

# HISTORIA DE



# LAS CIENCIAS Y ENSEÑANZA

---

## ¿QUE APRENDEMOS DE LAS SEMEJANZAS ENTRE LAS IDEAS HISTORICAS Y EL RAZONAMIENTO ESPONTANEO DE LOS ESTUDIANTES?

SALTIEL, E., VIENNOT, L.

L.D.P.E.S. Université Paris 7, 2 Place Jussieu Paris. France.

(Traducido por J. Carrascosa Alís)

---

### SUMMARY

Many studies are now available concerning the intuitive ideas of children and students in Science, and a large number of these also refer to difficulties encountered in the historical development of theories. This is especially the case in mechanics, which gave rise to parallels between students' misconceptions and Aristotle's or preclassical theories. It is very common to qualify, even with no special justification, such and such intuitive response as «Aristotelian». The questions discussed in this paper are the following: —to what extent are such parallels justified? For instance, is there a stage in the historical development of mechanics theories which fits the spontaneous reasoning of our students?

—At a second level, what are the implications of such a parallel and what do we learn from this? Does it really help us interpret students' responses and to what extent does it guide our teaching strategies?

---

### INTRODUCCION

En los últimos años se ha prestado una considerable atención a los conceptos científicos que poseen niños

y estudiantes. Se disponen ahora de muchos resultados que muestran cómo los estudiantes tienen ideas

arraigadas acerca de fenómenos, diferentes de lo que a ellos se les enseña en la escuela. Estas concepciones «intuitivas» o «pre-instruccionales» o «alternativas», pueden ser altamente resistentes al cambio. Las implicaciones de esta investigación en las interacciones enseñanza-aprendizaje son profundas, y parece cada vez menos posible la ignorancia de tal pre, o extra-instruccionales conocimiento. Ver por ejemplo la revisión sobre mecánica de Mc Dermott (1984).

Un problema que atañe a la mayoría de los investigadores en este campo es el evitar dar simplemente un catálogo de tales ideas «intuitivas» y buscar una estructura interna en esas concepciones. Verdaderamente una descripción sintética (1) de lo que los estudiantes piensan es más fácil de tener en cuenta que una lista de típicas preguntas y respuestas, y es probable que proporcione algunas pistas para unas estrategias de enseñanza-aprendizaje más eficaces.

Una de las referencias usadas por los investigadores en este intento es la de la historia de la ciencia. En mecánica, particularmente, los razonamientos de los estudiantes evocan a menudo periodos preclásicos de la correspondiente teoría. Esto puede originar algunos tipos de preguntas:

- Dadas las ideas «intuitivas» de distintos estudiantes o niños, ¿en cuál periodo del desarrollo histórico de la ciencia podemos encajarlas mejor, y hasta qué punto funciona este paralelismo? En el caso de mecánica por ejemplo, se ha mostrado (Lythott 1983), (Viennot 1983) que la designación de Aristotélicas, a menudo utilizada para las ideas previas, es bastante cuestionable. Estas donde mejor encajan es en las llamadas teorías de ímpetus. Nosotros mostraremos algunas similitudes (McCloskey 1983), (Viennot 1979a), (Saltiel 1978), (Clement 1982), justificando tal paralelismo (apartado 1), y también expresaremos algunas reservas (apartado 2).
- A nivel más profundo, cabría preguntarse: ¿Cuáles son los resultados del establecimiento de tal paralelismo?, ¿Qué aprendemos de él?, ¿Ayuda realmente a interpretar las respuestas de los estudiantes y a diseñar nuevas estrategias de enseñanza? Nosotros propondremos algunos elementos de discusión sobre estos puntos (apartado 3). Los conceptos abordados serán el movimiento y sus relaciones con aspectos dinámicos como «fuerza», «energía»..., o simplemente «causa». El marco teórico de referencia serán las leyes de Newton.

## 1. UN INTENTO DE PARALELISMO: LAS TEORIAS PRECLASICAS Y LAS CONCEPCIONES DE LOS ESTUDIANTES EN MECANICA

Permítasenos primero recordar paralelamente algunos componentes del razonamiento espontáneo de los es-

tudiantes adultos y las principales características de las «Teorías de ímpetus». Dichas teorías que datan del siglo VI (J. Philopon) y fueron desarrolladas principalmente sobre el siglo XIV, están todavía en el fondo del pensamiento de Galileo.

### 1.1 Una causa que está dentro del objeto

El principal punto en común entre la teoría del ímpetu y el razonamiento espontáneo es el siguiente: Movimiento implica una causa y, cuando es necesario, esta causa puede ser localizada dentro del cuerpo que se mueve.

