

ALGUNOS PATRONES DE INTERPRETACION ESPONTANEA FRENTE A SITUACIONES DE DINAMICA CLASICA

SEBASTIA, JOSE M.

Departamento de Física
Apartado 80659
Caracas 1080 - A, Venezuela

RESUMEN: Este artículo analiza algunos de los patrones de las interpretaciones que los estudiantes hacen de diferentes situaciones de movimiento en física.

Se recogieron ideas y opiniones de más de un millar de estudiantes de diferentes niveles educativos, intentando elaborar un modelo de la forma de razonar de los estudiantes al enfrentarse a estos fenómenos.

Algunas reflexiones sobre estos patrones de interpretación y sus relaciones con el cambio conceptual, así como ciertas sugerencias para la enseñanza de la física son desarrolladas al final de este artículo.

SUMMARY: This article analyzes some patterns of student interpretations concerning different situations of movement in physics.

Ideas and opinions of more than a thousand students of different educational levels were collected, trying to elaborate a model of the student's reasoning confronted with these phenomena.

Some reflexions concerning these interpretative patterns and their relations with conceptual change, as well as other suggestions related to the teaching of physics are developed at the end of this article.

1. Introducción

La dinámica del movimiento es uno de los tópicos fundamentales de física que comienzan a encontrar los estudiantes en los últimos cursos de bachillerato.

La dinámica del movimiento, desde la perspectiva newtoniana, quedó claramente establecida por los célebres "Principia" de 1686, y acostumbra a ser presentada al estudiante en forma axiomática, acompañada de una serie de "ejemplos" que pretenden establecer la significación de los términos y el alcance de la teoría.

Es bien sabido por todos los profesores de física

que en la resolución e interpretación de estos "ejemplos" los estudiantes repiten frecuentemente el mismo tipo de errores. Esta sistemática en los errores no parece provenir de una distorsión de lo aprendido en clase, sino que revela la existencia de un conjunto de ideas espontáneas o intuitivas, desarrollado al margen de la enseñanza, que sirve de guía al estudiante a la hora de interpretar situaciones físicas.

La necesidad de tener en cuenta los conocimientos previos del estudiante en la enseñanza, si aceptamos la teoría cognoscitiva del aprendizaje (Ausubel, 1968), enfatiza la importancia de conocer en detalle este conjunto de ideas espontáneas, ya que únicamente conociendo las características generales de dichas ideas y de su "hábitat" conceptual, podríamos estar en condiciones de diseñar estrategias de enseñanza que propicien un cambio conceptual en la mente del estudiante y hagan más efectiva la enseñanza.

Este conjunto de ideas, creencias y expectativas que ha desarrollado el estudiante de manera espontánea ha sido objeto de investigaciones descriptivas durante los últimos años, especialmente en el área de la mecánica (Viennot, 1979; Clement, 1982; Whitaker, 1983; Mc Dermott, 1984).

En el contexto educativo latinoamericano también han sido llevadas a cabo algunas indagaciones en esta área (Sebastiá, 1984; Westphal, 1984; Criscuolo y Westphal, 1985; Axt, 1985; Teixeira y Villani, 1985; Tobón y Peera, 1985). Sin embargo, a pesar de que estas investigaciones han aportado gran cantidad de datos al problema, sus resultados están lejos de ser concluyentes.

Nuestra investigación, cuya meta final es con-

tribuir a la mejora de la enseñanza de la física, está por el momento interesada en comprender las interpretaciones que hacen los estudiantes de nuestro contexto educativo acerca de situaciones específicas de movimiento, describir sus características y analizar los obstáculos que impiden su transformación.

2. Metodología: muestra, procedimiento e instrumento

Las indagaciones en estructuras conceptuales presentan un serio inconveniente metodológico al no existir una metodología standard aceptable por todos los investigadores.

Las diferencias en el enfoque metodológico tienen su origen en la manera de entender "qué es un concepto". Para algunos (Hull, Bruner, Fennyson, Gagné, entre otros), un concepto es un conjunto de objetos, símbolos o eventos, que son agrupados en base a que comparten ciertas características y pueden ser referidos por un nombre o símbolo específico. Bruner (1978) relaciona el aprendizaje de conceptos con la conducta de categorización o clasificación de un elemento en base a sus atributos críticos. Klausmeier, Ghatala y Frayer (1974) desarrollaron un modelo descriptivo, dentro de este enfoque, que ha guiado muchas de las indagaciones de evaluación de conceptos durante los últimos años. Herron, Cantu, Ward y Srinivasam (1977) comprobaron, sin embargo, que esta perspectiva podría ser apropiada para el análisis de conceptos concretos, con atributos perceptibles y numerosos ejemplos asequibles, pero resultaba de poca utilidad para tratar de analizar conceptos teóricos, tales como los que habitualmente aparecen en ciencias.

