

ALGUNAS DIFICULTADES EN TORNO A LAS LEYES DE NEWTON: UNA EXPERIENCIA CON MAESTROS

M.B.García, G. Dell’Oro
Universidad Nacional de Mar del Plata
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

INTRODUCCIÓN

La dinámica de Newton constituye uno de los temas más indagados en la investigación en didáctica de la física (Pozo 1998, Viennot, 1985; Driver, 1992; Rowe y Teso, 1997; Domínguez C y otros, 1997; Concari, 1997; Varela 1996; Montanero y Suero, 1996). Se sabe que tanto los alumnos como los adultos presentan dificultades cuando deben interpretar desde el modelo físico transformaciones que están asociadas a creencias cotidianas. Se ha comprobado que muchos de ellos establecen relaciones entre las variables involucradas en el movimiento que tiene su origen en ideas aristotélicas. Si bien es conocido el hecho de que las ideas Aristotélicas ofrecen obstáculos importantes para el alumno durante la construcción de los conceptos asociados a las Leyes de Newton, este problema se agrava ya que durante los abordajes tradicionales de enseñanza y aprendizaje de esta temática, las representaciones que poseen los alumnos son tratadas descuidadamente. O no se las indaga, o si se lo hace, la tarea concluye allí, no estableciendo estrategias a seguir en función de lo averiguado.

Existen diferentes propuestas didácticas para trabajar este tema (Hewson, 1990). No obstante algunos modelos han presentado dificultades cuando se trata de trabajar la dinámica newtoniana ya que la experiencia personal es fuerte y origina intuiciones o ideas alternativas muy arraigadas.

En este trabajo se presenta una serie de actividades diseñadas bajo el marco teórico de las teorías cognitivas de Ausubel (Ausubel, 1976) y Vigotsky (Moll, 1993) tendientes a construir los conceptos más importantes asociados a las Leyes de Newton. Se explicitan las ideas previas y se parte de conceptos inclusores poniendo énfasis en los procesos de intercambio social. Ambas teorías parten de conceptos científicos formados en la vida cotidiana y plantean la necesidad de organizar y explicitar la información que llevará a reflexionar y cuestionar las estructuras existentes en el alumno. Todas las actividades fueron pensadas dentro de un marco de “interacción social”, ya sea desde la discusión entre pares, como desde el intercambio con el profesor, tomando como hilo conductor la historia de la ciencia.

OBJETIVOS

El trabajo realizado se apoyó en dos objetivos fundamentales:

El diseño y evaluación de un conjunto de actividades orientadas a la construcción significativa de la idea de movimiento tomando como referencia los supuestos teóricos de Ausubel y Vigotsky y utilizando la exploración histórica de los diferentes modelos científicos propuestos como alternativas cada vez más explicativas para el problema.

El análisis de las dificultades encontradas en una secuencia de enseñanza y aprendizaje de las leyes de Newton en lo que hace a la posibilidad de modificación de la estructura cognitiva preexistente y a la remoción de las ideas Aristotélicas.

HIPÓTESIS

H1: Las actividades diseñadas para trabajar en un marco de interacción social y atendiendo a las estructuras preexistentes del aprendiz, constituyen una herramienta útil para la enseñanza y aprendizaje de las leyes de Newton.

H2: Las ideas previas asociadas a las Leyes de Newton que poseen los maestros tienen las mismas características que la de sus alumnos ya que:

- 1- responden a ideas aristotélicas
- 2- son difíciles de modificar

METODOLOGÍA

El trabajo se realizó en dos etapas:

A-1 Se indagaron las ideas previas de los alumnos.

A-2 Se trabajó el tema a través de las actividades presentadas en el apéndice 1. También se realizaron las experiencias propuestas por Concari (Concari, 1997) como parte de la tarea de enseñanza y aprendizaje.

