciones prácticas que tiene que ver con tales fenómenos, para ello se diseñaron cuestionarios con el fin de explorar las formas cómo los estudiantes las abordan, así como el nivel de información adquirido por ellos sobre la mecánica de fluidos.

Se buscaba con ello que el docente diera tener una primera visualización de los posibles problemas que surgen en la construcción de una conceptualización sobre los fenómenos en cuestión. El análisis de las respuestas dadas a los cuestionarios permite destacar los siguientes rasgos conceptuales de las explicaciones de los estudiantes sobre los fenómenos considerados, que describiremos a continuación³²:

1. **Acción interna:** Existe en las explicaciones un elemento interno que da cuenta de los fenómenos observados. Para referirse a dicho elemento los estudiantes designan la existencia de algo, un ente, o bien la acción como tal. Así, a dicho elemento interno puede llamársele con diferentes nombres, a saber: vacío, aire, fuerzas magnéticas o viento, que a la postre son los causantes de que, por ejemplo, “el agua no caiga del vaso” cuando este se encuentra invertido sobre una lámina de papel. Este elemento interno goza de ciertas propiedades o cualidades que le identifican: “hace fuerza”, “puede chupar”, El elemento interno es entonces un ente activo capaz de sostener y de levantar grandes cantidades de líquido: “por muy largo y grande que sea el vaso el viento siempre lo chupa”, dicen los estudiantes.

Otra de las propiedades que manifiesta el elemento interno es adherirse a las paredes del recipiente en el que está contenido. Algo así como si quisiera escapar por los poros del cristal, o más aún, como si formara una especie de pegamento que liga el líquido al vaso o a dos superficies lisas entre sí. Lo cierto es que esta propiedad del elemento interno responde satisfactoriamente en un primer nivel a las expectativas del estudiante y le permiten sostener este criterio con muchos de los fenómenos que enfrenta.

2. **El aire encerrado:** Se diseñó para ello un cuestionario relacionado con jeringas en varias situaciones prácticas, detectándose que en todas las situaciones planteadas siempre se encontraba la intervención del aire. A los estudiantes la idea de un vacío interno les resulta muy familiar; pero no un vacío donde hay ausencia total de materia, sino aquel en el que no se ve nada. Por eso tienen la tendencia de confundir el aire con el vacío y a dotarlos a ambos de las mismas propiedades. En todos los fenómenos en donde sostenían presentarse el vacío, consideraban que siempre debería quedar algo dentro que ejerciera acción, y ese algo era aire comprimido o rarificado cuyas manifestaciones describimos en el aparte sobre el elemento interno. Es decir, consideraban un vacío aparente. Pero, en lo relativo a la acción del aire se encuentra que éste en sí mismo no puede causar ningún efecto, ni ejercer fuerzas, ni actúa sobre los cuerpos.

³² García Edwin. La neumática de Pascal, elementos para la enseñanza del concepto de presión atmosférica desde una perspectiva constructivista. Tesis de grado. Universidad Pedagógica Nacional: Bogotá. 1992.

Para que el aire se manifieste se requieren condiciones especiales. Se requiere en primer lugar que esté encerrado, de ahí su carácter interno. Pero, ¿por qué el encerrar al aire lo coloca en condiciones de actuar? Es posible asimilar el aire a un resorte. Por un lado, se puede considerar que en espacio abierto el aire es como un resorte que no está estirado ni comprimido; en un espacio cerrado es un resorte comprimido que tiene una tendencia a estirarse y por lo tanto a actuar. Pero, para los casos considerados que privilegian la dirección vertical, la tendencia a moverse es hacia arriba. Así por ejemplo, ante la pregunta de por qué el líquido permanece en el pitillo cuando su extremo superior es tapado con el dedo, y no en el caso contrario; algunos estudiantes visualizan la situación en la siguiente forma: cuando el dedo se coloca en el extremo superior del pitillo el aire queda encerrado y se genera la tendencia a salir por el orificio que está tapado por el dedo, arrastrando consigo al agua y sosteniéndola. Cuando el dedo deja de tapar el orificio, la tendencia desaparece al recuperarse el estado natural del aire. En los cuestionarios muchos alumnos mencionan que el aire quisiera escaparse pero como se encuentra encerrado entonces hace todo un esfuerzo desesperado arrastrado consigo el líquido y evitando su caída. Por otro lado, cuando se trabaja con jeringas, se plantean situaciones que involucra la rarefacción del aire contenido al interior de ésta. En este caso el aire es asimilado también a un resorte, pero se le piensa como un resorte estirado cuando está en condiciones de actuar. Así, cuando el émbolo de la jeringa está en la posición más baja, se considera que entre la superficie del émbolo que está en contacto con ella queda aire en un estado natural, de no acción; al subir el émbolo el aire se estira, generándose en éste una tendencia a recuperar su estado natural; debido a esta tendencia el aire ejerce sobre el émbolo una fuerza hacia abajo y sobre el dedo que tapona la abertura una fuerza hacia arriba. Esta acción del aire es evidente también cuando la abertura de la jeringa está sumergida en agua y el émbolo es levantado. En otras palabras, la posibilidad, de succionar está íntimamente ligada a la rarefacción del aire contenido en el interior de la jeringa. Se puede concluir entonces que el aire sólo puede ser un elemento activo mientras se encuentra encerrado; solo así es posible ponerlo en condiciones de acción: ya sea comprimiéndolo o rarificándolo. Es claro que tal forma de entender estos fenómenos, no es compatible con el concepto de presión atmosférica.