La mayoría de los conceptos que aparecen en las asignaturas de ciencias naturales (física, química, etc.) sólo parecen tener significado dentro del contexto de la teoría que les da origen y cuerpo y resultan imposibles de entender sin hacer referencia al sistema teórico en el que se encuentran inmersos. Los conceptos científicos, según Hanson (1958) y Braithwaite (1959), son términos cargados de teoría (theory-loaded). Desde esta perspectiva, que nosotros compartimos, los conceptos no pueden ser analizados aisladamente, sino que están inmersos en las interpretaciones teóricas del estudiante y únicamente estudiando dichas interpretaciones estaremos en posibilidad de analizar la significación y las relaciones con

otros conceptos de los términos que en ella intervienen.

En base a lo anterior, la metodología empleada estuvo orientada a evaluar la significación de los conceptos físicos en función del uso que el estudiante hacía de los mismos al interpretar las situaciones físicas que se le presentaban.

Nuestro estudio se orientó a recoger datos de estudiantes de los últimos años de escuela secundaria y primeros de universidad, ya que en esos niveles se centra el interés de mejorar la enseñanza de la física. Extendimos la recolección de datos a graduados universitarios en ciencias con el objeto de indagar las coincidencias o discrepancias con los resultados obtenidos al aplicar el instrumento a otros estratos de la muestra.

La muestra estaba constituida por más de un millar de estudiantes de España y Venezuela, y se analizó estratificada según la variable "nivel educativo". Contemplaba fundamentalmente cuatro niveles: nivel 0 (L-0), estudiantes que no habían cursado física, de aproximadamente 14 años de edad; nivel 1 (L-1), estudiantes de física de bachillerato, de aproximadamente 15 o 16 años de edad; nivel 2 (L-2), estudiantes de física a nivel universitario, de aproximadamente 17 años de edad, y nivel 3 (L-3), estudiantes recién graduados en ciencias (física o química) de unos 23 años de edad.

La mayor parte de la información fue recogida dentro de marcos institucionales mediante la aplicación de cuestionarios con preguntas de opción múltiple complementadas con preguntas abiertas.

Las situaciones físicas mostraban, en su mayoría, diferentes instantáneas de la evolución de un objeto al transcurrir el tiempo, y estaban escogidas con el criterio de ser próximas al campo experiencial del estudiante, ser suficientemente simples para poder ser interpretadas por estudiantes de cualquier nivel, y sobre todo ser representativas de una manera de interpretar los fenómenos naturales*.

3. Características de las interpretaciones espontáneas

3. A. Coincidencia de las Interpretaciones.

Nuestros resultados evidencian claramente que los estudiantes coinciden en proporciones muy elevadas a la hora de interpretar las situaciones de la dinámica del movimiento (ver Fig.

1). Casi siempre una de las interpretaciones resulta aceptable para más del 70 % de los estudiantes independientemente del país y contexto social y educativo en el que han sido obtenidos los datos.

Los resultados apuntan, por lo tanto, en la dirección de la existencia de un patrón (pattern) general de interpretación que, con pequeñas variaciones, es compartido por casi todos los estudiantes. Este patrón general provendría, en nuestra opinión, de una elaboración teórica común que serviría de guía a las interpretaciones, especialmente para relacionar los términos teóricos con los términos observacionales de las situaciones físicas presentadas.

La coincidencia de un patrón general de interpretación es compatible con diferencias secundarias entre individuos, posiblemente debidas a perturbaciones introducidas por el instrumento de medición o debidas a la falta de consistencia del modelo teórico que le sirve de guía.

Este patrón general de interpretación, sin embargo, no es idéntico para cada situación o grupo de situaciones. El patrón interpretativo de los estudiantes frente a situaciones de lanzamiento de proyectiles, por ejemplo, es diferente del patrón interpretativo de los estudiantes frente a situaciones de movimiento planetario. Puesto que la interpretación unificada de las diferentes situaciones de la dinámica del movimiento es un logro de la ciencia relativamente reciente, era lógico esperar que las interpretaciones de los estudiantes, guiadas por modelos teóricos menos elaborados, presenten cierto grado de *ad-hoc-icidad* a la situación planteada.

El patrón de interpretación de los estudiantes en los problemas de proyectiles es, en cierta medida, similar a la teoría medieval del "ímpetu", ya que acostumbra a involucrar una fuerza extra de dirección a la velocidad. El patrón interpretativo en problemas de movimiento planetario (ver Fig. 2) es de tipo cuasi-estático, ya que supone la introducción de dos fuerzas extras, una de ellas equilibra las restantes fuerzas de interacción y la segunda es responsable del cambio de posición.

La existencia de interpretaciones comunes en estudiantes de diferentes contextos contradice, en alguna medida, la teoría de la construcción personal del conocimiento (Kelly, 1950) que orienta algunas de las investigaciones en esta área (Gilbert, Watts, Osborne, 1982). Según esta teoría, la manera de interpretar un fenómeno es un acto individual y no compar-

tado por ninguna otra persona, lo cual conduciría a que el patrón de interpretación de un fenómeno fuese casi tan variado como el número de estudiantes. Nuestros resultados, por el contrario, evidencian coincidencias interpretativas dentro de cada grupo de situaciones físicas que no puede ser explicable sino en base a elaboraciones teóricas comunes que guían las interpretaciones de todos ellos.