Así muchos autores han señalado (Mc Dermott 1984) que al tratar con el movimiento de una bola lanzada hacia arriba, los estudiantes dicen: «La bola continúa moviéndose hacia arriba después de lanzada porque tiene una fuerza hacia arriba», «A la bola se la ha dado una fuerza hacia arriba en el lanzamiento», «La fuerza de la bola», etc. De la misma forma, el ímpetu de las teorías pre-galileanas, es una cantidad almacenada en el móvil, que explica su movimiento. El siguiente párrafo de Bonamici (De Motu) da algunos detalles sobre lo que podría llamarse una «capacidad de ímpetu». (Citado por Koyré 1966).

«Por ello Philopon y tras él Santo Tomás, y muchos otros, pensaban que la fuerza era comunicada por el primer motor, no al aire, sino al móvil, esto es a la piedra. Y esta es llevada tanto más lejos y más rápidamente, según que la fuerza que se le dé sea mayor; sin embargo, esta fuerza es recibida a veces más fácil y rápidamente que otras en donde se recibe con más dificultad y más lentamente, estando todo ello en función de los factores que facilitan el movimiento, tales como la forma (geométrica), el tamaño, la cantidad de materia etc, factores a los que hemos llamado los más altos factores concomitantes al movimiento. Así, una lanza es llevada más lejos que un cuerpo cuadrado, y una cuerda tensa vibrará más tiempo y golpeará más fuerte que una floja, porque recibe mejor el ímpetu y lo mantiene por más tiempo».

Este rasgo, común al razonamiento espontáneo y a las teorías del ímpetu, es decir, adscribir la causa dinámica del movimiento al móvil mismo, no está presente por ejemplo en el pensamiento de Aristóteles. Este realmente definía en primer lugar los «movimientos naturales» como movimientos de cuerpos que van hacia un «lugar natural», de acuerdo con una especie de orden cosmológico. Esta clase de movimiento, como resalta Jean Lythott en su reciente artículo (1983), no requiere fuerza alguna para ser explicado.

En cuanto a los «movimientos violentos», por ejemplo el movimiento hacia arriba de objetos lanzados, requieren una explicación, ya que es difícil de entender por qué continúan moviéndose hacia arriba, después de haber sido liberados. De ahí que en la teoría Aristotélica haya una argumentación muy complicada im-

plicando movimientos del aire alrededor del proyectil, es decir, una causa que en este caso es externa al objeto.

Así de acuerdo con el primer aspecto (causa del movimiento interna o externa al objeto), el razonamiento espontáneo está mucho más cercano a las teorías del ímpetu que a las de Aristóteles.

**1.2. Un ímpetu que puede ser gastado o aumentado por fuerzas exteriores**

Conviene precisar (Ver apartado 1.1.) que el ímpetu o «fuerza» adscrito al proyectil, es visto en las teorías preclásicas, al igual que en los comentarios de nuestros estudiantes, como un tipo de «provisión de fuerza» que puede ser gastada por otras fuerzas si el movimiento y esas fuerzas están en dirección opuesta.

El ejemplo típico es, de nuevo, un movimiento hacia arriba en contra de la gravedad, como se muestra en la respuesta a la pregunta ¿Qué fuerza(s) está(n) actuando sobre la masa M? (Ver figura 1<sup>a</sup>).

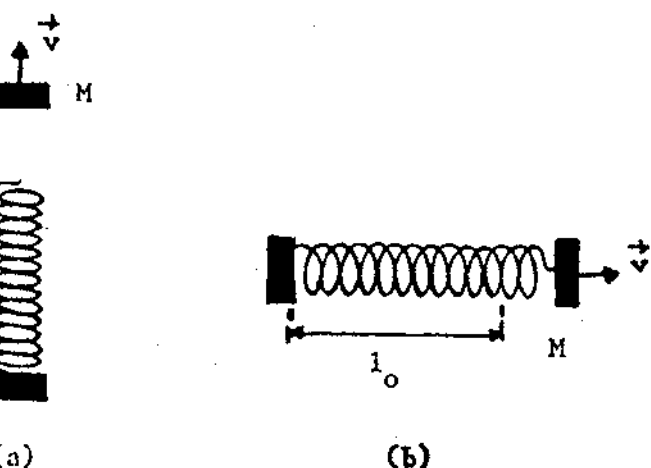


Figura 1

«La fuerza de propulsión está actuando todavía durante la parte ascendente del movimiento, pero gradualmente se gasta. Cuando se iguala al peso, la bola se para, y entonces comienza a caer». (Estudiante en primer año de universidad).

Galileo en su De Motu, razona de igual forma, excepto que la fuerza de propulsión es remplazada, en el texto de Galileo, por una ligereza «praeter naturam» impresa al cuerpo por el propulsor.

En el razonamiento de nuestros estudiantes es también usual observar tales comentarios, por ejemplo, para una masa que dada su velocidad, alarga un muelle horizontal más allá de su longitud normal, (fig. 1.b.).

