
EL CONSTRUCTIVISMO Y LA FORMACION DE LA RACIONALIDAD FISICA: UNA EXPERIENCIA DIDACTICA

PROF. MARÍA B. DE ARAGÓN¹ Y JORGE E. ZAMORA G.²

¹Universidad Javeriana. A.A.56710 Santafé de Bogotá, D.C. A.A. personal 33572.

²Universidad de Colombia. Ciudad Universitaria. A.A. personal 53912. Julio 30 de 1992.

ABSTRACT

There are epistemological obstacles in the pupils which enormously hinder their learning in natural sciences, thus making the teacher's work harder and in practice useless. To give a new orientation to the process and substantially modify their performance one needs to raise consciousness, in the teacher, about the presence of obstacles against which he has to aim all his didactic artillery in order to break them in his students. Only thus it will be possible to promote authentic learning in science.

RESUMEN

Los procesos de la enseñanza y del aprendizaje involucran, de suyo, dos racionalidades: la del Profesor y la del Estudiante. Este proceso inicialmente no es de carácter lineal, ni el conocimiento es transmisible de una generación a otra de modo espontáneo. El estudiante de física debe estar comprometido totalmente con el proceso si desea entender y trabajar en esta disciplina y el profesor es la pieza fundamental, porque es la persona que debe enfrentar al estudiante con sus preteorías, y sus obstáculos epistemológicos los cuales se dan en el ámbito mismo del conocimiento.

Los obstáculos epistemológicos en los procesos de la enseñanza y del aprendizaje.

J. Piaget (1982) ha podido demostrar "sobre la base de numerosos ejemplos tomados de la sicología genética que el desarrollo cognitivo no procede linealmente por acumulación de conocimientos, sino que exige cada vez que se accede a un nuevo nivel la reconstrucción de lo que fue adquirido en los niveles precedentes. Se trata pues de una reorganización de los conocimientos, a la luz de nuevos puntos de vista, y de una reinterpretación de los conceptos de base" (Piaget 1982).

Ahora bien; esta reorganización o reconstrucción de lo que fue adquirido en niveles precedentes es dinámica; se da por una serie de equilibrios y desequilibrios conceptuales de los cuales deben surgir las nuevas estructuras que rebasarán las anteriores. El problema de fondo en la cuestión planteada es que el sujeto que trata de construir las estructuras de nivel superior, en la mayoría de los casos no es autosuficiente y, a modo propio, no puede pasar de un estadio a otro de conocimiento. Y es ahí donde la labor del profesor es insustituible porque es el llamado a propiciar que se dé esta dinámica en los procesos de la enseñanza y del aprendizaje.

En todo proceso de asimilación de conocimiento el individuo es presa de ciertos

inconvenientes connaturales a la dinámica misma del proceso que G. Bachelard identificó plenamente con el nombre de *obstáculos epistemológicos*.

Los obstáculos epistemológicos se dan en el individuo y aparecen en el momento en que se debe dar una explicación de un hecho científico; en otras palabras se puede hablar de una *mente práctica*. No tienen que ver con que una teoría sea difícil de asimilar o que tenga una matemática complicada; es decir no hacen referencia a la dificultad connatural de la ciencia: los obstáculos epistemológicos se dan en la concepción misma del fenómeno tratado. Bachelard (1983) identifica como primer gran obstáculo la experiencia básica o primera. En su obra "La Formación del Espíritu Científico" sostiene la tesis: "el espíritu científico debe formarse en contra de la naturaleza, en contra de lo que es, dentro y fuera de nosotros, impulso y enseñanza de la Naturaleza, en contra del entusiasmo natural, en contra del hecho coloreado y vario. El espíritu científico debe formarse reformándose".

Ahora bien, la experiencia básica se halla en los cimientos mismos de las explicaciones físicas puesto que toda teoría tiene como punto de partida un fenómeno al que se le busca una explicación, y las explicaciones son de corte espontáneo, en las que se propone lo que primero aflora a la racionalidad, o se hacen transposiciones de imágenes triviales, y contra ello debemos ir.

Este hecho de dar explicaciones espontáneas no sólo es patrimonio del ser humano como individuo (sicogénesis), sino que la misma física en su construcción ha sido conducida por este tipo de explicaciones (sociogénesis).