3. B. *Invariancia de las Interpretaciones.* Uno de los resultados más notables que han sido obtenidos consiste en la constancia del patrón interpretativo en estudiantes de diferentes niveles educativos y por lo tanto de diferentes edades (ver Fig. 3).

El patrón interpretativo no es alterado significativamente por los cursos sistemáticos de física, ni por la madurez de la persona, sobreviviendo a una enseñanza que lo contradice. Incluso los profesores tienden a responder en términos del mismo patrón interpretativo cuando lo tienen que hacer bajo cierta presión de tiempo. En este sentido nuestros resultados coinciden con los obtenidos por otros autores (Leboutet, Barrel, 1976; Viennot, 1979; Helm, 1980).

La persistencia del patrón interpretativo espontáneo en el estudiante, a pesar del conocimiento de un patrón interpretativo tan sólido como el que proporciona la mecánica newtoniana, no resulta fácilmente explicable. Al parecer el estudiante encuentra ciertos obstáculos, en el sentido acuñado por Bachelard (1942), para poder reorganizar sus ideas de la manera que propone la mecánica clásica.

Los obstáculos que hacen que el estudiante prefiera su interpretación a la interpretación newtoniana, según hemos sondeado, se encuentran más allá de la lógica y la sintaxis de la teoría, más bien se ubican en creencias subyacentes a la teoría de tipo metafísico o epistemológico (la heurística negativa, en términos de Lakatos).

3. C. *Las leyes de la dinámica en las interpretaciones espontáneas.* No resulta fácil analizar las interpretaciones de los fenómenos físicos que realizan los estudiantes. Las dificultades de análisis provienen, como muy bien ha señalado Viennot (1985), principalmente de los siguientes aspectos: a) los estudiantes utilizan en sus interpretaciones conceptos muy vagamente definidos, lo cual impide diferenciar términos tales como fuerza, impulso, energía, etc.: b) el razonamiento espontáneo no

parece poder expresarse en la misma forma de relaciones funcionales que el pensamiento físico.

Las interpretaciones de los estudiantes, sin embargo, evidencian ciertas características comunes frente a las situaciones de movimiento que permiten conformar un patrón general que, con ligeras variantes, es compartido por todos. Aunque no es posible hablar de "leyes" en sentido estricto, existen ciertas relaciones estables entre los diversos términos que presentan claramente características *legaliformes*.

Algunas de estas relaciones estables que aparecen frecuentemente en las interpretaciones del movimiento son:

a) El reposo y el movimiento son dinámicamente diferentes.

En este aspecto la teoría de los estudiantes coincide con todas las teorías prenewtonianas del movimiento que consideraban el reposo como un "estado" y el movimiento como un "proceso".

b) Si un cuerpo se encuentra en movimiento existe al menos una fuerza en la dirección del movimiento.

Esta característica del pensamiento de los estudiantes determina el número de fuerzas involucradas en la descripción del movimiento. Cuando la fuerza de interacción está dirigida en el sentido del movimiento del cuerpo, esta fuerza es suficiente para interpretar satisfactoriamente el movimiento y el diagrama de fuerzas suele coincidir con el de la mecánica newtoniana (ver Fig. 4). Sin embargo, esta coincidencia es sólo aparente, ya que la fuerza que suponen los estudiantes es proporcional a la velocidad y va aumentando conforme el cuerpo desciende, según algunos porque al acercarse el objeto a la tierra la fuerza de atracción aumenta (30 %) o según otros porque va adquiriendo un impulso proporcional a la masa del objeto (27 %).

Cuando la fuerza de interacción se opone al movimiento el estudiante introduce fuerzas "extra" en su interpretación (ver Fig. 5). Estas fuerzas le resultan necesarias para justificar el movimiento y el estudiante les atribuye la generación del proceso de cambio de posición.

c) Si un cuerpo está en reposo en un determinado instante, las fuerzas que actúan sobre él están equilibradas o existe un desequilibrio de fuerzas en la dirección del futuro movimiento del cuerpo.

En este caso aparecen dos patrones de interpretación diferentes dependiendo de la situación presentada. Si el movimiento es unidimensional (ver Fig. 6), el reposo es explicado como un equilibrio de fuerzas, sin embargo, en el movimiento bidimensional (ver Fig. 3) no parece ser necesaria una fuerza hacia arriba que equilibre el peso para justificar que el cuerpo posee una componente de la velocidad nula en ese instante. Dado que el lanzamiento vertical es un caso particular del lanzamiento parabólico para el caso en el que el ángulo de lanzamiento sea $\alpha = 90^\circ$, la interpretación de los dos movimientos de proyectiles (ver Fig. 6 y Fig. 3) debería ser consistente. Sin embargo este es un caso de *ad-hoc-icidad* a la situación particular que ya habíamos mencionado.

4. Interpretaciones de los estudiantes e historia de la física

Casi todos los investigadores en esta área han sugerido paralelismos entre las interpretaciones de los estudiantes de los problemas de dinámica y las interpretaciones de teorías históricamente superadas (Clement, 1982; Withaker, 1983).