**1.3. Una variedad de denominaciones**

Como puede observarse en las respuestas de los alum-

nos, la «provisión de fuerza» que se compara al «ímpetu» de las teorías preclásicas, puede ser evocada bajo una variedad de designaciones: «fuerza», «cantidad de movimiento», «energía», «velocidad»... de la masa. Este era también el caso para el ímpetu. El término era a menudo remplazado o apoyado por alguno de los siguientes: «una especie de fuerza... de gravedad». «una potencia de movimiento», «una especie de ligereza», «una potencia», «una cantidad de movimiento» u otros que se expresan mejor en Latín: «habitus», «virtus impressa» (ver por ejemplo Bonamici De Motu 1).

Esto muestra que el nombre usado no importa tanto como las propiedades de la idea evocada. Permítase-nos repetir que la principal característica es la de ser una causa adscrita al objeto.

**1.4. Indiferenciación entre conceptos solo recientemente definidos: fuerza, energía, velocidad, cantidad de movimiento**

Este indistinto uso de términos, no debería, sin embargo, ser considerado como una simple sustitución verbal. Ello indica más bien un tipo de mezcla conceptual entre aspectos escalares y vectoriales por una parte, y aspectos cinemáticos, dinámicos, y energéticos por otra.

Se observa todavía con frecuencia que los estudiantes suman sobre un diagrama una fuerza y una velocidad (Viennot 1979) (Saltiel et al 1980) o escriben relaciones no homogéneas entre una fuerza y una energía, tal como: « $1/2 kx^2 > mg$ » en el caso de la figura 1a. Este último tipo de error no debería de tomarse como una simple falta de atención: ha sido demostrado (Viennot 1979) que aparece selectivamente cuando los estudiantes utilizan como tipo de razonamiento «un suministro de fuerza».

**2. ALGUNAS RESERVAS**

Estas son las más notables semejanzas entre la teoría del ímpetu y el razonamiento espontáneo actual de los adultos. Pero como cabría esperar este paralelismo no debe ser tomado en un sentido estricto:

a) Esas dos formas de razonamiento se han desarrollado en contextos demasiado diferentes para poder influirse. Por ejemplo, históricamente surgieron dificultades en torno al hecho de que diferentes tipos de ímpetu pudieran o no coexistir en el mismo proyectil (tal era el caso para Tycho Brahe). Esto se refería a la muy marcada distinción aristotélica entre movimientos naturales y violentos, que explicaba cada tipo de movimiento por un tipo diferente de ímpetu. La dificultad se superó pronto, por ejemplo por J. Benedetti en De Mechanics cuando analiza la caída libre de un objeto lanzado (citado por Koyré 1966). Pero el hecho es que históricamente ha constituido un obstáculo, mientras que en nuestro razonamiento cotidiano no se corresponde con ninguna clase de dificultad.

b) En segundo lugar, las teorías del ímpetu contienen tantas variantes que no es simple establecer un estricto y único paralelismo con el razonamiento espontáneo de hoy en día. Las múltiples facetas del ímpetu aparecen especialmente cuando están en juego cuestiones difíciles. Este es el caso del movimiento circular, el cual dio lugar a dos formas de pensamiento bastante diferentes, cada una bloqueando temporalmente la evolución de la teoría hacia su forma clásica. Una es próxima a un análisis aristotélico. Es la noción de «ímpetu circular», que sirvió como fundamento de la idea de que el movimiento circular alrededor de la tierra era natural con un significado próximo al aristotélico. Galileo fue obstaculizado en su progresión hacia el principio de la inercia por esta idea. Algunos resultados de investigaciones recientes, especialmente los obtenidos por Mc Closkey y otros (Mc Closkey et al. 1980), sugieren la existencia entre los estudiantes de un razona-

miento que podría describirse en términos de ímpetu circular. Una vez comenzado un movimiento circular, continuará en ausencia de una fuerza externa neta. Sin embargo esta forma de razonamiento no es la más resistente al cambio. Un segundo tipo de ímpetu también ligado al movimiento circular está dirigido hacia afuera, de manera que es un poco contradictorio con el «ímpetu circular» mencionado primeramente.

Esta vez el análisis básico implica, probablemente en mayor medida, aspectos dinámicos. Se da por sentado que una piedra girando al extremo de un hilo en un movimiento circular está en equilibrio entre dos fuerzas: Una es la tensión del hilo y la otra la fuerza centrífuga dirigida radialmente.

Se admite que si uno corta el hilo, solo la fuerza centrífuga actúa sobre la piedra, la cual por lo tanto sale despedida radialmente hacia afuera. (figura 2).