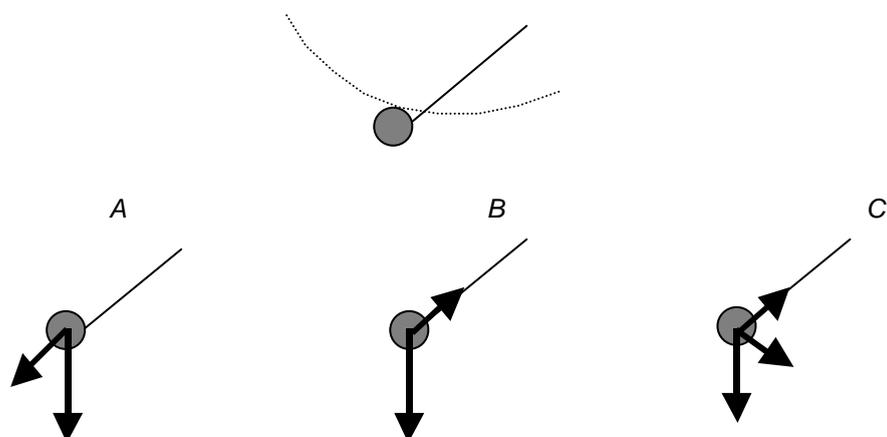
B-1 Para evaluar la utilidad metodológica de las actividades diseñadas se realizó una encuesta a los docentes que asistieron al curso.

B-2 Para evaluar la persistencia o no de las ideas aristotélicas se tomó una prueba escrita donde se analizaron las respuestas de los alumnos a uno de los ítems.

Instrumentos de medición

- Para evaluar la utilidad metodológica de las actividades diseñadas se realizó una encuesta a los docentes que asistieron al curso. El protocolo de la encuesta se presenta en el apéndice 2.
- Para contrastar la hipótesis 2 se analizaron las respuestas al siguiente ítem.

1- a) *Un péndulo oscila de izquierda a derecha. Cuando se encuentra en el punto mostrado, ¿cuál de los diagramas que aparecen debajo representa mejor las fuerzas que actúan sobre el péndulo? JUSTIFICAR. Se desprecia la fricción.*



b- *¿Cuál hubiese seleccionado Aristóteles? JUSTIFICAR*

SELECCIÓN DE LA MUESTRA

Se seleccionó una muestra del tipo *no-probabilística*. Es decir, el objetivo es la riqueza, profundidad y calidad de la información y no la cantidad y estandarización.

UNIDAD DE ANÁLISIS: La muestra estuvo integrada por la totalidad (40) maestros que cursaban la carrera de Reconversión Docente en el área de Ciencias Naturales.

RECOLECCIÓN DE DATOS Y RESULTADOS

Utilidad de las actividades diseñadas:

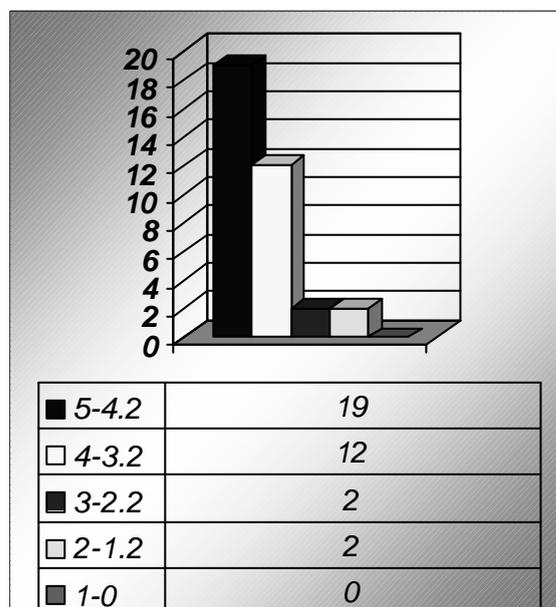
Se consultó a los docentes a través de una escala Likert en donde se les pidió opinión acerca de los siguientes puntos:

- 1- Importancia de la revisión de las ideas previas sobre conceptos involucrados en el estudio del movimiento antes de estudiar las Leyes de Newton.
- 2- Relevancia del trabajo en un ambiente de intercambio social para establecer los conceptos inclusores asociados a las Leyes de Newton.
- 3- Importancia del uso de la Historia de la Ciencia como hilo conductor para el aprendizaje de conceptos involucrados en las Leyes de Newton.