La mayoría de los investigadores, sin embargo, ha llevado estas comparaciones al extremo de sugerir que el pensamiento de los estudiantes es netamente aristotélico o semejante a la teoría del ímpetu cuando interpretan los problemas de movimiento.

Saltiel y Viennot (1985), Lythcott (1985), y nosotros mismos (Sebastiá, 1985a), hemos señalado que los datos existentes no permiten concluir que exista una correspondencia exacta de los patrones de interpretación de los estudiantes de la dinámica del movimiento con ninguna de las interpretaciones históricas de la misma, aunque presenten ciertas semejanzas con varias de ellas.

En el caso de movimiento de proyectiles (ver Fig. 1) el tipo de interpretación se asemeja a las teorías medievales del "ímpetu". Ahora bien, entre las teorías medievales del "ímpetu", la interpretación de los estudiantes parece considerar el "ímpetu" como una fuerza transmitida al objeto que se va consumiendo en el movimiento, más parecida a la "fuerza impresa" de Philoponus (S. VI) o a la "virtus derelicta" de Marchia (S. XIV) que al propio "ímpetu" de Buridan (S. XIV), que era considerado incorruptible y permanente (*res natura permanentis*).

En el caso de movimiento circular, por el contrario, la interpretación de los estudiantes sigue un patrón "cuasi-estático" (ver Fig. 2), según el cual dos fuerzas opuestas garantizan la estabilidad, existiendo otra fuerza extra en la dirección del movimiento "para que siga girando". Este tipo de razonamiento teleológico aparece frecuentemente en la justificación de las "fuerzas extras".

Así pues, la interpretación de los estudiantes, sin coincidir exactamente con ninguna de las teorías prenewtonianas del movimiento manifiesta gran similitud con todas ellas en un aspecto: entender el movimiento, incluso el rectilíneo uniforme, como un "proceso" y no como un "estado".

Si el movimiento es un "proceso" no podrá continuar sin el motor de ese proceso. Un porcentaje elevado de estudiantes (más del 85 %) se manifestaba totalmente de acuerdo con el enunciado "todo lo que se mueve es movido por algo", que tuvo su origen en Aristóteles y se convirtió en la máxima medieval "Omni quod movetur ab alio movetur". Si todo lo que cambia necesita una causa que lo haga cambiar, parece razonar el estudiante, para que exista un cambio de posición se necesitará una causa: la fuerza.

Cuando las fuerzas de interacción evidentes, el peso, la fuerza de una cuerda, etc., están orientadas en la dirección del movimiento el estudiante hace responsables a estas fuerzas de ser las causantes del cambio de posición del objeto y no surgen contradicciones, a primera vista, con la teoría newtoniana. Sin embargo, si las fuerzas de interacción se oponen a la dirección del movimiento, unas fuerzas extra son introducidas por el estudiante ("supply of force", según Viennot, 1979) para evitar la "laguna causal" a la que conduciría un movimiento en una dirección sin algún agente al que atribuir el cambio de posición.

El propio Newton concibió inicialmente dos tipos de fuerza no muy distantes de los que utilizan los estudiantes en sus interpretaciones. La "vis insita" (def. III), o fuerza de la inactividad, que hoy llamamos inercia, en la dirección del movimiento, y la "vis impresa" (def. IV), que es la que corresponde a la fuerza de interacción actual.

Es precisamente la propuesta de Newton de concebir el movimiento como un "estado" un verdadero cambio de enfoque que, rompiendo con la tradición anterior, reorientó las investigaciones posteriores a la indagación de las causas del "cambio de movimiento", ya

que hasta entonces habían estado orientadas a buscar las causas del "movimiento".

5. Interpretaciones de los estudiantes y cambio conceptual

Cambiar el conjunto de conceptos que permiten al estudiante interpretar los hechos no parece tarea fácil. Frecuentemente existe la suposición, en ocasiones implícita, de que las interpretaciones de los estudiantes pueden ser fácilmente reemplazadas exponiendo a los estudiantes a las evidencias de la "teoría verdadera". Sin embargo, nuestros resultados evidencian la falsedad de la suposición anterior.

¿Qué obstáculos encuentra la persona para cambiar su visión del mundo físico? ¿Qué condiciones deben darse para que una persona desechе unas interpretaciones y las reemplace por otras? La respuesta a estas cuestiones es, sin duda, un punto central en el proceso de enseñanza de la ciencia.

Algunos autores han intentado responder a estas preguntas inspirándose en la manera como los científicos cambian, o se resisten a cambiar, su visión del mundo bajo el impacto de nuevas teorías.

El término "paradigma", de Kuhn (1962), ha sido frecuentemente utilizado para describir la red de creencias que configuran la interpretación del estudiante. Sería necesaria una verdadera "revolución conceptual" en la mente del estudiante para que su "paradigma espontáneo" sea transformado en el "paradigma científico".