Si nos remontamos a los albores de nuestra racionalidad en el siglo IV A.C., vemos que Tales de Mileto inicia sus explicaciones de la *Physica* basándose en observaciones o experiencias que no alcanzan el nivel de experimentos controlados. En sus fragmentos se puede notar cómo pos-

tula el agua como primer principio para todas las cosas, apoyándose en el carácter vivificante que el agua posee. Esta imagen trivial y esta conclusión le sirven de base a Anaxímenes para postular el aire y el fuego, a Heráclito y a Jenófanes la tierra. Posteriormente Empédocles postularía, como una gran síntesis, los cuatro elementos de modo simultáneo.

Ahora bien; lo curioso es que un obstáculo epistemológico da lugar a la aparición de otros, en una especie de evolución de corte negativo que impide una correcta racionalización. En los fragmentos del mismo Tales encontramos la referencia a que el alma es atributo también de las cosas inanimadas, con la propiedad de producir movimiento. Este obstáculo de transpasar imágenes vivientes a todo lo que requiere explicación lo identifica Bachelard como el obstáculo animista.

Al no haberse dado una ruptura con este tipo de explicación, esta filosofía natural -que no podemos llamar física- pasó a Aristóteles, quien fue tomado como paradigma de explicación en casi todas las disciplinas del saber humano, y su física era enseñada de generación en generación durante veinte siglos aproximadamente, dada su fuerte coherencia lógica interna muy fuerte, que en manera alguna significa que fuera correcta.

La física de Aristóteles es un juego entre lo posible, lo imposible y lo necesario; es una ciencia del "deber ser así" en donde sus explicaciones en el campo del movimiento y la dinámica se basan en principios animistas; por ejemplo la fuerza es un ente que se mete dentro del cuerpo y que se va agotando a medida que el cuerpo se va deteniendo; además cada cuerpo simple, cuando está fuera del lugar que le corresponde, está dotado de una tendencia a iniciar un movimiento natural que lo lleva a ocupar su lugar: en el caso del agua y de la tierra este movimiento natural es hacia abajo, hacia el centro de la tierra centro,

y en el caso del aire y del fuego es hacia arriba porque el aire y el fuego son ligeros, y su lugar natural está arriba.

A la física de Aristóteles le faltó la componente experimental con el carácter de comprobación o refutación de hipótesis. Aristóteles postulaba una hipótesis fruto de observaciones y experiencias de primera mano, sin llegar jamás a la experimentación controlada, y por procesos lógico-deductivos llegaba a las últimas consecuencias sin tener en cuenta si las hipótesis iniciales eran correctas.

Ahora bien, en lo más relevante la propuesta piagetiana nos muestra que así como se fué gestando la prefísica (incluida la física de Aristóteles) así mismo va construyendo el ser humano sus conocimientos hasta llegar a los estadios de nivel superior; por ejemplo, "En cuanto a la cinemática y al primado de los movimientos verticales y horizontales encontramos en los sujetos pequeños (léase niños) el modelo aristotélico del proyectil que sigue una trayectoria horizontal y luego cae verticalmente. De esto no concluye Piaget (1982) que los mecanismos funcionales sean precoces y que se encuentren luego en todos los niveles. No significa en modo alguno que los sabios desde Aristóteles hasta el período prenewtoniano, hayan tomado sus ideas de su inconsciente infantil, en cuyo caso habría habido prolongamiento inmediato y no similitud de procesos constructivos. Esta similitud prueba, por el contrario, algo mucho más instructivo: que nivel a nivel y generación tras generación, el funcionamiento de la inteligencia permanece el mismo y debe reconstruir sin cesar para rebasar; el progreso del saber no consiste pues en simples adiciones, sino en reorganizaciones que condicionan las creaciones. Así es como la seudonecesidad es un fenómeno corriente en los primeros niveles de la génesis del conocimiento y expresa la dificultad de imaginar otros posibles diferentes de aquél que es actualizado en una realidad dada" (Piaget 1982).

Las cosas en física empiezan a cambiar con Galileo, quien inicia la revolución científica newtoniana, cuando se cuestiona el papel del proceder del físico e instaura la experimentación como componente empírica del trabajo científico. La obra de Galileo no da lugar a una revolución científica porque todavía le quedan, en menor medida, como rezagos aristotélicos, algunas explicaciones de corte animista, puesto que aún encontramos en sus escritos explicaciones en términos de "tendencias que tienen los cuerpos a".