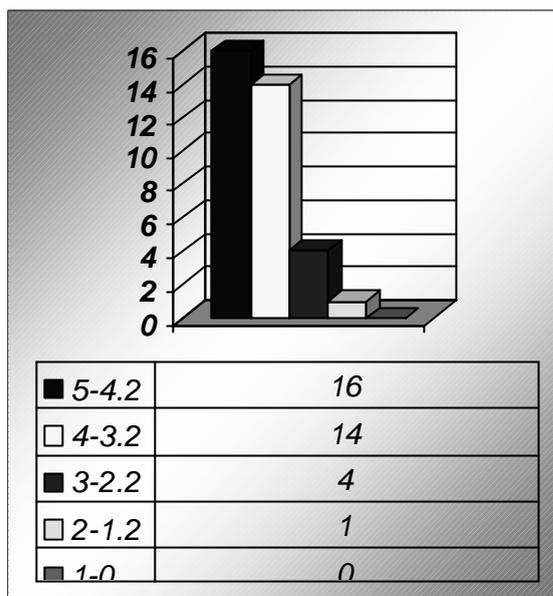
Las categorías asignadas para cada ítem fueron: Indispensable(5 puntos), Sumamente importante(4 puntos) Medianamente importante(3 puntos) Poco importante(2 puntos) No tuvo incidencia(1 punto).

Los resultados obtenidos son los siguientes:

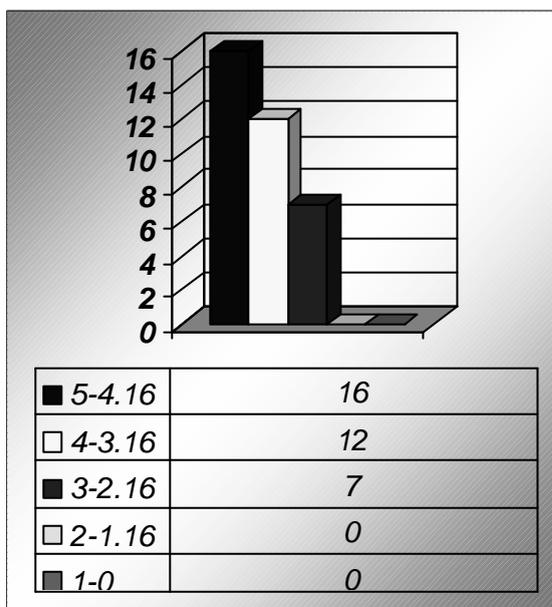
Respecto del punto 1:



Respecto del punto 2:



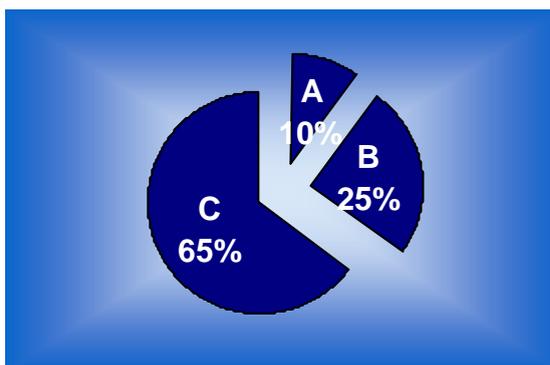
Respecto del punto 3:



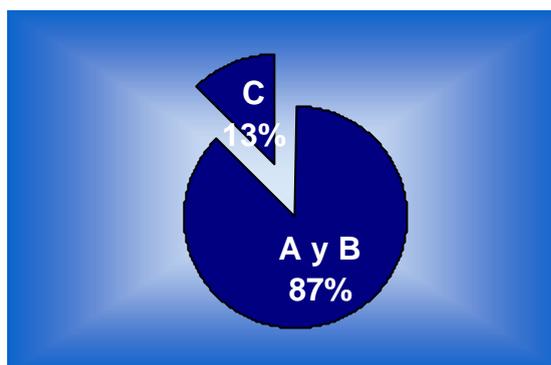
Persistencia de ideas aristotélicas:

Se analizaron las respuestas al ítem presentado y se realizó una distribución de frecuencias:

Respuestas obtenidas al ítem (a)



Respuestas obtenidas al ítem (b)