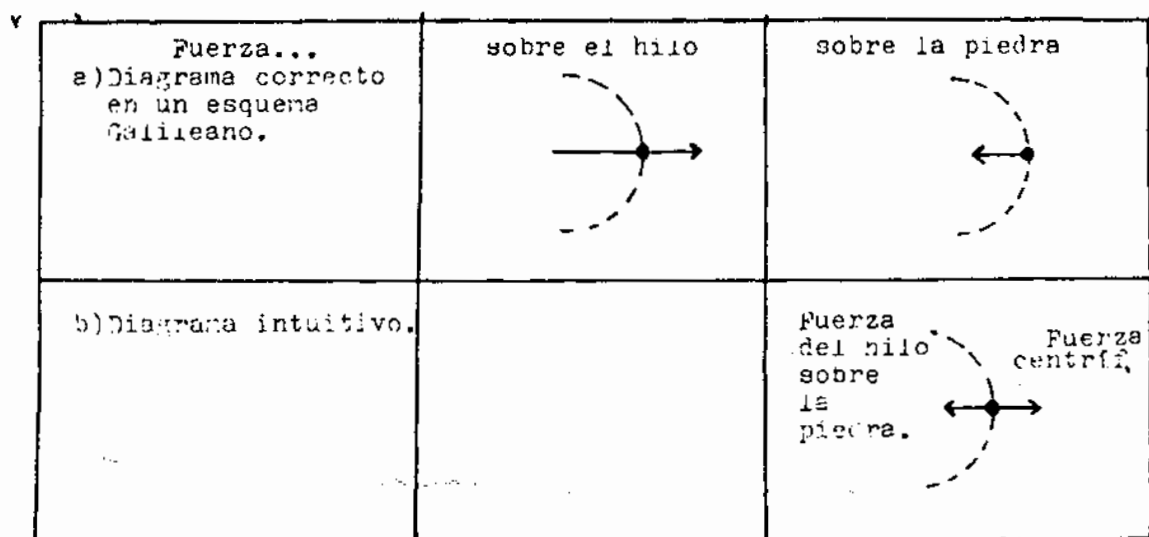


Figura 2: Diagrama de fuerzas para una piedra girando, sujeta al extremo de un hilo.

Tales respuestas (Viennot 1979b) son coherentes con las confusiones entre, por una parte, la ley de acción-reacción, (de acuerdo con la cual piedra e hilo ejercen dos fuerzas opuestas *la una sobre el otro*, fig. 2a, in-

dependientemente de su movimiento y por otra parte, un supuesto equilibrio dinámico entre dos fuerzas actuando *sobre el mismo objeto*, que podría «justificar» el equilibrio radial (fig 2b).

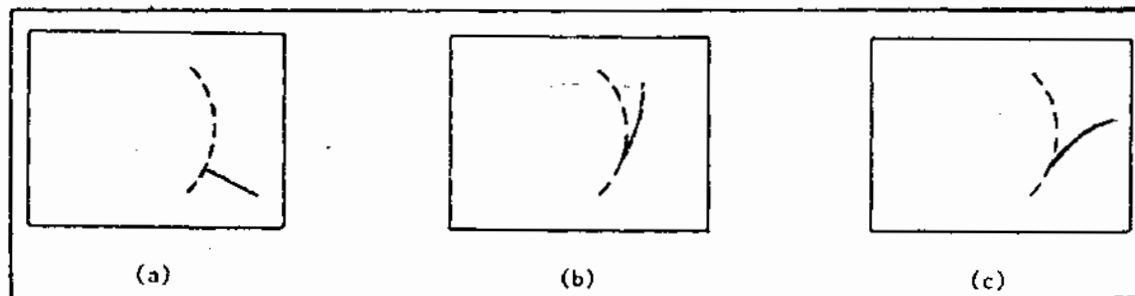


Figura 3: Proyección horizontal de trayectorias dibujadas por estudiantes para un objeto dejado libre (a,b,c) o lanzado (b,c) desde un vehículo que gira.

Esta fuer que

Este mar de u ma prof hícu tray y es: deb: prof

c) U to p mie clás serv plo de ja o n disc te, un a la y si neg el p no 196 hat aut «... cue son tud dej co, mi que mo lan

Ob tar En cia (Sa del «C ent la el: ra bo A. to La

EN:

Estas confusiones se dan más fácilmente cuando las fuerzas son adscritas al proyectil sin más especificación que simplemente «fuerza de... (la piedra)».