Así como Newton fue el encargado de remover los obstáculos epistemológicos en la física, es el profesor quien tiene por misión ayudar a remover los obstáculos epistemológicos en sus estudiantes.

Por ello un profesor de ciencias debe conocer la historia y la epistemología de la ciencia para ubicar en qué estadio se encuentra el estudiante de manera que pueda ayudar a rebasarlo y acceder al estadio siguiente; el profesor debe ser el motor de la dinámica de los equilibrios y desequilibrios.

Un profesor de ciencias no puede ser un dictador de clases; debe ser un cuestionador permanente, debe ser capaz de detectar los obstáculos epistemológicos para poder enfrentar las seudonecesidades de las explicaciones básicas con el fenómeno mismo que se muestra en los experimentos físicos cuando han sido bien diseñados para tal fin. Además debe tenerse en cuenta que cuando se habla de experimentos no necesariamente se hace mención al recinto denominado "salón de laboratorio"; se hace mención a que toda clase se debe iniciar con el planteamiento de un experimento-problema que involucre al tema a tratar.

En consecuencia, una clase se debe iniciar formulando una serie de preguntas a propósito de una experiencia de la cotidianidad sobre el tema a tratar con el objeto de saber, primero qué piensan los estudiantes y si las explicaciones son correctas, no hay ninguna dificultad para la racionalización

del asunto a tratar; pero si los estudiantes tienen preteorías incorrectas el profesor debe encauzar la discusión de tal forma que ponga en conflicto las explicaciones de los estudiantes con los resultados experimentales, para que ellos se involucren en la construcción de la teoría que explica el fenómeno; el asunto está en permear la mente práctica. Es hacer que las estructuras explicativas superiores se incorporen a la racionalidad del aprendiz de modo real; por tanto el profesor no debe dar las explicaciones, como si tuviera un as entre la manga; porque mientras no se genere el conflicto entre las explicaciones primarias intuitivas y las observaciones experimentales controladas no hay racionalización de los fenómenos tratados. Esta es justamente la catarsis intelectual de la que nos habla Bachelard: es ir contra las explicaciones básicas o primarias que afloran al espíritu de modo inmediato.

Por ejemplo, en una clase en tercer semestre de universidad, sobre dilatación de origen térmico, se les presenta a los estudiantes una lámina y se les indaga qué le sucede al someterla a una variación de temperatura ΔT , la respuesta al unísono es ¡se dilata!. Si, seguidamente se les varía la situación, haciéndole un agujero circular o cuadrado en el centro, a la pregunta que si el hueco se agranda o se achica al someter el sistema al mismo ΔT , responden como si fuera una consecuencia lógica que el hueco se achica. Si el profesor entonces, les dice que va a colocar el segmento que quitó en su sitio y vuelve y somete el sistema al mismo ΔT , los estudiantes quedan perplejos, porque el hueco sí se dilata! Con esto el profesor les ha creado un conflicto, y del error explicativo inicial surge una explicación por contraste con la realidad fenoménica que aporta el profesor, y una racionalización así lograda ya no queda al libre albedrío de la memoria, porque el estudiante se involucró en el proceso y vivió la física.

Este es uno de los muchos ejemplos que nosotros hemos trabajado con nuestros es-

tudiantes que ya sobrepasan los 16 y los 17 años, para los cuales se supone (según los trabajos de Piaget en Ginebra) que ya están en el estadio del pensamiento formal, y no es el caso de que nuestros estudiantes sean incapaces; es simplemente, que aún están en estado de formación de su racionalidad, y es el profesor el que los debe guiar para que ellos puedan construir su espíritu científico.

El problema de fondo en los estudiantes es que desde los inicios de la vida escolar se van gestando de modo paralelo dos tipos de racionalidades. La una es la que podemos llamar *mente práctica*, que se va gestando día a día con la cotidianidad y la familiaridad de los fenómenos que impactan el espíritu y que se basa en explicaciones desde un punto de vista de Experiencia Básica. El individuo no es consciente de que permanentemente está conceptualizando errores explicativos porque está atado de modo natural a sus obstáculos epistemológicos. Es esta mente práctica la que proporciona las explicaciones a los fenómenos aún después de haber pasado por las aulas de los primeros, los medios y aún los cursos superiores universitarios.