CONCLUSIONES

Para cumplir con el primer objetivo enunciado para esta experiencia se planificó una secuencia de actividades específicamente diseñada para minimizar los problemas de mediación entre estructuras conceptuales preexistentes, modelos científicos y propuesta didáctica. Los resultados muestran que la metodología utilizada forzó a los alumnos a la problematización explícita y profunda de sus ideas previas como así también al intercambio de opiniones en un marco de sociabilización del conocimiento. Aun así, aparecieron dificultades importantes lo que nos lleva a suponer que éstas deben tener una gran incidencia en las propuestas didácticas tradicionales, en las cuales se descuidan factores importantes que intervienen en el aprendizaje como lo son la estructura cognitiva del alumno, los condicionamientos sociales y las habilidades intelectuales.

En cuanto a los resultados obtenidos en torno a utilizar la historia de la ciencia como hilo conductor pueden ser calificados como muy satisfactorios. Por un lado se registraron en los alumnos niveles importantes de motivación, participación y compromiso, evidenciados en el interés con que realizaron las tareas. Por otro lado, el trabajo sobre el concepto mismo de movimiento permitió un acceso de los alumnos a la trastienda de las herramientas utilizadas por los científicos durante la investigación

Respecto de la evaluación de la segunda hipótesis, una vez aplicado el instrumento y evaluado sus resultados, estamos en condiciones de afirmar que la mayoría de los sujetos no aprenden significativamente los conceptos de Mecánica. Continúa habiendo una dicotomía entre lo que se aprende en el aula y el conocimiento utilizado para resolver situaciones concretas relacionadas con el tema. Al irse incorporando conceptos relacionados con cuestiones particulares, no se los integra a lo ya conocido y se los adquiere sin que provoquen ningún tipo de modificación, desequilibrio, etc., de la estructura conceptual preexistente: los alumnos, independientemente de la instrucción recibida, conservan la idea de que es necesario que exista una fuerza neta actuando para que un cuerpo esté en movimiento. Incluso podría llegar a pensarse que a medida que se avanza en el grado de instrucción, el conocimiento parece ser más incoherente y las ideas alternativas más difíciles de modificar.

Teniendo en cuenta que la Reforma Educativa ofrece una oportunidad de interacción con los docentes en ejercicio, consideramos indispensable que el perfeccionamiento apunte no sólo a la incorporación de nueva información, sino también a la adquisición de estrategias de aprendizaje

tendientes a desarrollar el pensamiento formal como así también a la formación de una actitud crítica en el docente acerca de sus propias dificultades.

APÉNDICE 1:

MOVIMIENTO

INTRODUCCIÓN

La lucha del hombre por comprender la naturaleza fue, en buena medida, la lucha por comprender el movimiento. ¿Por qué algo se mueve? ¿Qué significa moverse?. Esta es la pregunta que puso todo en marcha.

Desde Aristóteles a Einstein se razonó, se pensó, se especuló sobre las causas del movimiento y el reposo, se trató de distinguirlos, se buscó algo cuyo – o falta de él- fuera realmente absoluto y nadie pudiera discutirlo. Llevó la friolera de dos mil trescientos años llegar a la conclusión de que era imposible y que el movimiento es, en realidad, una ilusión. (Moledo, 1994).

LECTURA Nº1: “La primera pregunta”. (Moledo, 1994).

La Primera Pregunta (De las Tortugas a las Estrellas)

“El movimiento es lo obvio, lo que está allí. Al fin y al cabo, casi todo, a nuestro alrededor, se mueve. Vemos al Sol atravesar el cielo, vemos la piedra que cae, al insecto arrastrarse penosamente sobre su camino mínimo. Vemos al proyectil cruzar el aire límpido de una mañana de verano, casi flotar en él, y luego precipitarse al suelo. Y aunque no lo vemos, ni lo sentimos, sabemos que la Tierra, que nos parece en reposo, cruza el espacio con velocidades de pesadilla. Las partículas se agitan en el fondo de los átomos. El mundo que nos rodea es cambio, no permanencia: se mueve. Pero no todas las cosas se mueven de la misma manera. Si se empuja una pelota, ésta rueda hasta que se detiene, como si se cansara de haberse movido. Si se suelta una piedra, cae cada vez con más velocidad, como si estuviera apurada por regresar al suelo. Los objetos celeste en cambio, parecen moverse solos y siempre de la misma forma, como si la hubieran aprendido, les gustara y no encontrarán una buena razón para cambiarla. Tampoco caen al suelo, como la manzana o la piedra.

