

269

UNIVERSIDAD PEDAGOGICA NACIONAL

DEPARTAMENTO DE FISICA

PROGRAMA DE POST-GRADO

"DETECCION* DE DIFICULTADES EN LA ENSEÑANZA DE LA
PRIMERA LEY DE NEWTON"

TESIS DE GRADO

EDUARDO ZALAMEA GODOY

Bogotá, Agosto, 1.983.

INDICE

	Página
1. PRESENTACION Y RESUMEN .	1
2. MARCO TEORICO Y METODOLOGIA .	8
3. TEORIA ACERCA DE LA PRIMERA LEY.	16
4. ANALISIS TEORICO DE LAS DIFICULTADES PARA LA ASIMILACION DE LA PRIMERA LEY.	23
5. LA ENTREVISTA.	35
6. RESULTADOS DE LAS ENTREVISTAS.	41
7. ANALISIS DE LAS ENTREVISTAS.	57
8. CONCLUSIONES.	68
9. PROYECTO DE UNA GUIA METODOLOGICA.	73
10. APENDICES.	79
11. BIBLIOGRAFIA.	96

551.1207
722

No. 33624 Ej. 1
 Valor. \$3.000 Vel.
 Fecha. 10-IV-86 Dep. X
 Fac. Francia Canje.....
 Libros y Resúmenes..... Comp.

1. PRESENTACION Y RESUMEN

1.1 PRESENTACION

Desde hace mucho tiempo la investigación didáctica toma muy en cuenta los "conocimientos" que posee el alumno antes de la clase en lo referente al tema que se tratará en ella. Sin embargo, el significado del término "conocimiento" ha tomado recientemente un significado distinto para algunos estudiosos del fenómeno implicado en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Mientras tradicionalmente por conocimientos se entendía "conocimientos correctos" desde la perspectiva de las teorías contenido de la clase, para las nuevas corrientes de investigación juegan un papel preponderante los modos de explicación espontáneos e inmediatos que el alumno posee inconscientemente antes de la clase. Una de las razones para este interés, es el reconocimiento de que quien aprende es el alumno, elemento central del proceso y que en tal medida cualquier teoría que proponga el maestro entrará en competencia con los modos de explicación que el estudiante posee. Así pues el que el estudiante aprenda o no lo que el maestro propone depende del resultado de tal confrontación. Ahora bien, las razones por las cuales los modos de explicación que se desean enseñar son mejores que las que se poseen espontáneamente no son a veces muy claras, más aún si no se conocen estos últimos. No son muy claras las razones en algu-

nas oportunidades pues las explicaciones que resultan de las dos teorías-alternativa pueden ser igualmente coherentes y si una se prefiere a la otra se justifica solamente por su poder de generalización, de matematización o de síntesis. Evidentemente estas argumentaciones no pueden ser aceptadas por el estudiante quien vé lo que se le enseña desde "dentro del proceso" y no desde fuera, como lo vé su maestro.

En fin, las explicaciones espontáneas pueden ser incoherentes internamente. Esta incoherencia, sin embargo, no es percibida por el alumno debido entre otras cosas al uso poco exacto de términos aprendidos, oídos o utilizados desprevenidamente en el lenguaje cotidiano. Tal es el caso de los términos peso, velocidad y fuerza como lo muestra esta investigación en uno de sus resultados. Otra razón igualmente fundamentada en este trabajo es la complejidad de los enunciados teóricos que pasa desapercibida por el maestro o el diseñador del currículo. Finalmente, existe una tendencia irracional de concebir la construcción de la teoría como la fabricación de un collar en donde un concepto, ley, teoría o término de ella sigue al anterior "formalmente" en una sucesión aparentemente lógica, como si los fenómenos que son su fundamentación pudieran verse a través de la primera, la segunda o tercera Ley de Newton, en el caso de la mecánica clásica y no como son, una ejemplificación de la física como un todo, en donde solo es posible evidenciar en el fenómeno una sola ley cuando ya se han visto todas: cuando el fenómeno ya se ha visto con los ojos de la teoría.

La tendencia a estudiar los preconceptos o formas espontáneas de explica-

ción, en la investigación didáctica de la cual es partícipe este trabajo, corresponde a la moderna investigación histórica (Dunhem, Bachelard, Koyré, Kuhn) según la cual el desarrollo de la ciencia no es lineal ni pacífica; los grandes pensadores también se han equivocado y en fin, los fenómenos son vistos desde la teoría, desde la concepción de lo real que se maneje, es por esto que debe reconocerse la carga subjetiva inmensamente grande del científico (y agregamos del estudiante y de su maestro).

Este trabajo realizado como Tesis de Magister por mi colega y amigo Eduardo Zalamea nos da una muestra de lo que se puede hacer en las circunstancias en que trabajamos. Si bien es cierto que su tema se restringe sólo a la mecánica y de ella solo a la primera ley, tal aserción es un mérito pues señala un camino tanto por las formas como se enfrenta un trabajo desde el punto de vista metodológico, como por la profundidad del análisis teórico, profundidad que es imposible de esperar cuando se pretende abarcar una temática más amplia y menos ambiciosa.