Watts y Pope (1982) han visto en la propuesta de Lakatos (1972) acerca de las teorías científicas, su evolución y transformación, un paralelismo con las teorías espontáneas que elabora el estudiante. Al igual que las teorías científicas, las teorías de los estudiantes constarían de: una serie de creencias firmemente sostenidas pero irrefutables (hard core), una serie de sugerencias acerca de cómo puede evolucionar la teoría específica (heurística positiva) y un conjunto de predicciones empíricamente contrastables (cinturón protector).

Para Lakatos (1972), las teorías (research programmes) no son simplemente aceptadas o rechazadas, son "progresivas" cuando pueden absorber un contenido creciente de nuevos hechos e integrarlos al conjunto de los enunciados teóricos, o en caso contrario las teorías son consideradas "degenerativas".

En opinión de Posner, Strike, Hewson y Gert-

zog (1982) existe una gran analogía entre los cambios de teorías científicas que menciona Lakatos y los cambios radicales de la estructura conceptual de los estudiantes, que ellos llaman "acomodación". Strike y Posner (1982) aceptan la existencia de recursos intelectuales en el estudiante que le permiten revisar los conceptos centrales de su marco interpretativo (interpretative framework), juzgando conceptos alternativos en función, principalmente, de que puedan resolver los problemas que generaba el anterior marco interpretativo.

Posner, Strike, Hewson y Gertzog (1982) utilizan el término "ecología conceptual" para referirse al sistema de conceptos que sirven a la persona para comprender los fenómenos. Si los nuevos conceptos deben ser incorporados sobre el "background" de la "ecología conceptual" existente en la mente del estudiante, no cabe duda de que las características de esta "ecología conceptual", tendrán que tomarse en cuenta a la hora de explicar la estimulación o inhibición de nuevas acomodaciones. Entre las características básicas de la "ecología conceptual" destacan: las metáforas, las creencias metafísicas, las nociones epistemológicas y las analogías.

Volviendo a los resultados obtenidos en nuestra investigación, en ellos se hacía patente la invariancia de las interpretaciones de los estudiantes. Esta invariancia, o inhibición al cambio conceptual en el caso específico de la interpretación de la dinámica del movimiento, es posible analizarla dentro del modelo propuesto por Posner, Strike, Hewson y Gertzog.

El "ideal explicativo" es, a nuestro juicio, uno de los elementos claves de la "ecología conceptual" que dificulta al estudiante aceptar la teoría de Newton como satisfactoria para interpretar adecuadamente el movimiento.

La relevancia de este factor no es nueva. Toulmin (1972) ya consideró los ideales explicativos como uno de los factores selectivos en las "poblaciones conceptuales". Una diferencia esencial entre lo que resulta aceptable como explicación por el estudiante con lo que la ciencia entiende por explicación se traduciría en un "obstáculo epistemológico" (Bachelard, 1942) que no permitiría un desarrollo de conceptos fuera del marco epistémico aceptado.

Ahora bien, ¿cuál es el ideal explicativo del estudiante para la interpretación dinámica del movimiento? ¿cuál es el modelo explicativo que le presenta el profesor o el libro de texto?

Las interpretaciones de los estudiantes a las si-

tuaciones físicas planteadas están guiadas por un modelo causal de explicación. Como consecuencia, el movimiento inercial es rechazable ya que constituiría un cambio de posición incausado. Por el contrario, las relaciones entre la fuerza y el movimiento poseen las características propias del vínculo causal (Bunge, 1979): a) Condicionalidad; la existencia de fuerzas no equilibradas es una condición necesaria para que ocurra el movimiento. b) Asimetría o sucesión existencial; el movimiento sólo aparece después de la existencia de fuerzas no equilibradas. c) Constancia; siempre que existan fuerzas no equilibradas sobre un cuerpo éste comenzará a moverse o seguirá moviéndose, y d) Productividad; el movimiento es producido por la fuerza.

Queremos destacar dos de estas características, la sucesión existencial y la productividad. Para el estudiante la fuerza precede existencialmente al movimiento, esto explica el porqué en algunos casos el estudiante introduce fuerzas sobre cuerpos que están en reposo pero que comenzarán a moverse un instante después (péndulo que se detiene en el punto de máxima elongación). Esta característica de precedencia de la fuerza al movimiento hace que sea difícil expresar la relación de manera funcional, tal y como es habitual en las leyes y teorías científicas. Para el estudiante, la fuerza produce el movimiento. No es una nueva relación constante entre ambos conceptos, sino que desborda el marco de la semiotización, para llegar a atribuir a la fuerza la generación del movimiento.

Las explicaciones de la mecánica, y en general de la física, siguen otro esquema denominado "modelo de leyes de recubrimiento" ("covering-law model") debido principalmente a Hempel y Oppenheim. Según este modelo un hecho es explicado siempre que exista una ley general de la que pueda deducirse el hecho particular.