3. Límites de la acción del elemento interno: Con el fin de averiguar más sobre el aire como elemento interno se desarrolló un nuevo cuestionario que pretendía determinar cuál es, o cuáles son los posibles límites de acción de éste. La acción que puede ejercer el aire, puesto en condiciones de hacerla, es variable. La fuerza que ejerce el aire es capaz de sostener o levantar grandes cantidades de líquido al interior de un tubo, pues a medida que éste aumenta también aumenta aquella. Pero la fuerza del aire puede aumentar hasta un cierto límite: lo cierto es que hay cantidades de líquido que el aire ya no puede sostener, al hablarse de tubos o jeringas de grandes proporciones,

unos diez o veinte metros de longitud, los estudiantes piensan que es imposible que un líquido pueda subir toda esa distancia, mientras que hablar de uno a cinco metros es más razonable, pues la distancia no es muy grande. En cuanto a la capacidad de los recipientes no diferencian un líquido de otro sino que todos son lo mismo, más bien si es mucho el líquido en cuestión entonces el recipiente no lo puede sostener y por lo tanto éste se caerá.

4. El equilibrio de los líquidos: El análisis de las respuestas de los estudiantes encuestados en torno al fenómeno del equilibrio de los líquidos, permite destacar tres formas características en sus explicaciones. Una, cuando se les pregunta qué sucede cuando a un sistema de vasos comunicantes se le agrega agua por la rama más delgada, ellos consideran que el líquido contenido en el recipiente se resiste a ser desplazado, de modo que cuando se vierte más líquido sobre él (u otro líquido) éste permanece inmóvil, teniendo que llenarse el brazo por donde se vierte el líquido. En algunos casos se considera que si la rapidez de caída del líquido y su cantidad es grande entonces logra vencer la resistencia del líquido que reposa en el recipiente, logrando desplazarlo un poco. De todas maneras el nivel alcanzado por el líquido es mayor en la rama del recipiente por donde se vierte el líquido. En la segunda, se asume una acción unidireccional. El agua vertida es activa, mientras que la que reposa en el recipiente es pasiva, no ofrece resistencia alguna a ser desplazada por el agua vertida. Se alcanza así un mayor nivel en el brazo contrario al brazo por donde se vierte el agua. La última, parte de la consideración de que la cantidad de líquido vertido debe repartirse igualmente entre las dos ramas del recipiente. De esta forma si los brazos son iguales los niveles alcanzados serán iguales; pero si no lo son, el nivel es mayor en el brazo de área menor. Sin embargo, algunos veían que las cantidades se repartían teniendo en cuenta las áreas de los brazos del recipiente; de esta manera se preveía el mismo nivel para los dos brazos. Es importante notar que desde esta perspectiva no existe diferencia si el líquido vertido es el mismo que el que reposa en el recipiente (agua-agua) o si es otra (agua-aceite). Lo destacable en todas estas formas de abordar el fenómeno de equilibrio de los líquidos es que el peso de estos no juega ningún papel en la definición de las condiciones de equilibrio de los mismos. Es la cantidad del líquido o el movimiento de éste lo que define la configuración de equilibrio.

Caso 4: En una investigación realizada con estudiantes universitarios de programas de licenciatura en ciencias naturales en la Universidad del Valle (García 2006) se encontró que, a pesar de haber pasado por cursos de física presentan dificultades para explicar fenómenos relacionados con la neumática y la hidrostática a saber³³:

³³ García E. notas sobre el curso de educación en física, exploración de conceptos. Universidad del Valle. 2006.