Este es un rasgo del razonamiento extremadamente marcado, que puede estar asociado o no con la idea de un ímpetu tangencial. Confrontados con el problema de una naranja lanzada desde un tío-vivo o con el problema equivalente de un cubito de hielo en un vehículo que gira, los estudiantes muy a menudo dan las trayectorias con las formas dibujadas en la figura 3, y esto sin tener en cuenta los sistemas de referencia que deberían ser considerados de forma precisa en tales problemas.

c) Un tercer aspecto que limita la validez de un estricto paralelismo entre la teoría del ímpetu y el razonamiento espontáneo es que a veces el pensamiento preclásico fue mucho más lejos que los que nosotros observamos en nuestros estudiantes. Tomemos el ejemplo de la relatividad. El objetivo era saber si un objeto dejado en libertad desde un soporte móvil, mantenía, o no, el movimiento del soporte. De ahí las famosas discusiones sobre balas disparadas hacia el este o el oeste, o sobre una piedra dejada caer desde el mástil de un barco. Todas estas controversias giraban en torno a la búsqueda de una conexión física entre el objeto y su soporte previo. En ausencia del tal conexión, se negaba la persistencia del movimiento del soporte en el proyectil. Pero el siguiente párrafo de Giordano Bruno en *La Cena de la Ceniza III*, 5 (citado por Koyré 1966) muestra que un adepto de la teoría del ímpetu había alcanzado una comprensión muy clara de una auténtica relatividad.

«... La piedra que suelta la mano de alguien que se encuentra a bordo de un barco, y en consecuencia está sometida al movimiento de este, posee una cierta virtud impresa, que la otra no posee, dado que ha sido dejada de la mano del que se encuentra fuera del barco, y esto ocurre así a pesar de que ambas tengan la misma gravedad y viajen por el mismo aire, siempre que ellas partan (en la medida de lo posible) del mismo punto y hayan sido sometidas al mismo lanzamiento».

Obviamente muchos de nuestros estudiantes universitarios de primer curso, no comparten estas claras ideas. Enfrentados con el problema de una bola lanzada hacia arriba desde un pavimento móvil (Mc Closkey 1983) (Saltiel 1980) ellos esperarían que la bola cayese detrás del lanzador porque:

«Cuando la bola está en el aire no hay contacto físico entre ella y el pavimento» o «El contacto físico entre la bola y el soporte se rompe cuando la bola está en el aire, de forma que dado que no hay causa física para un movimiento horizontal, éste se interrumpe». «La bola pierde instantáneamente su velocidad horizontal» Aún más: «Cuando la bola está en el aire, el pavimento móvil se desplaza hacia adelante».

La trampa es aquí, como en las discusiones mediava-

les, la búsqueda de un nexo físico de unión que asegure la permanencia del movimiento y no un razonamiento en términos de ímpetu. Algunos estudiantes asignan a la fricción del aire, el papel de tal nexo físico, por ejemplo cuando intentan resolver el problema de una bola lanzada verticalmente desde dentro de un tren:

«El lanzador recibe la bola en su mano porque el aire se está moviendo a la misma velocidad que el tren; si no hubiera aire en el tren la bola caería detrás del lanzador».

### 3. BUSCANDO DIFICULTADES PERSISTENTES: ¿UNA CLAVE MEJOR PARA ANALIZAR EL RAZONAMIENTO DE LOS ESTUDIANTES?

Las consideraciones precedentes nos llevan a esta conclusión: un paralelismo entre el razonamiento espontáneo y un cierto periodo histórico puede funcionar pero solo parcialmente. Ello obviamente, no nos dispensa de investigar más profundamente las concepciones de nuestros estudiantes. Sería una actitud excesivamente simplista el adscribir un completo paradigma histórico, digamos Aristotélico o Pre-Galileano, a un estudiante por la única razón de que haya cometido un cierto error, un grupo de errores incluso. (Lythott. 1983).

A fortiori parecería poco razonable predecir solamente sobre la base de consideraciones históricas, cómo se transformará y evolucionará el pensamiento de un estudiante, aunque resulte obvio decirlo.

Finalmente: ¿Aprendemos algo de tales consideraciones? Proponemos una respuesta parcial a esta pregunta: Nos parece que buscar permanentes o largos y duraderos aspectos de teorías históricas es por lo menos tan interesante como el intentar centrarse en un periodo determinado. Un paradigma histórico se ajustará más o menos a las concepciones de nuestros estudiantes, pero no nos da ninguna sugerencia de la resistencia relativa de los diferentes aspectos de ese esquema conceptual. Incluso si la palabra sugerencia es deliberadamente restrictiva, parece válido buscar informaciones de este tipo en los aspectos «constantes» o de «larga duración» del pensamiento histórico. Veamos dos ejemplos:

#### 3.1. Diferentes estados de reposo y movimiento. Idea de un espacio absoluto

Desde Aristóteles, reposo y movimiento, han venido siendo dos cosas diferentes; esta diferencia enraizaba en la idea de un orden cosmológico según el cual los objetos tenían un lugar definido en un espacio absoluto. De todas esas ideas, por lo menos dos, han sobrevivido largamente: la diferencia entre reposo y movimiento, y la idea de un espacio absoluto.