Desde este punto de vista, los axiomas de la mecánica proporcionan una buena explicación nomológico-deductiva de cualquier problema de dinámica del movimiento. Aunque este es el modelo explicativo-predictivo que aparece implícito en todos los libros de física, y que transmite el profesor en sus clases, el estudiante no es consciente de su suficiencia y sigue buscando razones que le proporcionen una comprensión más adecuada del fenómeno. Como ya ha señalado Scriven (1970), la comprensión del fenómeno requiere, en ocasiones, una estructura explicativa diferente si quiere llegar a ser satisfactoria. Así pues, con-

sideramos que el "ideal explicativo" que le propone la física al estudiante no parece concordar con lo que él entiende por explicar un fenómeno y por lo tanto utilizará la ley física, en todo caso, para la predicción (mediante algoritmos matemáticos usualmente), pero cuando intente explicar el fenómeno recurrirá a la explicación causal que le resulta más satisfactoria.

6. Implicaciones para la enseñanza

Los resultados obtenidos confirman que el marco interpretativo de los estudiantes permanece prácticamente inalterado por la enseñanza formal, lo cual destaca la poca efectividad del diseño instruccional que ha venido utilizándose para la enseñanza de la física.

Consideramos que las implicaciones educacionales de los resultados deben ser de dos tipos: a) determinar los factores de diseño instruccional actual que resultan inoperantes a la hora de inducir cambios conceptuales, y b) sugerir las modificaciones que podrían ser consistentes con la perspectiva de cambio conceptual.

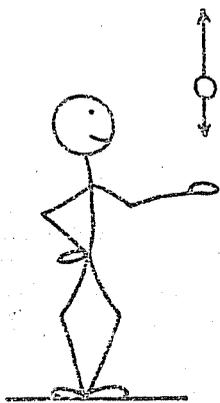
Entre los factores que parecen ser poco efectivos para fomentar cambios conceptuales de la dinámica del movimiento en los estudiantes nos atrevemos a señalar: 1) *Los libros de texto*, que plantean la física de una manera intuitiva, presentando los conceptos aislados de la teoría que les da significado (Sebastiá, 1985b, Zylbersztajn, 1985). Por ejemplo, el concepto de fuerza es presentado habitualmente como "la sensación al halar o empujar un cuerpo". Esta manera de entender la fuerza es común a todas las teorías dinámicas y es precisamente en la teoría de Newton donde la fuerza alcanza una significación mucho más amplia al ser relacionada con la interacción a distancia.

Esta manera de plantear el tema en los libros de texto, esencialmente influidos por el positivismo-lógico (Marquit, 1978) parece resultar nefasta en cuanto a la modificación del pensamiento espontáneo. Por otro lado, la mayoría de los libros de texto comienzan el tema de dinámica con una frase similar a ésta: "Hasta ahora hemos estudiado el movimiento sin atender a las causas que lo producían, a partir de ahora vamos a estudiar el movimiento atendiendo a sus causas, es decir: las fuerzas". El planteamiento anterior es, cuanto menos, peligroso por dos razones: primero porque el término causa es un término filosófico de significaciones ambiguas y segundo porque la fuerza no es la causa del movimiento sino, en

todo caso, del cambio de movimiento. 2) *Los docentes de física*, (Helm, 1980; Saltiel y Malgrange, 1980; Sebastiá, 1984; Zylbersztajn, 1985). Los datos obtenidos evidencian que muchas de las concepciones erradas que existen en los estudiantes persisten también en sus profesores, por lo tanto, la preparación de los docentes requiere ser urgentemente revisada si se quiere que, al menos, sean conscientes de este tipo de concepciones previas de los estudiantes y eviten reforzarlas. De confirmarse el predominio de factores de tipo epistemológico y metafísico entre los obstáculos que encuentran los estudiantes para la aceptación de teorías científicas, una revisión a fondo de las currículas de física y de la formación de profesores sería necesaria y urgente (Nadeau y Désautels, 1982; Novak, 1983).

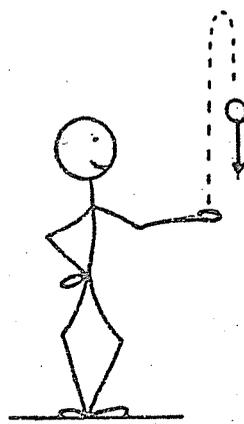
Algunas modificaciones de la enseñanza de la física, consistentes con la perspectiva de cambio conceptual, han sido llevadas a cabo en pequeña escala, utilizando nuevas estrategias de aula (Nussbaum y Novick, 1980) o diseñando nuevos materiales escritos (Rosenquist y Mc Dermott, 1983). Sin embargo, estas experiencias no han resultado demasiado exitosas, o han terminado en rotundos fracasos (Smith y Lott, 1983).

Nos atrevemos, con el riesgo de resultar demasiado audaces y excesivamente simplistas, a señalar algunos aspectos que podrían resultar beneficiosos para propiciar un cambio conceptual en la mente del estudiante. Primero, una visión evolutiva o histórica de la física. Parece razonable que si el estudiante conociese diferentes interpretaciones de un mismo fenómeno sería más cauteloso a la hora de utilizar los conceptos y podría analizar su significado dentro de cada teoría aunque, como ha señalado French (1983), hay que evitar el peligro de distorsionar y falsear la historia al ser utilizada como motivador para enseñar contenidos de física. Segundo, una discusión de los aspectos filosóficos que aparecen en los cursos de física. Términos como causa-efecto, contrastación, explicación, por sólo-citar algunos, son utilizados "alegremente" en física, sin detenerse en su posible mal-interpretación. Tercero, una discusión de las interpretaciones de los estudiantes contrastadas con las de algunas teorías históricas. Parece recomendable, y así lo han sugerido algunos autores (Champagne Klopfer y Anderson, 1980; Erickson, 1980) explicitar las interpretaciones de los estudiantes para ser discutidas en pie de igualdad con las de Aristóteles, Bonetus, Aquinas, Galileo o Newton.