La otra es la *mente escolarizada* que se va forjando en las aulas de clase, que generalmente, no permea la mente práctica y sólo se usa cuando se ven cuestionados en ambientes y circunstancias que de algún modo reflejen academia.

De lo anterior se plantea que existe explícito un compromiso; como bien lo dijo el Doctor Carlos Eduardo Vasco en la conferencia ofrecida a los profesores de la Facultad de Ciencias de la Universidad Javeriana en el mes de Febrero del año 1992; este compromiso de la *respuesta correcta* funciona entre el profesor y sus alumnos, y consiste en *yo te enseño "esto" y "esto" te pregunto*; pero no se puede ir más lejos. Ahora bien, si el profesor indaga a sus estudiantes sobre *"esto"* fuera del ambiente escolar ya la respuesta no es la que dió

en el aula o sea la respuesta escolarizada, sino que su respuesta emerge de su mente práctica. Por tanto debemos cambiar el compromiso de la respuesta correcta por el *compromiso de la comprensión*, en el cual la mente escolarizada sustituya, por completo, a la mente práctica.

Implicaciones Didácticas

Con el ánimo de ilustrar las implicaciones didácticas de las ideas expuestas en el marco conceptual hemos preparado unos ejemplos de común tratamiento en nuestra práctica de aula de clase y en el laboratorio. En la primera parte trataremos unos ejemplos de cinemática y en la segunda parte unos ejemplos de dinámica.

La idea didáctica consiste en confrontar, a propósito de un fenómeno particular, las opiniones de los estudiantes en dos niveles distintos:

- Con la teoría convencional (para nuestro caso la mecánica newtoniana).
- Con la experiencia misma.

Normalmente ocurre que los estudiantes predicen un comportamiento para el sistema en consideración, mientras que la teoría y la experiencia indican otro, claramente distinto.

El objetivo consiste en desequilibrar las estructuras explicativas (previas) del estudiante para sustituirlas con otras construídas mediante el proceso de equilibración al asimilar y acomodar el esquema teórico de interés.

Tanto la teoría pertinente como la experiencia, sirven de factores de desequilibrio y equilibración, dependiendo de las circunstancias y conveniencias del momento.

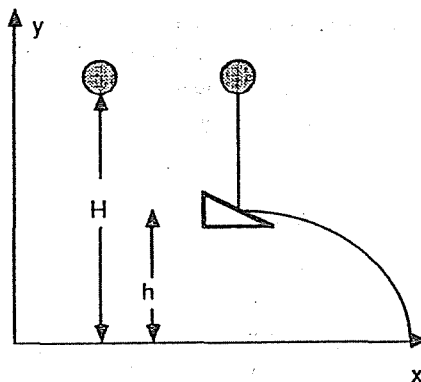
La metodología de trabajo con los estudiantes consiste en que a ellos se les plantea una situación experimental en el aula de

clase, y se les formulan unas preguntas sobre la situación planteada. Preguntas que ellos deben discutir en grupo de, no más de, cuatro estudiantes para plasmar los resultados de su discusión en una hoja que el profesor recoge para su análisis posterior.

1. Cinemática.

En el estudio del movimiento, tras haber construído las nociones esenciales de sistema de referencia, desplazamiento, posición, velocidad, aceleración, trayectoria, distancia, se les plantea este problema sencillo.

Desde una misma altura H , se dejan caer libre y simultáneamente dos esferitas idénticas (1) y (2). La esfera (1) cubre libremente toda su trayectoria, en tanto que la esfera (2) encuentra, a una altura h del nivel de referencia una cuña de 45° , contra la cual choca elásticamente (la rapidez después del choque es idéntica a la previa al choque) y sale proyectada horizontalmente, como indica el diagrama. Si t_1 es el tiempo de caída de (1) y t_2 es el tiempo de caída (2), al comparar estos tiempos, ¿Qué puede afirmar?



- a) $t_1 = t_2$ b) $t_1 > t_2$ c) $t_2 > t_1$

1) Se predice el comportamiento de las dos esferitas. Entre el 80% o 90% de los grupos tras discutir y llegar a consenso, afirman que:

$$t_1 = t_2$$

Dado que la altura de caída H es la misma y se trata de caída libre, independiente de la cuña que lo "único que hace es cambiar la dirección vertical a horizontal del movimiento pero sigue con la misma rapidez que traía".

