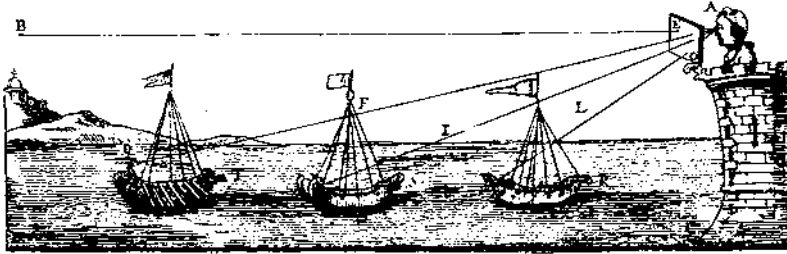


# INVESTIGACION



## Y EXPERIENCIAS DIDACTICAS

---

### FUERZA Y MOVIMIENTO: LA INTERPRETACION DE LOS ESTUDIANTES

SEBASTIA, JOSE M.  
Departamento de Física  
Universidad Simón Bolívar (Venezuela)

---

#### SUMMARY

In the present work we present the results of a study about students' interpretations concerning physical situations involving the concepts of movement and force.

Using an appropriate methodology and instrumentation we obtained evidence that the general patterns of interpretation that students use in this area of physics differ greatly from the newtonian interpretation that is intended to be transmitted in physics courses.

Taking a sample of Spanish students from the geographic areas of Madrid and Valladolid, and accounting for the education level, we verified the great weight of those interpretations, and that they are not replaced by the physics courses that the students have taken.

Certain implications for the improvement of physics teaching derived from the obtained results are suggested in the final part of this article.

#### 1. INTRODUCCION

La influencia predominante de la psicología conductista en la educación durante las pasadas décadas condujo a conceptualizar la mente del estudiante como una

pantalla en blanco (tabula rasa) sobre la que el profesor podría imprimir los conocimientos sometiendo al estudiante a toda una suerte de estímulos y recompensas.

Recientemente, por el contrario, se ha comenzado a reconocer que el aprendizaje se produce como resultado de una interacción entre lo que enseña el profesor y las ideas o conceptos preexistentes en la mente del estudiante. Desde este punto de vista el aprendizaje no involucra simplemente la absorción de la nueva información, sino que conlleva la modificación parcial o total de la estructura cognitiva del estudiante.

Una serie de investigaciones recientes en el área de la enseñanza de la física (Viennot, 1979; Gilbert, Watts y Osborne, 1982; McCloskey, 1983) han evidenciado la existencia, en estudiantes de cualquier nivel, de un conjunto de creencias y expectativas, que constituyen una especie de «física intuitiva» que le proporcionan una comprensión satisfactoria del mundo. Esta serie de ideas interactúa con la enseñanza de la física que pretende llevar a cabo el profesor o el libro de texto, habiéndose revelado como uno de los factores claves que dificultan el aprendizaje. (Champagne, Klopfer y Anderson, 1980).

Resulta de lo anterior que un mejor conocimiento de la estructura cognitiva de los estudiantes permitiría a los diseñadores de curriculum y a los profesores las experiencias apropiadas que produzcan esa especie de «revolución conceptual» (Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982) consistente en la suplantación de las antiguas ideas de los estudiantes por aquellas que son pretendidas en la enseñanza.

Nuestra indagación está interesada en describir, interpretar y explicar los orígenes cognoscitivos de esa «física intuitiva» que los estudiantes desarrollan espontáneamente en el área de la mecánica clásica, y en particular en las relaciones entre la fuerza y el movimiento. Este tema resulta esencial en los programas de carreras científicas y tecnológicas y constituye uno de los temas en los que mayor número de errores conceptuales han sido detectados en los estudiantes.

Aunque la tarea no resulta fácil, debido en parte a la carencia de un marco teórico elaborado que oriente la investigación, el esfuerzo sostenido de los grupos de investigación afines existentes en la actualidad podría conducir a un cambio radical en los procedimientos de enseñar los conceptos científicos.

## 2. ANTECEDENTES

Una «nueva ola» de investigaciones se ha desencadenado en los últimos años teniendo como hilo conductor el estudio de las preconcepciones científicas, tema que resultaba hasta hace poco vedado por el paradigma conductista dominante.