Ni siquiera todos ven los mismos movimientos de la misma manera. Si se mira el libro que se lee mientras el tren nos arrastra hacia algún destino más o menos incierto, el libro parece estar quieto, en reposo, en nuestra mano. Pero el que desde afuera nos ve pasar a gran velocidad observa que el libro se mueve, junto con el tren y con nosotros. ¿Quién tiene razón?

Milán Kundera sostiene que “la lucha del hombre contra el poder es la lucha de la memoria contra el olvido”. Casi igualmente, la lucha del hombre por comprender la naturaleza fue, en gran medida, la lucha por comprender el movimiento. Por qué se mueven los cuerpos es una de las preguntas más antiguas de la física, y desde las primitivas explicaciones hasta la Teoría de la Relatividad, desde Aristóteles a Einstein, se razonó, se pensó, se especuló sobre las causas y modos del movimiento y el reposo, se trató de distinguirlos, se buscó algo cuyo movimiento –o falta de él- fuera absoluto y nadie pudiera discutirlo, y muchas veces se lo encontró. La mecánica avanzó penosamente, en ocasiones quedó estancada durante siglos y a veces produjo estallidos espectaculares, en los que las concepciones del hombre sobre el movimiento –y al mismo tiempo sus concepciones sobre el mundo- tuvieron que cambiar rápidamente. La primera teoría completa sobre el movimiento –la aristotélica- era una teoría quietista: el movimiento era una alteración de lo inmóvil, era un acto que

tenía lugar al solo efecto de restaurar el orden, era algo que los cuerpos hacían para preservar la armonía del mundo que algún desajuste había interrumpido. Los cuerpos se movían porque querían moverse, porque querían regresar al sitio que les correspondía, o si no, porque algo los obligaba a hacerlo.

Fue la primera –y equivocadísima- respuesta a la pregunta: ¿ por qué se mueven las cosas?

Para poder pensar un poco mas acerca del movimiento, intente responder, siempre con los conocimientos que Ud. posee, las siguientes preguntas.”

A: ¿Por qué cae una piedra?

.....

B: ¿Por qué se eleva el fuego?

.....

C: ¿Por qué nos desplazamos al caminar?

.....

D: ¿Por qué si se retira una mantel, que está sobre una mesa y que posee un objeto apoyado sobre este, con suficiente rapidez se puede conseguir que el objeto permanezca sobre la meza luego de haber retirado el mantel?

.....

E: ¿Por qué una flecha que ha sido lanzada con un arco continúa moviéndose?

.....

LECTURA Nº2: “La primera respuesta”. (Moledo, 1998).

“Aristóteles fue una verdadera desgracia para la física. Por supuesto, él no tuvo la culpa, pero su sistema era suficientemente completo como para perdurar –y perduró- mucho más de lo que hubiera sido saludable. Lo interesante es que muchas veces esa persistencia se atribuye al hecho de que su explicación del mundo concordaba con el sentido común, daba cuenta de la observación inmediata y respondía a la experiencia –aunque no a la experimentación -.

El movimiento aristotélico es, básicamente, un proceso de restauración del orden, un impulso hacia la armonía. En un cosmos jerarquizado, donde cada cosa tiene su lugar natural, es perfectamente comprensible que un objeto apartado de tan confortable sitio quiera regresar a él: por esa razón, y no por otra, la piedra cae, y por esa razón, y no por otra, el humo sube: movimientos naturales éstos, movimientos que restituyen el orden y ponen las cosas en su lugar- literalmente- y son causados por la tendencia misma que los objetos tienen a dirigirse al sitio que les corresponde.