Los pensadores pregalileanos, como ya hemos visto, habían llegado al punto en el que la existencia de dife-

rentes puntos de vista sobre el mismo movimiento, era concebida y analizada en términos de movimiento de los observadores. Pero el problema fundamental, continuó siendo qué descripción correspondía al verdadero movimiento. El criterio de «realidad» estaba considerado como la causa explicativa del movimiento (el verdadero o real) con respecto a un espacio absoluto. De hecho, Galileo (citado por Koyré 1966) comenzó en «Diálogo sobre los grandes sistemas del mundo», a luchar en contra de esta forma de pensar, siendo muy cauteloso al estudiar el movimiento en sí mismo, sin tener en cuenta sus causas:

«Observemos que el movimiento es movimiento y actúa como movimiento solamente en tanto que está en relación con las cosas que no tienen movimiento, pero con respecto a aquellas cosas que participan igualmente, no tiene efecto alguno. Es como si no existiera».

En el siguiente párrafo, Galileo (citado por Jammer 1975) especifica cuán suspicaz se siente acerca de las «causas»:

«Pero nosotros no entendemos realmente qué principio de virtud mueve una piedra hacia abajo más de lo que conocemos que la mueve hacia arriba cuando es separada del lanzador; o qué hace girar la luna, excepto posiblemente (como he dicho) solamente ese nombre, que más específica y adecuadamente, hemos asignado al movimiento de descenso, o sea: gravedad. Para la causa del movimiento circular, en términos más generales nosotros asignamos la denominación «virtud impresa» y concebimos la misma como una «inteligencia» que asiste o informa; y en infinidad de otros movimientos, consideramos como su causa a la Naturaleza».

Ya hemos visto aquí, cómo Galileo mismo, no estaba libre de otros «errores conceptuales» cercanos a los aristotélicos, por ejemplo la idea de un movimiento circular natural alrededor de la tierra. Sin embargo él había preparado el camino para una clara distinción entre cinemática y dinámica, igual que hizo Gassendi (*De Motu*, 1642).

A pesar de ello, la idea de movimiento verdadero o reposo, se encuentra todavía firmemente enraizada en Newton, al igual que la creencia en la existencia de un espacio absoluto. Los dos párrafos siguientes muestran muy claramente y al mismo tiempo, una definición muy precisa de «movimientos relativos» (él fue el primero en usar esta denominación) así como una distinción fundamental entre movimientos verdaderos o absolutos y movimientos relativos o aparentes:

«Movimiento absoluto es la traslación de un cuerpo desde un lugar absoluto a otro; y movimiento relativo la traslación desde un lugar relativo a otro...

Las fuerzas impresas sobre los cuerpos para generar movimiento son las causas por las cuales se distinguen los movimientos verdaderos de los relativos. El movimiento verdadero sólo puede ser generado o alterado

mediante alguna fuerza impresa sobre el cuerpo; pero el movimiento relativo puede ser generado o alterado sin ninguna fuerza impresa sobre el cuerpo...

Los efectos que distinguen el movimiento absoluto del relativo son las fuerzas de reacción desde el eje del movimiento circular, ya que no hay tales fuerzas en un movimiento circular puramente relativo, pero sí en un movimiento circular verdadero y absoluto, siendo estas mayores o menores, de acuerdo con la cantidad del movimiento...

Es realmente un asunto de gran dificultad, descubrir y distinguir efectivamente los verdaderos movimientos de determinados cuerpos de los aparentes, porque las partes de ese espacio inmóvil en el cual tienen lugar esos movimientos, en modo alguno pueden ser captadas por nuestros sentidos». (Newton, *Principia*; citado por Jammer 1969).

El famoso experimento de un vaso girando, sería un argumento decisivo para que Newton (*Principia*, citado por Jammer) decidiese (hasta que E. Mach lo invalidara después), (Mach E., 1883) cuál era el espacio absoluto. Pero, permítasenos simplemente resaltar la extraordinaria resistencia de esta idea de espacio absoluto, ligada a causas dinámicas, mediante una cita de Leibniz: (2).

«Más aún, si se dejan de considerar las fuerzas, la realidad se desvanece; no se puede, a partir únicamente del cambio de posición, determinar en qué reside el movimiento real, es decir, la causa del cambio».

Esta búsqueda paralela de un espacio absoluto y de un estado absoluto de movimiento (3) o de fuerza (como Newton) o de causa de cambio (como Leibniz) o de aceleración (4) duraría hasta el s. XIX. Sería en 1885 cuando L. Lange sustituye la idea de espacio absoluto por la de sistema de referencia inercial.