Las investigaciones en el análisis de conceptos físicos desde una perspectiva cognitiva se han desarrollado fundamentalmente a partir de 1979, teniendo como escenarios algunas universidades norteamericanas, Cornell, Pittsburgh, Massachusetts, etc., la Universidad de

París en Francia, y la Universidad de Surrey en el Reino Unido de Gran Bretaña.

En Estados Unidos, Champagne, Klopfer y Anderson (1980) realizaron un estudio que investigaba el efecto que tenían ciertas variables en el aprendizaje de la mecánica clásica que lograban los estudiantes en los cursos introductorios de la Universidad, encontrando que el factor que más dificultaba el aprendizaje lo constituían las ideas intuitivas o de sentido común con que el estudiante comenzaba el curso de mecánica. Estas ideas o creencias venían caracterizadas por las siguientes reglas: 1) una fuerza, cuando es aplicada a un objeto produce movimiento, 2) bajo la influencia de fuerzas constantes los objetos se mueven con velocidad constante, 3) la magnitud de la velocidad es proporcional a la magnitud de la fuerza, y 4) en ausencia de fuerzas, los objetos están en reposo o deteniéndose. Este sistema de creencias, según Champagne et al. esencialmente aristotélico, resulta al estudiante más apropiado y satisfactorio para describir los hechos observables que el paradigma newtoniano, por lo que se muestran reacios a aceptar este último.

Clement (1982) estudió en base a test escritos y entrevistas los conceptos previos que los estudiantes poseían de las nociones físicas y que debían ser remodelados o desplazados por la enseñanza. Sus conclusiones no son muy diferentes a las de Champagne et al., resumibles, según Clement en la preconcepción: «el movimiento implica una fuerza» («motion implies a force» preconception). A pesar de la coincidencia en resultados, la interpretación de Clement no coincide con la de Champagne et al., ya que, en su opinión, la interpretación de los estudiantes en problemas tales como el lanzamiento de una moneda al aire, es fundamentalmente galileano. Recientemente McCloskey (1983) planteando a los estudiantes problemas muy similares a los propuestos por Clement y Champagne et al. concluye en afirmar que el razonamiento de los estudiantes presenta gran parecido a la teoría medieval del «ímpetu».

En Francia, la unidad de investigación en didáctica de la física de la Universidad de París, Viennot, Saliel, etc., ha nucleado los esfuerzos por explorar y analizar el razonamiento de los estudiantes acerca de los conceptos de mecánica clásica y electrodinámica. Según Viennot (1979), todos compartimos un esquema explicatorio de física intuitiva (Système explicatif spontané), el cual, aunque no ha sido enseñado en la escuela, representa un «stock» de ideas autoconsistente, aunque sea arróneo, que es utilizable para tratar sin contradicciones muchas de las situaciones encontradas en la vida diaria. Este sistema espontáneo tiene sus propias leyes, y en opinión de Viennot está más próximo a las teorías medievales que a la física de Aristóteles.

En gran Bretaña, el grupo de la construcción personal del conocimiento (the personal construction of knowledge group) de la Universidad de Surrey, bajo la di-

rección de Gilbert y Osborne, está llevando a cabo un estudio de las preconcepciones erróneas de los estudiantes en el área de la física. La psicología que lo orienta, el constructivismo de George Kelly (1955) sostiene que todos los individuos se acercan a cualquier situación en la vida con una teoría personal de explicación; dicha teoría es utilizada por la persona para comprender las situaciones y va siendo modificada a la luz de su utilidad.

Para Kelly, la construcción de la realidad es un asunto subjetivo, creativo, racional y emocional, por lo tanto cualquier hecho real es susceptible de tantas reconstrucciones como la imaginación permita. De lo anterior se sigue el hecho de que el estudiante, previo a cualquier enseñanza formal, y especialmente referida a fenómenos cotidianos, desarrolla una perspectiva personal que es en cierta medida única y no compartida en todos sus detalles por ningún individuo.

Para el análisis de la estructura conceptual de los estudiantes, Osborne y Gilbert (1979) desarrollaron la técnica I.A.I. (Interview About Instances), consistente en confeccionar un conjunto de tarjetas en las que aparece un dibujo de una situación familiar que constituye un ejemplo o contraejemplo del concepto a estudiar; mediante una entrevista se pide al estudiante categorizar la instancia como ejemplo o contraejemplo del concepto que se analiza. Mediante la aplicación de la técnica I.A.I., Watts y Zylbersztajn (1981) han logrado detectar diversos marcos de referencia alternativos (alternative frameworks) del concepto de fuerza, todos ellos vagamente similares a la teoría de Aristóteles.