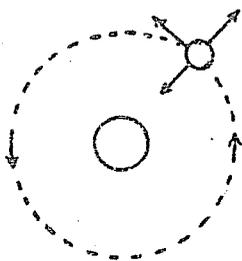
Nivel	%
L. 0	80
L. 1	85
L. 2	90
L. 3	85

Figura 1 - Pelota subiendo. Diagrama de las fuerzas sobre la pelota más apropiado, según la interpretación de los estudiantes.



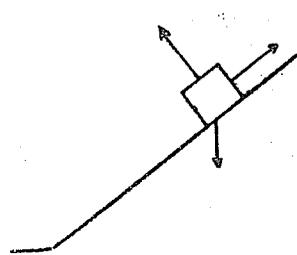
Nivel	%
L. 0	61
L. 1	62
L. 2	85
L. 3	75

Figura 4 - Pelota bajando. Diagrama de fuerzas sobre la pelota más apropiado, según la interpretación de los estudiantes.



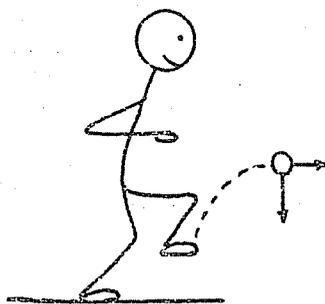
Nivel	%
L. 0	65
L. 1	53
L. 2	58
L. 3	60

Figura 2 - Luna girando alrededor de la Tierra. Diagrama de fuerzas sobre la Luna más apropiado, según la interpretación de los estudiantes.



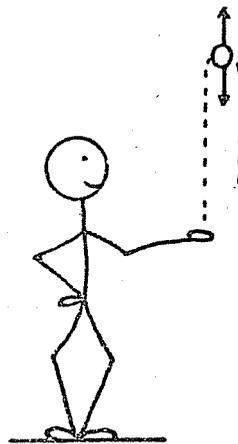
Nivel	%
L. 0	45
L. 1	60
L. 2	75
L. 3	55

Figura 5 - Bloque subiendo por un plano inclinado. Diagrama de las fuerzas que actúan sobre el bloque más apropiado, según la interpretación de los estudiantes.



Nivel	%
L. 0	58
L. 1	59
L. 2	50
L. 3	56

Figura 3 - Pelota en el punto más alto. Diagrama de las fuerzas sobre la pelota más apropiado, según la interpretación de los estudiantes.