Y hete aquí que tenemos un segundo tipo de movimiento: el movimiento violento. El proyectil, o el carro, que obviamente se mueven, no viajan a lugar natural alguno. ¿ Y entonces? Porque si la piedra tenía sus buenos motivos para caer, el proyectil no los tiene y por lo tanto para moverse necesita algo que lo mueva: un motor, algo que empuje o tire de él. El móvil animado de movimiento violento necesita un motor. Si no, se queda donde está.

Movimientos naturales y movimientos violentos, pues. Esta desagradable terminología describió – hasta el siglo XVII- los dos tipos de movimiento posible en el mundo sublunar. Hay un tercer tipo de movimiento (natural), reservado a las esferas celeste: el circular y perfecto. Además, eterno. Pero aquí abajo, en este mísero mundo, el movimiento es un proceso transitorio, que empieza y necesariamente termina, ya sea cuando el móvil alcanza su lugar natural, o en el momento en que cesa porque la acción del motor ha cesado. Y además, puesto que el movimiento es cambio, hace

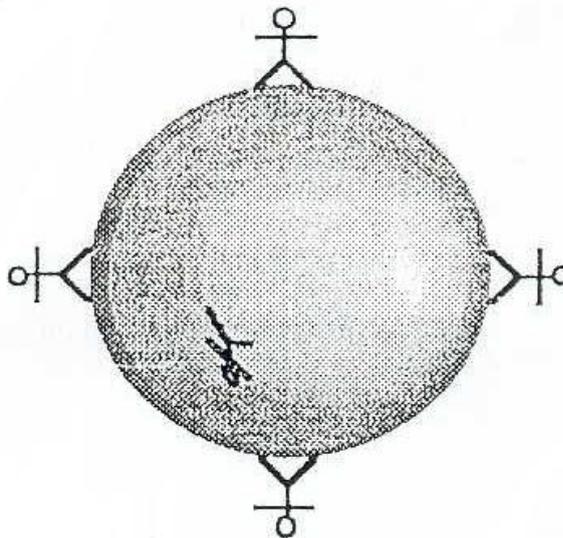
falta un patrón absoluto con respecto al cual medirlo, y ese patrón, ocupado, naturalmente, porque la Tierra, que a su vez se halla en reposo absoluto. Y eso es todo.

La verdad, es que no está mal, y a primera vista parece acomodarse bastante bien a la experiencia cotidiana. Lástima que contradice el hecho, también cotidiano, del lanzamiento, el sencillo hecho de que si uno arroja un proyectil, éste sigue moviéndose después de que el motor (la mano) ha cesado de actuar y el proyectil se ha separado de ella. Y aquí a uno lo asalta la tentación de citar al historiador de la ciencia Alexandre Koyré (¿ y por qué resistir a la tentación?): “pero un teórico que merezca el nombre de tal no se deja turbar por una objeción sacada del sentido común. Si encuentra un hecho que no concuerda con su teoría, niega su existencia. Si no puede negarla, la explica. En la explicación de este hecho cotidiano, el del lanzamiento, movimiento que continúa a pesar de la ausencia de ‘un motor’, hecho incompatible con su teoría, es donde Aristóteles nos da la medida de su genio. Su respuesta consiste en explicar el movimiento aparentemente sin motor del proyectil por la reacción del medio ambiente, aire o agua. La teoría es una genialidad. Desgraciadamente (además de ser falsa) es absolutamente imposible e inverosímil desde el punto de vista del sentido común. No es, pues, asombroso que la crítica de la dinámica aristotélica vuelva siempre a la misma cuestión: ¿por qué se mueven los proyectiles?”

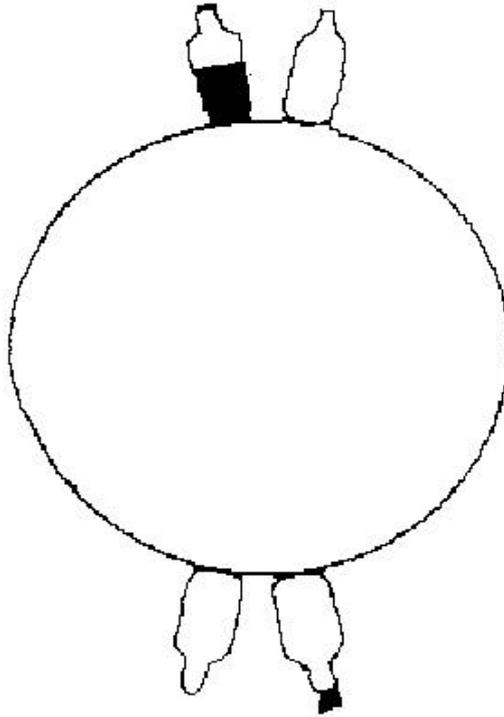
3- Realizar un mapa conceptual que refleje “La primera respuesta”