La anterior relación de antecedentes no pretende ser exhaustiva sino presentar, en forma sucinta, los logros que se han alcanzado y las tendencias de análisis más acusadas. A la hora de discutir los hallazgos de las investigaciones casi todos coinciden en que los marcos interpretativos de los estudiantes guardan similitudes con teorías científicas históricamente superadas. Sin embargo, aun coincidiendo en muchos de los resultados, las distintas investigaciones interpretan en forma poco unánime a cuál de las teorías históricas se encuentra más próximo el pensamiento de los estudiantes. Champagne, Klopfer y Anderson, (1980) Watts y Zylbersztajn (1981) opinan que la teoría de Aristóteles es la más congruente con las ideas de los estudiantes, Viennot (1979) y McCloskey (1983) sin embargo, notan más similitudes con la teoría medieval del ímpetu y Clement (1982) con la teoría galileana del movimiento.

Las lagunas teóricas existentes y las dificultades metodológicas encontradas, tales como el tamaño de las muestras o la validez y confiabilidad de los instrumentos de recolección de datos sugieren la necesidad de continuar estudios análogos que puedan conducir a resultados concluyentes.

### 3. PROPOSITOS GENERALES Y METODOLOGIA

Nuestra investigación pretendía esencialmente tres metas: a) Extender la indagación de preconcepciones de física a una población de estudiantes españoles con la intención de comprobar si se seguían dando los mismos patrones de errores conceptuales que en las poblaciones sajonas y francesas analizadas, b) Determinar la consistencia, extensión y fortaleza de las ideas de los estudiantes referidas a las interpretaciones del movimiento y contrastar algunas de las hipótesis apuntadas por investigadores anteriores acerca de las similitudes del pensamiento de los estudiantes con teorías científicas de pasadas épocas históricas. c) Enunciar las implicaciones para la enseñanza de la Física que se derivasen del conocimiento de las anteriores metas.

El método seguido está esencialmente inspirado en la entrevista clínica piagetiana, caracterizada por presentar al estudiante una situación definida frente a la cual es ayudado a hacer enunciados que revelen aspectos de su forma de razonamiento; los resultados son comparados con los de otros individuos y agrupados según criterios que se consideren relevantes.

### 4. POBLACION Y MUESTRA

La mecánica clásica comienza a ser enseñada formalmente a estudiantes de últimos cursos de bachillerato y primeros de Universidad por lo que el interés primordial es el de conocer la estructura conceptual de los estudiantes en esa interfase. Nuestro estudio extendió la recolección de datos a graduados universitarios en carreras de ciencias con el objeto de contrastar los posibles cambios que la enseñanza formal de la física hubiera podido introducir en sus formas de razonamiento frente a las mismas situaciones físicas.

La muestra global, subdividida en estratos según el nivel educativo de los estudiantes era la siguiente:

- 69 estudiantes del Bachillerato Unificado Polivalente (B.U.P.)
- 80 estudiantes del curso de Orientación Universitaria (C.O.U.)
- 143 estudiantes del Primer año universitario
- 53 graduados universitarios estudiantes del certificado de aptitud pedagógica.

Los estudiantes preuniversitarios pertenecían a instituciones del área de Madrid: Instituto Francisco de Quevedo e Instituto Juan Carlos I; los estudiantes universitarios y graduados de los que se obtuvieron datos estaban adscritos a la Facultad de Ciencias de la Universidad de Valladolid. Un estudio piloto previo para afinar los aspectos procedimentales e instrumentales se realizó con estudiantes universitarios de la Universidad de Madrid.

## 5. INSTRUMENTO

El instrumento utilizado estaba constituido por un test de alternativa múltiple en el que se presentaban al estudiante situaciones físicas que mostraban la evolución de un objeto al transcurrir el tiempo. Las alternativas reflejaban distintos diagramas de fuerza, representativas de las diferentes teorías físicas que a lo largo de la historia han pretendido explicar el fenómeno, el estudiante tenía que elegir una de las cinco alternativas y dar las razones de su elección.

Las seis situaciones físicas representadas en el instrumento estaban escogidas con el criterio de ser próximas al campo experiencial del estudiante, ser suficientemente simples para ser interpretadas por estudiantes de cualquier nivel y sobre todo representativas de una manera de interpretar los fenómenos naturales.