El autor logra sintetizar de innumerables entrevistas un esquema de explicación bastante homogéneo y luego analizar a partir de él sus características, sus incoherencias y sus puntos débiles. En tal medida nos señala implícitamente un sendero recién abierto por donde deberíamos transitar los maestros de ciencias con todas sus dificultades, pero también con nuevas perspectivas para utilizar realmente nuestra clase como una instancia investigativa.

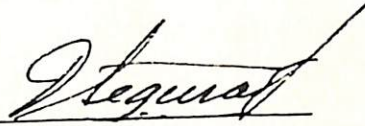
Hay dos resultados de esta investigación que sin embargo deben enfatizarse, que apuntan a dos problemas diferentes pero que plantean grandes avenidas investigativas. El primero es de carácter epistemológico: existe una marcada similitud entre las formas espontáneas de explicación de nuestros jóvenes de 16 años (entre otros) y las teorías prenewtonianas en física. En segundo lugar, aún los maestros de física demuestran dificultades en los fundamentos y pilares de la mecánica. Este es un asunto supremamente grave para la estructura educacional vista como totalidad.

En cuanto al primer asunto la investigación nos muestra que NO ES, como algunos afirman, la física aristotélica la que se encuentra en nuestros jóvenes: es una física diferente a ella y salpicada no solo de términos modernos (aceleración, gravitación, impulso) sino también de ideas recientes. Investigar entonces cuáles son los fundamentos empíricos y sociales que sustentan esta forma de explicación nos daría luces para conocer mejor las circunstancias en que se practica la docencia y en particular el aprendizaje de la ciencia.

El segundo problema debería ser motivo de preocupación para los maestros de los maestros en las Facultades de Educación: será que las estructuras curriculares no funcionan o que los maestros de los maestros no son maestros?

Para terminar, debo felicitar al Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional por haber dado el primer paso en la vía que conducirá a investigaciones didácticas no solamente serias y realmente contemporáneas sino

asentadas en el medio en que vivimos ya que se han explorado formas cognitivas de nuestros estudiantes en sus circunstancias propias de aprendizaje y con instrumentos (entrevistas) que permiten independizarnos de patrones pre-formados y coheritivos. Si al comparar los resultados de esta investigación con los de investigaciones similares realizadas en otros países encontramos similitudes (que existen sin lugar a dudas) tal puede ser un punto de partida al explorar las bases que sustentan los preconceptos por encima de las diferencias específicas de nuestro medio.



DINO DE J. SEGURA R.

DIRECTOR DE TESIS

1-2 RESUMEN

Por medio de entrevistas llevadas a cabo con algo más de 250 alumnos de bachillerato, estudiantes de licenciatura en física y algunos profesores de física en secundaria, hemos logrado sintetizar las preconcepciones que acerca de la dinámica poseen nuestros estudiantes.

El tema de la entrevista, común a todas ellas, se escogió sobre un hecho cotidiano; se lanzaba un bloque sobre un plano horizontal y solicitaba la opinión de los pupilos acerca de problemas, tales como: Cuando el bloque iba a mitad de camino por qué aún se desplazaba? - Por qué se detiene el bloque? Si no existiese rozamiento cuándo se detendría el bloque? El papel del entrevistador fue siempre indagar acerca de las explicaciones espontáneas de los pupilos sin ilustrarlos sobre la dinámica newtoniana.

El análisis de las entrevistas nos ha permitido reconstruir los elementos comunes y fundamentales de las preconcepciones de nuestros pupilos, y que los sintetizamos por medio de estas leyes y corolarios:

1a. Ley: Un cuerpo solo puede moverse bajo la acción de una fuerza no equilibrada que actúa en la dirección de movimiento.

2a. Ley: La fuerza que se aplica sobre un cuerpo permanece sobre él, así el agente que la produjo deje de interactuar con él. Esta fuerza aplicada se va desgastando a medida que el cuerpo avanza y cuando se acaba o cuando se equilibra con otras fuerzas (fricción, peso, etc) el cuerpo se detiene.

Corolario 1: El comportamiento cinemático de los cuerpos depende de su peso y de su relación con otras fuerzas aplicadas.

Corolario 2: Para que un cuerpo se mueva con velocidad constante se le debe aplicar una fuerza no equilibrada constante, ligeramente mayor (o por lo menos igual) al peso del cuerpo.

Finalmente se plantean unas sugerencias metodológicas que tienen el doble objeto de aportar algunas ideas para la solución de los aspectos analizados y abrir el debate sobre estos problemas.