ARISTÓTELES

- 1- A continuación se presenta un dibujo que representa a la Tierra con una persona en cuatro posiciones diferentes. Dibuje, con una línea de puntos, la trayectoria que seguiría una pelota lanzada por la persona (Driver, 1992).

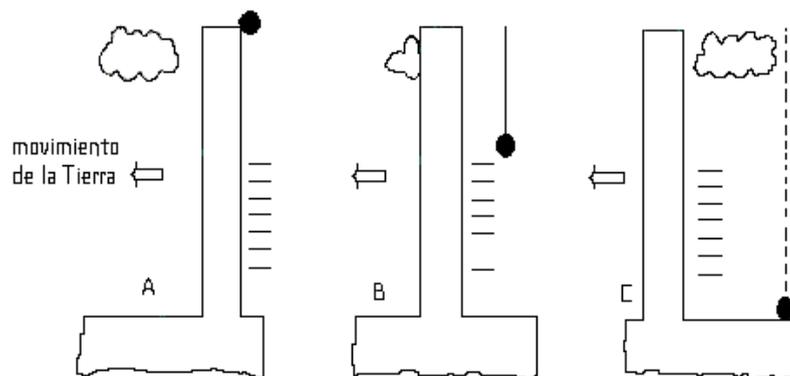


2- Predecir la posición del agua en las botellas vacías (Driver, 1992)



En los siglos XVI y XVII Copérnico y los copernicanos sostendrían que el centro del universo debe ser asignado al Sol, mientras que la Tierra y los planetas debían concebirse moviéndose alrededor de él. Pero tuvieron que enfrentarse con objeciones muy poderosas y de larga data. No solo el sentido común parece asegurar que la tierra está en reposo. Si la Tierra se mueve ¿por qué una piedra que se deja caer desde lo alto de una torre llega al suelo *al pie* de la misma? Al fin de cuentas, mientras la piedra estuvo cayendo, la Tierra y la torre se desplazaron un trecho...

El “argumento de la torre”. En A, se deja caer la piedra. En B, la piedra está cayendo, mientras que la torre y la Tierra se mueven. En C, la piedra golpea contra el piso... lejos del pie de la torre. ¿Ocurre así? No. La piedra llega al pie. Quien afirme que la Tierra se mueve debe poder explicar esta aparente incongruencia... y por qué a la nube no le ocurre lo que se ve en el dibujo(Conicet



1998).

Un poco de cálculo

En la actualidad afirmamos que la Tierra rota alrededor de su eje describiendo una vuelta cada (Casi) 24 h. El ecuador terrestre tiene unos 40 000km de longitud. Suponga que allí está la torre, y que la piedra tarda 3s en caer. Calcule la velocidad del pie de la torre (40 000 km/24h) y luego estime cuanto debería haberse desplazado mientras la piedra estuvo cayendo, es decir, durante esos 3s.

Para realizar la experiencia debería emplearse una torre de algo más de 40 m, pues en ese caso la piedra demora unos 3s en caer al suelo. Un aristotélico le mostraría a usted que la piedra debería caer a:

1. un par de milímetros
2. algo menos de un decímetro
3. alrededor de un metro
4. Unos diez metros
5. Casi un kilómetro y medio.

Escoja la alternativa correcta de acuerdo con sus cálculos. Y trate, si puede, de refutar al aristotélico.

Nota: En el ejercicio sólo se tiene en cuenta el movimiento de rotación de la Tierra alrededor de su eje, y no (además) el de traslación alrededor del Sol.

APÉNDICE 2

En la siguiente encuesta pretendo obtener una información detallada acerca de su opinión sobre las actividades diseñadas para la enseñanza y e aprendizaje de las Leyes de Newton.