Las seis situaciones estaban desglosadas en instantáneas del movimiento que permitiesen un análisis pormenorizado de la evolución del objeto, y representaban básicamente tres tipos de problemas paradigmáticos de la mecánica newtoniana:

- a) Las situaciones 1 y 2 presentaban el movimiento de los objetos sometidos únicamente al campo gravitatorio terrestre: lanzamiento vertical, (figura 1) y lanzamiento parabólico.
- b) Las situaciones 3 y 4 están referidas a movimientos con condiciones de ligadura. Movimiento sobre un plano inclinado y movimiento de un péndulo.
- c) Las situaciones 5 y 6 corresponden a movimientos en los que la trayectoria es circular. Una piedra atada al extremo de una cuerda que gira en un plano vertical y el movimiento de la luna alrededor de la tierra.

Este peculiar diseño permitía analizar los resultados como los de un test dividido en dos mitades (split-half-test) lo cual permitió calcular la confiabilidad de los resultados haciendo uso del coeficiente de correlación parcial entre las situaciones pares e impares del instrumento.

Las cinco opciones alternativas presentadas en cada una de las 14 instantáneas estaban basadas en distintos «modelos soporte» de interpretaciones posibles a las situaciones planteadas: la interpretación newtoniana, en sus dos modalidades de fuerza resultante o fuerzas actuantes, la interpretación aristotélica, la interpretación medieval, y la interpretación cuasi-estática, es decir fuerzas equilibradas más una fuerza que da cuenta del cambio de posición del objeto.

Normalmente los cuestionarios de elección múltiple introducen una distorsión en los resultados al restringir el campo de respuesta, sin embargo, en el caso que nos ocupa, existe una concentración de las respuestas en dos o tres alternativas, de manera que incluso alguna de las alternativas incorporadas ha quedado superflua.

## 6. ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

Los resultados porcentuales de los estudiantes a las 70 opciones alternativas correspondientes a las 14 instantáneas del instrumento, aunque no dejan de ser reveladores, especialmente para personas familiarizadas con la enseñanza de la física, están lejos de constituir una buena base para sacar conclusiones sin el complemento de las respuestas explicativas y un análisis pormenorizado de las mismas.

En las figuras 2, 3 y 4 se muestran los resultados de las respuestas de los diferentes estratos de la muestra a algunas de las situaciones planteadas. Las siglas BUP corresponden a estudiantes del último año del bachillerato unificado polivalente, las siglas COU corresponden a estudiantes del curso de orientación universitaria, las siglas UNI corresponden a estudiantes del primer año de universidad en una Facultad de Ciencias, las siglas GRA corresponden a graduados en física y química, la mayoría de ellos profesores de bachillerato en esas materias.

En la figura 2, que representa los resultados de la situación 1 instantánea 1.A, cuando la pelota lanzada por el niño está subiéndolo, la alternativa 3, que corresponde a la interpretación newtoniana que se enseña en los cursos de física, resulta muy poco atractiva incluso para individuos que han tomado cursos universitarios de física, y se mantiene en todos los niveles educativos por debajo de un 10%. Sin embargo la alternativa 4 es la «preferida» por estudiantes de todos los niveles, a pesar de no haber sido enseñada y de contradecir las teorías científicas vigentes, presentando un porcentaje de aceptación prácticamente constante e incluso reafirmandose al avanzar el nivel educativo.

Si se analizan conjuntamente los porcentajes, representados en la figura 2, de los estudiantes que consideran que debe existir una fuerza en la dirección del movimiento (alternativas 1, 2 y 4) los resultados serían los siguientes 98.4% en BUP, 93.7% en COU, 92.6% en UNI y 90.5% en GRA. En su explicación cualitativa, los estudiantes interpretan que la mano del niño le comunica a la pelota una fuerza (impulso) que es mayor que su peso y que es la responsable de que la pelota suba, esta fuerza va disminuyendo y cuando se iguala al peso la pelota se detiene.