1. Al preguntar por qué resulta difícil separar dos superficies completamente lisas y pulidas las respuestas se orientaban en que al interior, o sea entre las superficies queda aire que no se deja estirar (elemento interno) otros estudiantes afirman que es posiblemente por una propiedad característica de estas superficies.
2. Por qué resulta difícil subir el émbolo de una jeringa cuando tapamos con el dedo su abertura? Las respuestas no tenían en cuenta la presión atmosférica sino el aire o vacío encerrado que no permite salir u ofrece resistencia como un resorte.
3. Al preguntar qué sucede cuando se agrega agua a un sifón que posee un brazo con un diámetro menor que el otro las respuestas de algunos estudiantes es que la columna del líquido sube más en el tubo delgado porque el aire actúa con una mayor presión en el tubo grueso por haber un área mayor.
4. Al preguntar por qué un globo se infla cuando se encuentra en una máquina neumática a la cual se le extrae aire, algunos estudiantes explicaban que la presión interna del globo aumentaba, lo que hacía que éste se inflara, no tenían en cuenta la diferencia de presiones.
5. Al preguntar por qué si se tapa con un dedo un orificio de un pitillo que contiene agua, ésta no se cae? La explicación de los estudiantes se da en torno a una fuerza del aire que actúa tanto adentro como afuera que equilibra las acciones. En estas explicaciones el equilibrio lo establece la fuerza del aire y no tanto el peso del líquido.
6. Al preguntar por qué en la experiencia de Torricelli, realizada en una máquina neumática el mercurio no cae totalmente cuando se extrae el aire de la campana, algunos estudiantes afirman que dentro del tubo queda algo de aire que “hala” el mercurio hacia arriba y no lo deja caer.

Sobre las formas de explicar los fenómenos

Es posible hacer algunos comentarios generales sobre la forma como los estudiantes en cuestión abordan y explican las situaciones planteadas en torno a los fenómenos relacionados con la presión atmosférica en todas las investigaciones referenciadas. Para empezar, debemos destacar que no hay diferencia de base entre las explicaciones dadas por los estudiantes de secundaria y las expresadas por los estudiantes universitarios, lo que pone de relieve que no importa el nivel de formación que se tenga, cuando se enfrentan los estudiantes frente a situaciones prácticas y cotidianas, las deficiencias en las explicaciones se hacen evidentes³⁴.

³⁴ Parte de las “disculpas” dadas por los estudiantes universitarios es que aprenden a repetir definiciones y resolver problemas numéricos, pero no a confrontar las experiencias directas y los fenómenos mismos.

Existe la tendencia natural de los estudiantes a dar respuestas inmediatas, asociando términos que les resultan familiares y que de alguna manera les ayudan a dar la respuesta. Algunas de las respuestas inmediatas son, por ejemplo: ... el agua no cae porque el vaso está cerrado, o... Porqué el pitillo tiene el dedo. Parece que su preocupación fundamental es dar una respuesta y no la calidad de la misma. Pero al ser sometidos a dar una mejor explicación sobre lo que observan, comienzan a plantear explicaciones más elaboradas.

Existe también otra serie de elementos que intervienen en las explicaciones que dan los alumnos; se hace uso de los términos que recuerdan de los textos o de los que escuchan usar a sus profesores, y que no tienen mayor significación para ellos, pero que conectan con las preguntas y situaciones planteadas. Utilizaban, por ejemplo, términos como: vacío, fuerzas magnéticas, oxígeno, etc., que aparecen en los textos. O daban respuestas como: “el agua no cae por la presión atmosférica”, “el agua no cae por el peso del aire”, pero al preguntárseles por el sentido de estas afirmaciones eran incapaces de darlo.

Dado lo anterior podemos concluir que si bien los conceptos de la mecánica de fluidos desde el punto de vista físico pueden resultar muy sencillos, presentan desde el punto de vista pedagógico grandes dificultades. Incluso se encuentra cómo los libros de texto explican el hecho de que el agua no se derrame en un vaso con agua invertido boca abajo o en un pitillo tapado en su parte superior por el dedo es debido a la presión atmosférica. Este tipo de explicaciones o definiciones no tiene en cuenta que alrededor de estos fenómenos pueden haber otro tipo de explicaciones más significativas para el alumno, por ejemplo, la acción de un elemento interno (al que ellos llaman de muchas maneras). Por otro lado, parece olvidarse que hay grandes dificultades en hacer manifiesta para los estudiantes la acción del aire en estado de reposo (Driver 1999).

De acuerdo a las dificultades planteadas anteriormente, con este libro se pretende dar elementos para hacer una propuesta que le permita al alumno desarrollar su conocimiento desde un enfoque sociocultural, esto es identificando las problemáticas sociales e ideológicas que estaban en juego al momento de defender conceptos como “vacío” “presión” “equilibrio” “plenum” y que pueda de esta manera, a través de experiencias y cuestionamientos, tener una visión del comportamiento de los líquidos y la acción del aire y así llegar a una comprensión más racional y práctica de la ley del equilibrio de los líquidos y la elasticidad del aire con sentido y aplicación en su propio contexto.