Un 9 ó 10% hacen la predicción: $t_2 > t_1$

Pues cuando (2) choca con la cuña, al cambiar la dirección del movimiento, comienza otra caída libre con componente y de velocidad nula, mientras la (1) no pierde rapidez en la dirección y .

Eventualmente (muy pocos!) afirman que:

$t_2 > t_1$ pues al chocar (2) contra la cuña recibe un impulso "hacia adelante" que (1) no recibe, lo cual hace que (2) caiga más rápido que (1).

Se observa, claramente que, para la gran mayoría, existe una estructura explicativa que es menester eliminar y sustituir por una que se ajuste a los hechos. Se hace necesario desequilibrar cognoscitivamente a los estudiantes.

2) Se recurre, entonces a la experiencia. Se diseña el experimento y se hace la observación. La contradicción con la opinión de la mayoría es contundente.

$$t_2 > t_1!$$

Es lo que muestran los hechos.

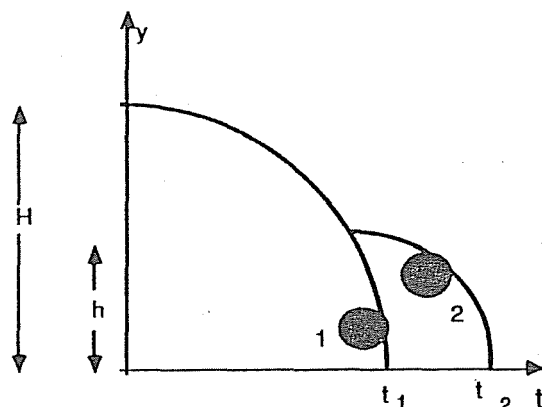
3) ante la evidente falla explicativa puesta de manifiesto por la experiencia efectuada, se hace necesario (desequilibrio) buscar una explicación coherente con los hechos.

Se les propone que, en los mismos grupos construyan la solución teórica de dos maneras distintas:

a) Gráfica

Los estudiantes construyen soluciones gráficas utilizando las propiedades geométricas, previamente discutidas en clase, que presentan las funciones $y(t)$ con el tiempo, pa-

ra los diversos tipos de movimiento.



Utilizando adecuadamente la correspondencia entre sistema de referencia y sistema de coordenadas $S(y, t)$, construye las gráficas cualitativas y vs. t para los dos movimientos uniformemente acelerados, la parábola continua para el móvil (1) y las dos parábolas secuenciadas para el (2).

Esta primera solución teórica, sin necesidad de recurrir a ecuaciones o "fórmulas" ya nos informa, inequívocamente, que $t_1 < t_2$, confirmando la experiencia e invalidando las predicciones!

b) Analítica.

Aquí se recurrió a las ecuaciones convenientes, pero su utilización se hace concientemente, contrarrestando el aspecto mecánico e irreflexivo de su común utilización. La esfera (1) gasta, en su caída, un tiempo de

$$t_1 = \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

En tanto que la esfera (2) hará el recorrido completo en dos caídas libres sucesivas, como indica la solución gráfica. La caída libre para un desplazamiento dado por $(H-h)$ en valor positivo, da un tiempo.

$$t'_2 = \sqrt{\frac{2(H-h)}{g}}$$

En tanto que para la segunda caída libre, la altura de caída es h , entonces el tipo correspondiente será:

$$t''_2 = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Entonces el tiempo total t_2 es:

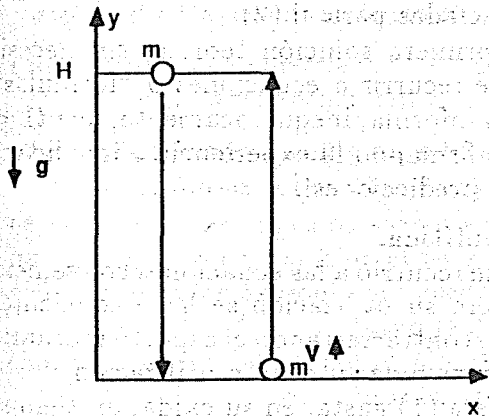
$$t_2 = t'_2 + t''_2 = \sqrt{\frac{2(H-h)}{g}} + \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

Si se comparan las expresiones explícitas para t_1 y t_2 resulta (con un poco de álgebra) que

$t_1 < t_2$, confirmando de nuevo la experiencia.