Las figuras 3 y 4 presentan dos situaciones (las situaciones 5 y 6 del instrumento) de un problema físico análogo: la evolución de un objeto que describe una trayectoria circular. Resulta de nuevo curioso que la alternativa newtoniana, en este caso la 3 en la figura 3 y 2 en la figura 4, es elegida por un porcentaje mínimo en todos los niveles educativos. Sin embargo, a pesar de ser más compleja, las alternativas preferidas por los estudiantes son aquellas en que aparecen dos fuerzas extras además de la fuerza de interacción newtoniana, una fuerza que contrarresta la fuerza de interacción («para que la luna no se caiga sobre la tierra») y otra

fuerza en la dirección del movimiento («para que siga girando»). En este tipo de problemas la interpretación de los estudiantes coincide con la perspectiva «cuasi-estática», que presupone la existencia de fuerzas equilibradas excepto en la dirección del movimiento.

Resumen, los resultados revelan que las interpretaciones de los estudiantes de cada una de las situaciones físicas son altamente compartidas, a pesar de no coincidir con la interpretación aceptada por la comunidad científica. Las interpretaciones poseen cierto grado de ad-hoc-icidad a la situación particular, aunque, sin embargo, parecen responder a ciertos patrones de razonamiento generales.

## 7. CONCLUSIONES

Las conclusiones fundamentales a las que nos conducen los resultados obtenidos son las siguientes:

- a) La coincidencia elevada en las interpretaciones de las situaciones físicas presentadas a los estudiantes parece provenir de que su elaboración está guiada por estructuras cognitivas comunes a todos ellos. A diferencia de otros autores, Osborne y Gilbert (1979), Watts (1981) descartamos la existencia de una «teoría personal» elaborada por cada estudiante y no compartida por los demás, sino que más bien nuestros resultados apuntan hacia una «interpretación general», espontánea o intuitiva, que, con ligeras variantes, es compartida por todos.
- b) Los resultados muestran la preferencia de los estudiantes por los diagramas de fuerzas intervinientes frente a los de fuerzas resultantes. El número de fuerzas aplicadas sobre el móvil es considerado por el estudiante mayor o igual al número de fuerzas que existiría en caso de ser aceptada la teoría newtoniana, lo cual descarta la posibilidad de que el estudiante haya incurrido en un olvido involuntario de alguna fuerza, sino que, por el contrario, introduce fuerzas «extras» para poder explicar la evolución del objeto presentado.
- c) Las fuerzas que, en la interpretación de los estudiantes, actúan sobre el móvil no parecen ser todas de la misma naturaleza. Algunas fuerzas son consideradas propiedades inherentes del objeto, tal como la fuerza peso. Otras provienen de interacciones evidentes, tales como la fuerza de contacto. Existe otro grupo de fuerzas «extra», no newtonianas, que están caracterizadas por la acción que realizan sobre el objeto; son las que «hacen que se mueva», «que no se caiga», «que vuelva a la situación anterior», etc.
- d) Las leyes generales de la dinámica que parecen regir las interpretaciones de los estudiantes son las siguientes:

2. Si un cuerpo no cambia su posición al transcurrir el tiempo las fuerzas que actúan sobre el cuerpo están equilibradas.
3. Si un cuerpo se encuentra en movimiento existirá al menos una fuerza en la dirección del movimiento.
4. Si un cuerpo se encuentra momentáneamente en reposo la fuerza que actúa sobre el cuerpo están equilibradas o existe un desequilibrio de las fuerzas en la dirección del movimiento que adquirirá el cuerpo en el instante posterior.

- e) Los resultados obtenidos permiten afirmar que las leyes generales de la dinámica que rigen la interpretación de los estudiantes no coinciden en forma exacta con ninguna de las teorías históricas que sirvieron para la explicación del movimiento, tales como la aristotélica, la medieval y la galileana. En este sentido nuestros resultados discrepan de lo sugerido por otros autores, Viennot (1979) Champagne et al. (1980), Clement (1982) McCloskey (1983).
- f) La interpretación de los estudiantes parece responder a una estructura de pensamiento de tipo causal, indisoluble a la idea de explicación. Desde este punto de vista las fuerzas serían las causas que explicarían el movimiento de los cuerpos. Las fuerzas «extras» introducidas por los estudiantes en sus interpretaciones parecen responder a la necesidad de no violar esta relación de naturaleza causal.

Las leyes generales de la dinámica que utilizan los estudiantes establecen una relación entre la fuerza y el movimiento que concuerda perfectamente con las características propias de la relación causal (Bunge, 1979):

1. Condicionabilidad. La existencia de fuerzas no equilibradas es una condición para que ocurra el movimiento.
2. Asimetría o sucesión existencial. El movimiento sólo aparece después de la existencia de fuerzas no equilibradas.
3. Constancia. Siempre que existan fuerzas no equilibradas actuando sobre un cuerpo, éste seguirá moviéndose o comenzará a moverse.
4. Productividad. El movimiento es producido por la fuerza.