Nivel	%
L. 0	65
L. 1	66
L. 2	72
L. 3	80

Figura 6 - Pelota en el punto más alto. Diagrama de las fuerzas sobre la pelota más apropiado, según la interpretación de los estudiantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AXT, R.: 1985. Conceitos intuitivos em questoes objetivas aplicadas no concurso vestibular unificado da Universidad Federal de Rio Grande do Sul. *VI Simposio Nacional de Ensino de Física*. Rio de Janeiro. Brasil.
- BACHELARD, G.: 1942. *La formation de l'esprit scientifique*. Librairie Philosophique. Vrin. Paris.
- BRAITHWAITE, R. B.: 1959. *Scientific Explanation*. Cambridge University Press. Cambridge.
- BRUNER, J. S.: 1978. *El proceso mental en el aprendizaje*. Ediciones Narcea. Barcelona.
- CHAMPAGNE, A. B., KLOPFER, L. E. & ANDERSON, J. H.: 1980. Factor influencing the learning of classical mechanics. *American Journal of Physics*. Vol. 48, pp. 1074-1079, 1980.
- CLEMENT, J. J.: 1982. Students preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*. Vol. 50, pp. 66-71, 1982.
- CRISCUOLO, G. & WESTPHAL, J.: 1985. Sistemas conceptuales alternativos, su interpretación y su efecto en la enseñanza. *III Jornada de Enseñanza de la Física*. Centro Nacional para el Mejoramiento de la Enseñanza de la Ciencia. Caracas.
- ERICKSON, G. L.: 1979. Children's conceptions of heat and temperature. *Science Education*. Vol. 63, pp. 221-230, 1979.
- FRENCH, A. P.: 1983. Pleasures and dangers of bringing history into physics teaching. *Using history of physics in innovative physics education*. The Pavia Conference.
- GILBERT, J. K., WATTS, D. M. & OSBORNE, R. J.: 1982. Students conceptions of ideas in mechanics. *Physics Education*. Vol. 17 pp. 62-66, 1982.
- HANSON, N. R.: 1958. *Patterns of discovery*. Cambridge University Press. Cambridge.
- HELM, H.: 1980. Misconceptions in physics amongst south african students. *Physics Education*. Vol. 15, pp. 92-97, 1980.
- HERRÓN, J. D., CANTU, L. L., WARD, R. & SRINIVASAM, V.: 1977. Problems associated with concept analysis. *Science Education*. Vol. 61, pp. 185-199, 1977.
- KELLY, G. A.: 1955. *The psychology of personal constructs*. W. W. Norton & Co, Inc. New York.
- KLAUSMEIER, J. H., GHATALA, E. S. & FRAYER, D. A.: 1974. *Conceptual learning and development: a cognitive view*. Academic Press. Chicago.
- KUHN, T. S.: 1962. *The structure of scientific revolutions*. The University of Chicago Press. Chicago.
- LAKATOS, I.: 1972. Falsification and the methodology of scientific research programmes. In *Criticism and the growth of knowledge*. Lakatos & Musgrave Edit. pp. 91-196.
- LEBUTET, L. & BARREL, J.: 1976. Concepts of mechanics among young people. *Physics Education*. Vol. 11, pp. 462-465, 1976.
- LYTHCOTT, J.: 1985. "Aristotelian" was given the answer, but what was the question? *American Journal of Physics*. Vol. 53, pp. 428-432, 1985.
- MARQUIT, E.: 1978. Philosophy of physics in general physics books. *American Journal of Physics*. Vol. 46, pp. 784-789, 1978.
- Mc DERMOTT, L. C.: 1984. Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today*. Vol. 46, pp. 24-32, 1984.
- NADEAU, R. & DESAUTELS, J.: 1982. *Epistemologie et didactique des sciences*. Document de travail. Université du Québec à Montréal.
- NOVAK, J. D.: 1983. Metalearning and metaknowledge instruction as strategies to reduce misconceptions. *International seminar of misconceptions in science and mathematics*. Ithaca. New York.
- NUSSBAUM, J. & NOVICK, S.: 1980. *Brainstorming in the classroom to invent a model: a case study*. The Hebrew University. Jerusalem Teaching Centre.
- POSNER, G. J., STRIKE, K. A., HEWSON, P. W. & GERTZOG, W. A.: 1982. Accomodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*. Vol. 66, pp. 211-227, 1982.
- ROSENQUIST, M. L. & Mc DERMOTT, L. C.: 1983. *Properties of matter*. Physics Education Group. University of Washington. Seattle.
- SALTIEL, E. & MALGRANGE, J. L.: 1980. Spontaneous ways of reasoning in elementary kinematics. *European Journal of Physics*. Vol. 1, pp. 73-80, 1980.
- SCRIVEN, M.: 1970. Explanations, predictions & laws. In *Readings in the Philosophy of Science*. Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs. New Jersey.
- SEBASTIA, J. M.: 1984. Fuerza y Movimiento: la interpretación de los estudiantes. *Enseñanza de la Ciencia*. Vol. 2, pp. 161-169, 1984.
- SEBASTIA, J. M.: 1985a. Spontaneous interpretations in physics: the problem of motion. *XX Interamerican Congress of Psychology*. Caracas.
- SEBASTIA, J. M.: 1985b. Interpretaciones espontáneas de la dinámica del movimiento. *Primer Congreso Internacional sobre la Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas*. Barcelona.
- SMITH, E. L. & LOTT, G. W.: 1983. Teaching for conceptual change: some ways to go wrong. *International seminar of mis-conceptions in science and mathematics*. Ithaca. New York.
- STRIKE, K. A. & POSNER, G. J.: 1982. Conceptual change and science teaching. *European Journal of Science Education*. Vol. 4, pp. 231-240, 1982.
- TEIXEIRA, S. K. & VILLANI, A.: 1985. Concepções espontaneas sobre força e peso. *VI Simposio Nacional de Ensino de Física*. Rio de Janeiro. Brasil.
- TOBON, R. & PEREA, A.: 1985. Problemas actuales en la enseñanza de la física. *Revista de Enseñanza de la Física*. Vol. 1, pp. 7-15, 1985.
- TOULMIN, S.: 1972. *Human understanding. Vol. 1: The collective use and evolution of concepts*. Princeton University Press. Princeton.
- VIENNOT, L.: 1979. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*. Vol. 1, pp. 205-221, 1979.
- VIENNOT, L.: 1985. Analyzing student's reasoning: tendencies in interpretation. *American Journal of Physics*. Vol. 53, pp. 432-436, 1985.
- WATTS, D. M. & POPE, M. L.: 1982. *A lakatosian view of the young personal scientist*. Institute of Educational Technology. University of Surrey. Guildford.
- WESTPHAL, J.: 1984. Concepciones alternas en mecánica. *Simposio sobre concepciones previas en el aprendizaje de las ciencias*. Cumaná. Venezuela.
- WHITAKER, R. J.: 1983. Aristotle is not dead. *American Journal of Physics*. Vol. 51, pp. 352-355, 1983.
- ZYLBERSZTAJN, A.: 1985. Concepções alternativas e ensino de física. *VI Simposio Nacional de Ensino de Física*. Rio de Janeiro. Brasil.

Octubre, 1986.