- 1- Revisar las ideas previas sobre conceptos involucrados en el estudio del movimiento antes de estudiar las Leyes de Newton resultó relevante porque le permitió:

	Indispensable	Sumamente importante	Medianamente importante	Poco importante	No tuvo incidencia
Enfrentarse con ideas alternativas que desconocía que poseía.					
Comprender mejor transformaciones relacionadas con el movimiento que ocurren a diario en su vida.					
Diferenciar las ideas Aristotélicas de las de Newton.					
Incorporar con menor dificultad conceptos nuevos asociados a las Leyes de Newton durante el proceso de enseñanza y aprendizaje.					
Resolver mejor los problemas.					

- 2- Trabajar en un ambiente de intercambio social para establecer los conceptos inclusores asociados a las Leyes de Newton y relacionarlos con conceptos nuevos resultó relevante porque le permitió:

	Indispensable	Sumamente importante	Mediamente importante	Poco importante	No tuvo incidencia
Contrastar ideas alternativas que poseía con conceptos científicos.					
Comprender mejor transformaciones relacionadas con el movimiento que ocurren a diario en su vida.					
Diferenciar las ideas Aristotélicas de las de Newton.					
Incorporar con menor dificultad conceptos nuevos asociados a las Leyes de Newton durante el proceso de enseñanza y aprendizaje.					
Resolver mejor los problemas.					

- 3- Utilizar la Historia de la Ciencia como hilo conductor para el aprendizaje de conceptos involucrados en las Leyes de Newton resultó relevante porque le permitió:

	Indispensable	Sumamente importante	Mediamente importante	Poco importante	No tuvo incidencia
Enfrentarse con ideas alternativas que desconocía que poseía.					
Comprender mejor transformaciones relacionadas con el movimiento que ocurren a diario en su vida.					
Diferenciar las ideas Aristotélicas de las de Newton.					
Incorporar con menor dificultad conceptos nuevos asociados a las Leyes de Newton durante el proceso de enseñanza y aprendizaje.					
Tener más curiosidad por comprender las leyes del movimiento.					
Resolver mejor los problemas.					

BIBLIOGRAFÍA

- Alzugara G. y Giorgi, S. *Pensar, Participar y Aprender: una propuesta didáctica para las Ciencias Experimentales en la E.G.B. y Polimodal*. Décima Reunión Nacional de Educación en Física. 1c-09. Mar del Plata, 1997.
- Ausubel, D. *Psicología Educativa: un punto de vista cognitivo*. Trillas: México. 1976.
- Concari, S.B. *Experiencias de Mecánica con niños y adolescentes*. Décima Reunión Nacional de Educación en Física .1c-08. Mar del Plata, 1997.
- Dominguez Castiñeiras, J.M.; García S.; Gardía Rodeja, E; Rocha, A., Tenaglia, M. *Relaciones conceptuales entre Fuerza, Movimiento y Equilibrio*. Décima Reunión Nacional de Educación en Física 1c-07. Mar del Plata, 1997.
- Driver, R. *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata. 1992.
- Hewson, P. *Enseñanza de las Ciencias* 8(2). 1990
- Moledo, L. *De las tortugas a las estrellas*. A-Z Editora.1994
- Moll. *Vigotsky y la Educación*. Aique- Bs.As. , 1993
- Montanero M., Suero M.I. y Pérez A.L. *El quién- qué cuál de las fuerzas*. Alambique, 7. Enero 1996.
- Pozo, J.I. *Aprender y enseñar ciencias*. Ediciones Morata. 1998.
- Pro Ciencia. Conicet. *Pensamiento Científico*. Módulo 2. 1998.
- Rowe, M.C.; Teso, P. *Diseño y desarrollo de una guía de trabajo sobre la construcción de la Noción de Fuerza en Adolescentes*. Décima Reunión Nacional de Educación en Física .1c-02. Mar del Plata, 1997.
- Varela Nieto, P. *Las ideas del alumnado en física*. Alambique, 7. Enero 1996.
- Viennot, L. *European Journal of Science Education* 7, 1985