## 8. 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 transmitir a los estudiantes los conceptos básicos de mecánica clásica.

Entre los elementos que consideramos que deberían ser reorientados en su diseño o función destacan los libros de texto, los profesores y el método de evaluación del aprendizaje.

Los libros de texto constituyen elementos claves en la transmisión del paradigma científico (Kuhn, 1962) y, lamentablemente, en su gran mayoría refuerzan las pre-concepciones erróneas que posee el estudiante enfatizando la visión intuitiva de la física, en lugar de señalar las limitaciones y falsas concepciones a las que conduce el pensamiento intuitivo y están lejos de plantear al estudiante una necesaria «ruptura epistemológica» como corresponde a una perspectiva diferente del fenómeno. La situación se agrava en el caso de la mecánica clásica que acostumbre a ser presentada desde un enfoque causal, que es erróneo o cuanto menos ambiguo, ya que el término «causa» es un término metafísico susceptible de interpretaciones diversas, y las leyes de la mecánica clásica no son causales en el sentido generalmente aceptado de la relación causal (Bunge, 1979).

Los resultados empíricos obtenidos en graduados universitarios, muchos de ellos profesores de física en cursos de bachillerato, confirman el hecho de que los profesores incurren con frecuencia en el mismo tipo de errores conceptuales que sus estudiantes. En este punto coincidimos con Helm (1980), ya que parece que el esquema intuitivo no ha sido reemplazado totalmente y sobrevive junto al newtoniano en la mente de los profesores, lo que les dificulta una transmisión adecuada de la mecánica clásica.

Un tercer escollo importante para reemplazar o al menos detectar el sistema de falsas concepciones del estudiante, lo constituye el método habitual de evaluación del aprendizaje de la física en base a problemas numéricos resolubles mediante la aplicación de un reducido número de fórmulas. Consideramos, al igual que otros autores, Viennot (1979) Watts (1981) que los problemas cuantitativos no revelan en ocasiones la concepción que el estudiante tiene del fenómeno en cuestión ya que el estudiante puede ocultar su ignorancia conceptual tras una barrera de fórmulas. Los problemas cualitativos, tales como los incluidos en el instrumento utilizado en esta investigación, permiten detectar mejor las lagunas o errores conceptuales del estudiante, sirviendo de base para intentar superarlos.

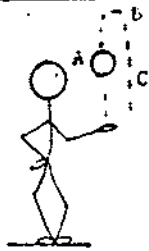
## 9. RECONOCIMIENTOS

Deseo dar las gracias al Dr. José Casanova Colás, director del Departamento de Física Fundamental de la Universidad de Valladolid sin cuyo aliento y colaboración no habría sido posible la realización de esta investigación.

Asimismo quedo agradecido al resto del Departamento que él dirige y a los directores y profesores de las instituciones que generosamente colaboraron en obtener datos valiosos para el presente trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