Problema 2

Otro problema que suele trabajarse en el aula es el siguiente:



Desde una altura H se deja caer libremente una esfera de masa m . Simultáneamente, desde el piso se lanza, verticalmente hacia arriba, con velocidad inicial V_0 , una segunda esfera idéntica a la primera.

La velocidad V_0 es tal que la esfera (2) alcanza, justamente, la altura desde donde cae la esfera (1). ¿A qué altura se cruzan? De nuevo se divide el curso en pequeños grupos de discusión.

1) En este caso, la predicción unánime es: $y_{cr} \text{ (altura de cruce) } = \frac{H}{2}$
 Por razones de simetría. La esfera (1) llegará al piso con una rapidez V_0 idéntica a

la inicial de la esfera (2); el tiempo que (1) gasta en caer es el mismo que (2) gasta en ascender. La (1) desciende la altura H , que es la misma que la (2) tiene que ascender. Por tanto deben cruzarse en la mitad del camino.

2) Se prepara la observación en el laboratorio, lo mismo que para el problema anterior.

Se efectúa la experiencia y aunque es difícil hacer una medición muy precisa, se observa sin dificultad que las esferas se cruzan a una altura, medida desde el piso,

$$y_{cr} > \frac{H}{2}$$

Si se repite la observación se puede acotar convenientemente la medida de la altura de cruce y_{cr} , dentro de un rango significativo.

$$0.6H < y_{cr} < 0.8H!$$

En esta misma experiencia, efectuada con estudiantes de geología de la Universidad Nacional de Colombia este semestre (I-91), un grupo de trabajo se ingenió un disparador que les permitiera lograr la velocidad de lanzamiento requerida para la esfera que asciende.

Utilizando como soporte un par de bolígrafos "kilométrico", dispusieron sobre ellos una banda de caucho sobre la cual habría de montarse la esfera para el disparo. Con el objeto de precisar, lo mejor posible, la tensión de la banda que permitiera alcanzar la velocidad óptima, construyeron una escala en papel milimetrado. Para la práctica eligieron una altura de 80 cm. sobre el nivel de la mesa de trabajo. Después de varias mediciones, cada vez más cuidadosas y precisas, lograron una altura de cruce de 57 cm que, comparada con los 60 cm que arroja el cálculo teórico, representa un 5% de error! Es decir, se ha logrado, sin sofisticación alguna una medición para la altura equivalente a

$$0,95H!$$

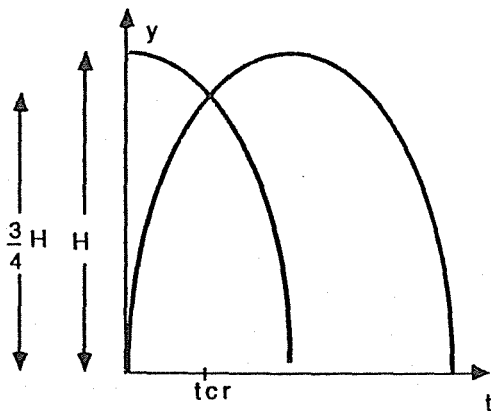
En cualquier modo, resulta ser mayor que la altura de cruce predicha por los estudiantes.

De nuevo aquí la experiencia contradice la predicción de los estudiantes!

El desequilibrio está planteado. Se hace menester el proceso de equilibración que, de nuevo, hemos dejado a la asimilación de las estructuras teóricas previamente trabajadas, discutidas y acomodadas a otros fenómenos de movimiento.

c) Solución teórica

a) Gráfica



La solución gráfica, claramente muestra que la altura de cruce y_{cr} es mayor que $(H/2)$; es más, todo indica que será una altura muy próxima a $3H/4$.

b) Analítica

En la cual se llega, utilizando las ecuaciones apropiadas (condiciones ideales) a:

i) t_{cr} (tiempo de cruce) = $\frac{H}{v_0}$, $(1/2)t_c$ (caída), para A.

ii) $y_{cr} = \frac{3H}{4}$

2. Dinámica.

Se plantea el problema de la máquina de Atwood que consiste en una polea ideal por la cual pasa una cuerda también ideal. De la polea penden dos masas iguales, la si-

tuación se ilustra en la siguiente figura.