Nosotros encontramos en nuestros estudiantes la misma relevancia de ideas tales como diferencia entre movimiento y reposo, movimientos absolutos o verdaderos y relativos o aparentes. También en los razonamientos espontáneos hechos hoy, observamos que «veracidad» o status absoluto está ligada con una causa identificable de movimiento, digamos un motor, sea el que sea. Hemos visto lo difícil que era para los estudiantes universitarios admitir que una bola lanzada desde un pavimento móvil, «guarda» el movimiento del pavimento a pesar de la ausencia de un nexo físico de unión. Tal forma de razonamiento puede parecer superada en algún caso y reaparecer en otros. Por ejemplo, el movimiento aparente de un cuerpo «de hecho en reposo» —digamos un árbol visto desde un tren— será fácilmente reconocible. Pero al considerar dos paracaidistas A y B cayendo con velocidad diferentes, los estudiantes son reacios a admitir que la velocidad de las gafas que se le han caído al A, sea diferente para A que para B. «La velocidad de las gafas es la dada por la gravedad». (Saltiel 1980).



Uno necesita evocar una película en la que un objeto cayendo, aparece para el cámara que lo filma también cayendo, como un objeto que viaja hacia arriba. Incluso adecuadamente admitido, este fenómeno es entendido como una ilusión en la percepción y por lo tanto nunca es utilizado en ningún cálculo o justificación. Una cita típica de los estudiantes es la de que:

«El movimiento real tiene lugar físicamente. El aparente es una ilusión óptica que no tiene realidad física».

En esta concepción, la existencia de un espacio absoluto es compatible, como para Newton, con el hecho de que diferentes observadores tienen distintos puntos de vista sobre el mismo suceso. Sobre este tema en particular, parece que aquello que nosotros observamos en nuestros estudiantes ha de ser comparado, más que con un período en particular de la historia de la Ciencia, con una tendencia permanente que se manifiesta a lo largo de los siglos. Veamos otro ejemplo.

### 3.2 Fuerza, Energía cinética, Cantidad de movimiento (o Energía potencial)

Otra «constante» en las teorías históricas es el hecho de que la fuerza, por lo menos un tipo de fuerza, era entendida como residiendo en el objeto y también la existencia de una gran dificultad en aislar el concepto de fuerza de otros conceptos: energía y cantidad de movimiento. Hemos visto anteriormente que la característica principal del ímpetu era estar adscrito al móvil. Newton (1687) definía bastante claramente lo que nosotros llamamos fuerza actuando sobre algo:

«Definición IV: Una fuerza impresa es una acción ejercida sobre un cuerpo, para cambiar su estado, sea de reposo o de movimiento uniforme en línea recta». (Newton, Principia, citado por Jammer 1957).

Pero también él mantenía la idea de fuerza innata:

«Definición III: La Vis insita o fuerza innata de la materia, es una potencia resistente por la cual todo cuerpo, por mucho que contenga, continúa con su estado presente sea de reposo o de movimiento uniforme en línea recta» (Newton, Principia, citado por Jammer 1957).

Una dualidad está también presente en las definiciones de Leibniz, pero esta vez ambas fuerzas parecen ser inherentes al cuerpo:

«La fuerza es dual en carácter. La variedad elemental, que yo llamo fuerza muerta (Vis mortua) porque el movimiento no existe todavía en ella, sino solamente la instigación hacia el movimiento, es como una esfera descansando en un tubo... La otra variedad de fuerza es la ordinaria, asociada con el verdadero movimiento. Esta la llamó fuerza viva (Vis viva)». (Leibniz, citado por Bruce R. 1975).

La Vis viva en cuestión, está cerca de lo que nosotros

denominamos ahora energía cinética. Así mientras critica a Descartes, el cual habría «malinterpretado» fuerza por cantidad de movimiento, Leibniz escribe:

«La fuerza de un cuerpo pesado puede ser fácilmente estimada a partir del producto de su masa o peso por la altura que el cuerpo podría alcanzar en virtud de su movimiento... Así la altura a la que ese cuerpo podría llegar, no es proporcional a la velocidad, sino al cuadrado de su velocidad (Leibniz 1972).

La introducción por Leibniz del concepto de Vis viva, inauguró una controversia que duró al menos medio siglo. Las cosas comenzaron a clarificarse con D'Alambert quien en 1743 escribió:

«... Así que nadie debe sorprenderse de que por esta razón yo haya desviado mi pensamiento de las causas de movimiento, para considerar únicamente los movimientos que producen; y que haya excluido enteramente las fuerzas inherentes en los cuerpos en movimiento, entidades oscuras y metafísicas que pueden solamente proyectar sombras sobre una ciencia que es en sí misma clara». (D'Alambert, citado por Bruce R. 1975).

D'Alambert subrayó que el cambio en la cantidad de movimiento está ligado al efecto de una fuerza en el tiempo, mientras que el cambio en la Vis viva, está ligado al efecto de una fuerza en el espacio. (D'Alambert, citado por Bruce R. 1975).