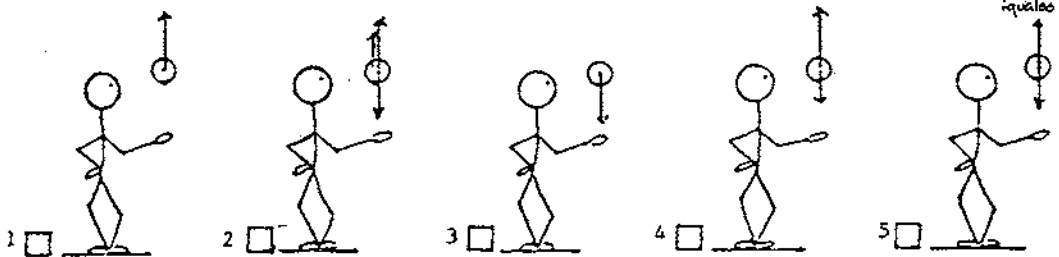
- BUNGE, M., 1979, *Causality and Modern Science*. Third Edition. (Dover Publications, New York).
- CHAMPAGNE, A.B., KLOPFER, L.E. & ANDERSON, J.H., 1980, Factor influencing the learning of classical mechanics, *American Journal of Physics*, Vol. 48, pp. 1074-1079.
- CLEMENT, J.I., 1982, Students pre-conceptions in introductory mechanics, *American Journal of Physics*, Vol. 50, pp. 66-71.
- GILBERT, J.K., WATTS, D.M. & OSBORNE, R.J., 1982, Students conceptions of ideas in mechanics, *Physics Education*, Vol. 17, pp. 62-66.
- HELM, H., 1980, Misconceptions in physics amongst south african student, *Physics Education*, Vol. 15, pp. 92-97.
- KELLY, G.A., 1955, *The Psychology of Personal constructs*. (W.W. Norton & Co., Inc. New York).
- KUHN, T.S. 1962, *The Structure of Scientific Revolutions*. (The University of Chicago Press, Chicago).
- McCLOSKEY, M., 1983, Intuitive Physics, *Scientific American*. Vol. 248, pp. 122-130.
- OSBORNE, R.I., & GILBERT, J.K., 1979, An Approach to student understanding of basic concepts in science. *Institute of Educational Technology*. University of Surrey United Kingdom.
- POSNER, G.J., STRIKE, K.A., HEWSON, P.W. & GERTZOG, W.A., 1982, Accomodation of Scientific conception: Toward a theory of conceptual change, *Science Education*. Vol. 66, pp. 211-227.
- VIENNOT, L., 1979, Spontaneous reasoning in elementary dynamics, *European Journal of Science Education*, Vol. 1, pp. 205-221.
- WATTS, D.M. 1981, Exploring pupil's alternative frameworks using I.A.I. method. *Institute of Educational Technology*. University of Surrey. United Kingdom.
- WATTS, D.M. & ZYLBERSZTAJN, A., 1981, A survey of some ideas about force, *Physics Education*, Vol. 16, pp. 360-365.



1. Un niño lanza verticalmente hacia arriba una pequeña pelota. La pelota pasa al subir por el punto A, llega al punto B donde se detiene, y luego baja pasando por el punto C. Se considera despreciable la resistencia del aire.

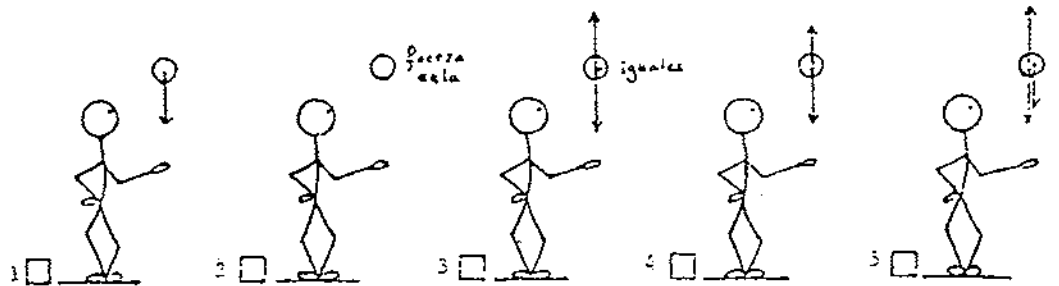
Las flechas de los dibujos se supone que muestran las fuerzas sobre la pelota. Elige una de las alternativas y explica brevemente los motivos de tu elección.

1.A En el punto A, cuando la pelota esté subiendo ¿qué dibujo crees que representa mejor la fuerza sobre la pelota?



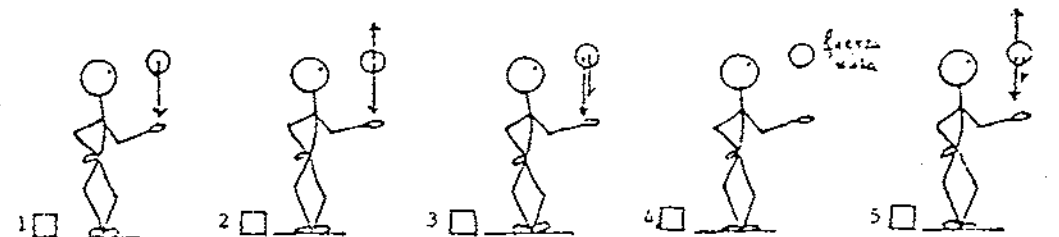
Explica \_\_\_\_\_

1.B En el punto B, cuando la pelota se detiene momentáneamente (velocidad cero) ¿Qué dibujo crees que representa mejor la fuerza sobre la pelota?