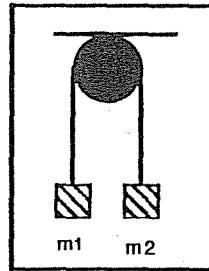


Figura 1.

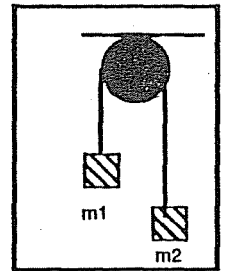


Figura 2

Se les formulan a los estudiantes las siguientes preguntas:

1. ¿Qué fuerzas actúan cuando las masas se encuentran como se muestra en la figura?
2. ¿Qué sucede al sistema cuando se golpea la masa m_1 , momentáneamente?

A la primera pregunta la respuesta casi unánime por parte de los estudiantes es:

Como las masas son iguales, la tensión en la cuerda es la misma, y las masas están en equilibrio. Las fuerzas actuantes son la tensión y el peso.

A la segunda pregunta las respuestas más significativas son:

- 1) Durante el tiempo que se aplica la fuerza el sistema pierde el equilibrio y quedaría como se ilustra en la figura siguiente; al suprimir la fuerza, por inercia el sistema vuelve a su estado inicial porque tiende a estar en equilibrio.
- 2) Al aplicar la fuerza el sistema no está en equilibrio como en la figura 2, pero al suspender la fuerza (instante en que se quita la fuerza aplicada) el sistema vuelve a quedar en equilibrio (ver figura 1) por rozamiento.
- 3) Inicialmente se rompe el equilibrio (figura 2), tendiendo a volver a él pero entre mayor es la fuerza ejercida mayor es el tiempo para ponerse en equilibrio.
- 4) Debido a la fuerza aplicada el sistema

entra en oscilación y por ley de la inercia el sistema vuelve a quedar en equilibrio.

5) El sistema se desequilibra momentáneamente y el cuerpo que queda más arriba, tiende a recuperar su estado inicial de equilibrio, con respecto al otro cuerpo, debido a que poseen la misma masa.

En las respuestas dadas por los estudiantes se nota de manera explícita:

1 Ausencia del concepto de equilibrio; para los estudiantes solamente hay equilibrio cuando las dos masas se encuentran en el mismo nivel y adicionalmente en reposo.

2 Ausencia del concepto de inercia, porque de suyo un movimiento rectilíneo es considerado como obligado a extinguirse en razón de una búsqueda de equilibrio.

3 Incongruencia con respecto a la fuerza, ya que para mover inicialmente el cuerpo, se necesita un agente externo, pero para detenerse y quedar en reposo los estudiantes consideran que no lo necesita, lo que puede hacer en virtud de sí mismo, dada la necesidad del equilibrio.

Este planteamiento de los estudiantes es de corte aristotélico, que se pone de manifiesto: a) en su concepto de equilibrio, b) en la búsqueda de parte de los cuerpos (tendencia natural) por una posición natural. c) en la presencia de un motor interno para solucionar su búsqueda de la posición natural.

Al efectuar el experimento del problema trabajado en clase, los estudiantes constataron que el cuerpo de masa m , bajaba aproximadamente con velocidad constante como ilustra la fotografía estroboscópica tomada en la práctica!! (por los mismos estudiantes en la Universidad Javeriana de Bogotá)

De esto queda claro que la extinción de los preconceptos no se basa en una sola discusión, sino que el profesor debe estar permanentemente cuestionando al estudiante, para lograr la catarsis intelectual porque el arraigo del saber intuitivo es difícil de contrarrestar.

Conclusiones

1.- Es bien significativo el que habiendo ya expuesto la teoría a la consideración de los alumnos y habiendo discutido con alguna amplitud las implicaciones de la misma, su abordaje intuitivo de los problemas sigue siendo preteórico, lo cual corrobora la tenacidad de los obstáculos epistemológicos presentes en los alumnos.

2.- En el abordaje por parte de los estudiantes de problemas cuidadosamente seleccionados, la experiencia entra en contradicción con sus predicciones (preconcepciones?). El desequilibrio es manifiesto.

3.- En una disciplina de continua reflexión, en la que el estudiante se ve obligado a ser, permanentemente, sujeto activo en la elaboración de las nuevas estructuras explicativas (cognoscitivas) en contraposición con el carácter pasivo (absoluto) del estudiante tradicional va asimilando progresivamente las estructuras teóricas que le permiten acceder a explicaciones más coherentes que las previas.