Es a partir de aquí, que los conceptos comienzan a ser distinguidos y definidos. T. Young reemplazó el término «Vis viva» por el de energía; en 1829 Coriolis definió el trabajo hecho por una fuerza. Estos conceptos de energía (cinética) y de trabajo, y sus propiedades, fueron desarrollándose lenta y penosamente durante el s.XIX. Sus predecesores sobrevivieron largo tiempo. Por ejemplo, Hamilton en 1830 introdujo la función T (energía cinética) como la «fuerza viva absoluta del sistema, y la función U (energía potencial), como «la función del sistema». En Francia el «Teorema de las fuerzas vivas» se enseñaba todavía durante los años 60.

La larga persistencia de expresiones indiferenciadas indica una dificultad demostrada también claramente por nuestros estudiantes.

## CONCLUSION

Esta breve discusión sugiere razones para tratar con precaución términos tales como «Aristotélico» o «Pre-Galileano» que se adscriben a menudo al razonamiento intuitivo en mecánica, y los correspondientes paralelismos. Con toda probabilidad estas puntualizaciones se podrían trasladar a paralelismos en otros dominios, por ejemplo el concerniente a calor y «calórico».

La primera razón consiste en la limitación de la validez de un paralelismo dado: Los contextos culturales son diferentes y no todas las características observa-

das en el razonamiento espontáneo en la actualidad se han dado en alguna etapa del desarrollo histórico de la Ciencia.

La segunda concierne a la utilidad de tal paralelismo. Aparte del hecho de que los estudios acerca del razonamiento espontáneo son una buena oportunidad para reactivar nuestro conocimiento de la historia de la Ciencia, podríamos esperar algún beneficio recíproco, por ejemplo extraer alguna información sobre nuestros estudiantes a partir de la historia de la Ciencia.

Parece poco razonable sacar ciegamente cualquier conclusión de una correspondencia punto por punto. Pero al menos la historia de la Ciencia, a través de las resistencias que se manifiestan a lo largo del tiempo, nos da una buena oportunidad para no subestimar las dificultades de nuestros estudiantes. También indica que ciertos conceptos y nociones no deberían introducirse demasiado rápidamente. Aunque limitados, estos puntos podrían ser suficiente razón para nosotros, para no descuidar la historia de la Ciencia. Finalmente, nada nos dispensa de intentar investigar directamente el razonamiento de nuestros estudiantes.

### Notas

- (1) Podría decirse un «modelo» (Los estudiantes contestan «como sí...») pero con todo tipo de reservas: Sólo son descritas tendencias generales, los estudiantes no son plenamente coherentes, etc.
- (2) G.W. Leibnitz, Oeuvres, Opusculé du 11 Mayo 1702 (Aubier-Montaigne, 1972).
- (3) He aquí, por ejemplo, algunos párrafos de definiciones dadas por Messieu Brisson en su «Dictionnaire raisonné de Physique» (1781):  
«Velocidad absoluta: Es la de un cuerpo considerado por

sí mismo, y sin ninguna referencia a la velocidad de otro cuerpo... como cuando se calcula la velocidad de un caballo que ha cubierto 10 leguas en 5 horas.

Velocidad relativa: Es la velocidad de un cuerpo comparada con la de otro.

Velocidad respectiva: Es la velocidad con la cual el espacio que separa dos cuerpos es atravesado por uno de los dos enteramente, o parte por uno y parte por el otro». Hay por otra parte, solamente una única aceleración.

- (4) La necesidad de definir la aceleración en un sistema de referencia, se hará patente con Coriolis y Foucault (1851).

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BRUCE, E., 1975, *Energy, Historical development of the concept*, pp 122.  
 CLEMENT, J., 1982, *American Journal Physics*, 50, 66.  
 JAMMER, M., 1957, *Concepts of force*. Harward University Press, pp 121).  
 JAMMER, M., 1969, *Concepts of espace*. Harward University Press), pp 105.  
 KOYRE, A., 1066, *Etudes Galileannes*. Hermann, Paris).  
 LYTHOTT, J., 1983, *International Seminar Misconceptions in Science and Mathematics*. (Cornell University: It-haca), pp 257-265.  
 McCLOSKEY, CARAMAZZA, GREEN, 1980, *Science*, 210, 1139.  
 McCLOSKEY, 1983, *Scientific American*, 248(4), 122(1983).

- McDERMOTT, 1984, *Physics Today*, 37, 24.  
 MACH, E. 1883, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*. (Leipzig).  
 SALTIEL, E., 1978, *Thèse d'Etat*, capítulo V, Paris.  
 SALTIEL, E., MALGRANGE, J.L., 1980, *European Journal Physics*, 1, 73.  
 VIENNOT, L., 1979 a. *Le Raisonement Spontané en Dynamique Elémentaire*. (Hermann, Paris).  
 VIENNOT, L., 1979 b. *European Journal of Science Education*, 1 (2), 205.  
 VIENNOT, L., 1983, *International Seminar Misconceptions in Science and Mathematics*. Cornell University It-haca), pp 239-244.