Explica \_\_\_\_\_

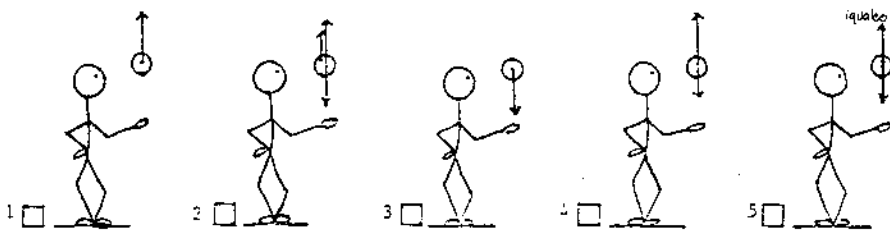
1.C En el punto C, cuando la pelota está bajando, ¿qué dibujo crees que representa mejor la fuerza sobre la pelota?



Explica \_\_\_\_\_

FIGURA 1

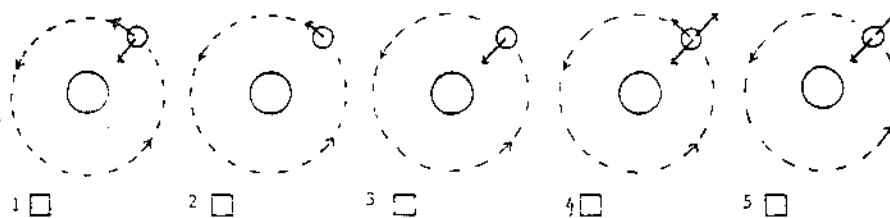
1.A En el punto A, cuando la pelota está subiendo ¿qué dibujo crees que representa mejor la fuerza sobre la pelota?



1	2	3	4	5	
10.1	7.2	0.0	81.1	2.9	BUP
5.0	5.0	5.0	83.7	0.0	COU
1.3	1.3	6.2	90.2	1.3	UNI
0.0	5.6	9.4	84.9	0.0	GRA

FIGURA 2

5. Se supone que las figuras muestran a la Luna girando alrededor de la Tierra en una órbita circular con velocidad de magnitud constante. Si las flechas muestran las fuerzas que actúan sobre la Luna ¿qué dibujo crees que representa mejor las fuerzas sobre la Luna?

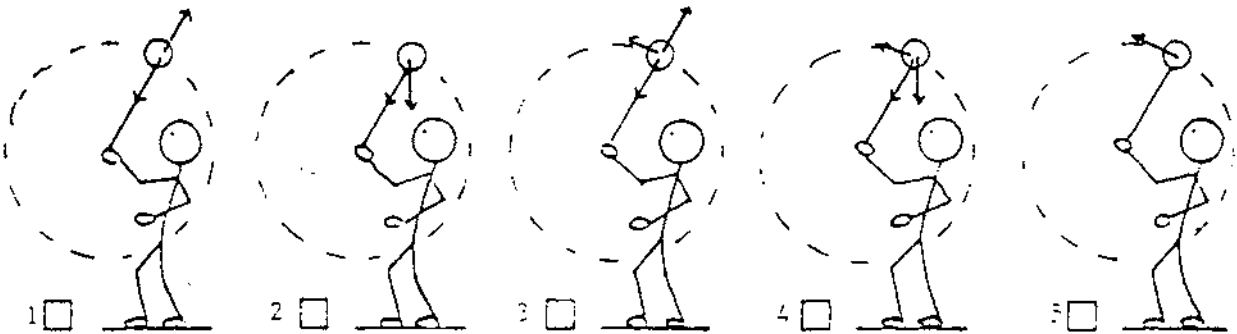


1	2	3	4	5	
26.0	5.7	0.0	60.8	5.7	BUP
21.2	5.0	7.5	51.2	12.5	COU
14.4	1.4	5.0	57.9	21.0	UNI
13.4	0.0	1.9	59.6	25.0	GRA

FIGURA 3



6. La figura muestra a un niño que hace girar, en un plano vertical, a una piedra atada al extremo de un hilo. Se supone que las flechas muestran las fuerzas sobre la piedra ¿cuál de los dibujos crees que representa mejor las fuerzas sobre la piedra?



1	2	3	4	5	
5.7	0.0	72.4	17.3	4.3	BUP
5.0	6.2	55.0	30.0	1.2	COU
6.6	5.9	53.3	27.4	6.6	UNI
12.2	0.0	61.2	22.4	4.0	GRA

FIGURA 4