4.- Tras la asimilación que se genera, estimulada por el desequilibrio cognitivo en el estudiante, se plantea, paralela, la necesidad de acomodar las nuevas estructuras cognoscitivas asimiladas, a nuevas situaciones concretas, nuevos hechos de la experiencia. Es el proceso de equilibración que se propicia mediante una serie integrada de problemas.

5.- Como consecuencia de todo el proceso, el estudiante aprende a desconfiar de sus primeras impresiones y de su sentido común.

A este respecto es dicente la frecuente conclusión de los estudiantes frente a nuevos problemas: "Hay que afirmar lo contrario de lo primero que se le ocurre a uno" ó, "La física no es lógica".

El estudiante aprende que le es necesario confrontar sus opiniones, cuando menos, con la experiencia.

6.- Consecuentemente, el estudiante aprende a confiar en el experimento, como práctica de confrontación y convalidación o invalidación de sus explicaciones previas.

7.- La práctica docente se enriquece. Los problemas abandonan el estadio meramente verificativo de la asimilación de algoritmos para convertirse en instancia de confrontación, reflexión y asimilación dialéctica de los conocimientos nuevos.

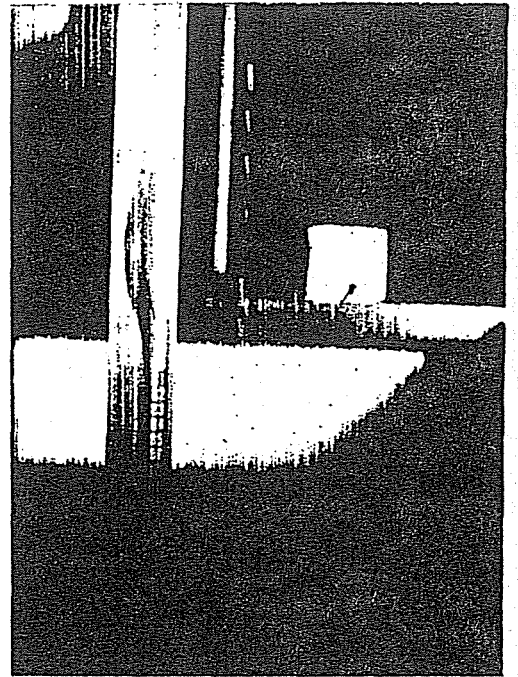
Pero esto sólo es posible de manera secuencial, de modo que la resolución indiscriminada de bloques de problemas inconexos se vuelve irrelevante y da paso al trabajo de los alumnos dirigido cuidadosamente por el maestro desde la selección misma de los problemas que se hace, de manera consciente, pensando en las dificultades (obstáculos epistemológicos) de los estudiantes.

8.- La experiencia, por otra parte, adquiere nuevo status en el proceso de aprendizaje. Deja de ser un pretexto para convertirse en elemento coyuntural del proceso dialéctico en la construcción del conocimiento.

No se trata de un retorno al empirismo, porque es la experiencia pensada, reelaborada, críticamente observada, si se quiere, desde los presupuestos preteóricos y hacia los fundamentos teóricos.

9.- El profesor en este enfoque, debe no sólo conocer la interpretación "correcta" de una demostración o experimento, sino que debe estar preparado para entrar en discusión con sus alumnos en la cual ellos introducirán sus propios puntos de vista e interpretaciones. Es este aspecto el que hace interesante la enseñanza de la ciencia a los alumnos y al mismo tiempo, difícil, pero estimulante para el profesor!

10.- Cuando mejor conozca el profesor su disciplina y la historia de las ideas fundamentales, tanto más estará capacitado para abordar las necesidades de sus alumnos, al clasificar sus ideas, con frecuencia confusas y generar los desequilibrios necesarios.



Referencias Bibliográficas

- 1.- PIAGET, J. y GARCIA, R., *Psicogénesis e historia de la ciencia*. Editorial Siglo XXI, p. 107. (1982).
- 2.- BACHELARD, G. *La formación del espíritu científico*. Editorial Siglo XXI. p. 27. (1983).
- 3.- PIAGET. Op. cit. pág. 79. (1982).