2. MARCO TEORICO Y METODOLOGIA

2.1 MARCO TEORICO

En el anteproyecto de este trabajo hacíamos referencia a tres causas por las cuales se deseaba llevar a cabo esta investigación, a saber: 1a) La creación del grupo de investigación del Departamento de Física (Postgrado), 2a) La aceptación común de la dificultad que para los alumnos de quinto de bachillerato presenta la mecánica newtoniana, y 3a) La trascendencia fundamental que dentro de la estructura de la física tiene la Primera Ley de Newton.

Como expresábamos anteriormente apoyados en las opiniones de B. Cohen (1) Haber y Chaïm (2) Y. Perelman (3) y en el común sentir tanto personal como de los muchos colegas de la docencia universitaria (6), la Ley de la Inercia de Newton no es fácilmente asimiable por los alumnos pero que es clara su importancia fundamental en la dinámica newtoniana y la física clásica en general (1), (15).

Por otra parte, según las ideas expuestas por J. Piaget el desarrollo cognoscitivo se realiza por etapas, y un "dato" presentado a un pupilo no puede ser asimilado por éste, a menos que su estructura cognoscitiva interna se lo

permita. Por lo tanto, aún cuando la presentación de una idea, una situación, o un hecho, sea técnica y formalmente impecable (estímulo, para algunas tecnologías), la asimilación del nuevo objeto de conocimiento, y las transformaciones que éste debe producir en la estructura cognoscitiva del pupilo no quedan asegurados de por sí.

Este proceso a nivel individual, es semejante al que se presenta en el desarrollo de la ciencia. Esta se produce por etapas. Hay etapas de calma, ciencia normal y etapas de conflicto, momentos que algunos han caracterizado como rupturas epistemológicas; o como cita Bachelard períodos en que la razón experimenta satisfacciones y períodos en que experimenta inquietudes (4).

Durante las épocas de ciencia normal los hechos, datos y teorías, refuerzan las ideas (paradigmas) de esa época. Cuando un nuevo dato no puede ser explicado por el paradigma, surge el conflicto; se acumulan incoherencias; se plantean preguntas mal formuladas pues es la vieja teoría quien los propone. El conflicto se supera cuando una nueva teoría reemplaza a la anterior, es decir, cuando nuevas formulaciones plantean de manera diferente y en términos diferentes el problema que originó el conflicto; es un nuevo problema que la nueva teoría lo soluciona en forma satisfactoria (4). La ciencia ha avanzado a una nueva etapa, el saber científico se ha autoregulado, y nuevamente llega a una época de ciencia normal (5), con un nuevo paradigma de aceptación general.

Por otra parte se ha de anotar que el proceso de enseñanza-aprendizaje fundamentalmente es un proceso de comunicación (5), (6): En un proceso de este tipo hay tres elementos que debemos destacar: el emisor, el receptor y el canal transmisor. El emisor, quien generalmente inicia el proceso, se propone de alguna manera modificar al receptor, para lo cual por medio de un código adecuado transmite a través de un canal un mensaje, que al ser captado por el receptor retransmite al emisor un mensaje respuesta, que permite a éste saber del éxito o fracaso de su acción. Este modelo esquemático de comunicación tiene en primera instancia tres consecuencias fundamentales a saber: (a) Debe existir comunión de códigos entre el emisor y el receptor para que la comunicación sea exitosa. (b) El mensaje debe ser relevante para el receptor, a fin de que no sea minimizado y opacado por los "ruidos" inherentes a todo proceso de comunicación, además, (c) Debe estar diseñado en una forma tal que la estructura del receptor pueda interiorizarlo (6).

Dentro de esta concepción metodológica la estructura interna del receptor cobra gran importancia; él no es una caja negra de la cual una vez producido un estímulo se espera una respuesta. Qué sucede por dentro y cómo se sucede, es importante saberlo, para que la planeación del proceso sea satisfactoria.

El receptor activo posee cuatro aspectos que lo caracterizan a saber: una estructura operacional que interioriza conocimientos y experiencias pero que a la vez transforma el objeto de conocimiento; un conjunto de conocimientos adquiridos por sus experiencias anteriores; un conjunto de características que con-

forman el aspecto afectivo; y, un conjunto de habilidades, destrezas, memoria etc. que conforman el aspecto psico-motor.

Finalmente, frente al proceso de enseñanza-aprendizaje debe existir una concepción epistemológica. Partiremos de que el proceso de la construcción del conocimiento es un proceso complejo y contradictorio. El desarrollo del individuo como totalidad se efectúa por medio de la presencia y solución continua de contradicciones. Los objetos del mundo exterior se convierten en objetos del conocimiento, en datos, porque entran en la esfera de la actividad humana y son sometidos a la influencia del hombre y gracias a ello se descubren sus propiedades, se conoce el objeto.

Las contradicciones se pueden clasificar de acuerdo con su carácter en dos clases: externas e internas. Las contradicciones externas son aquellas que se presentan entre el individuo y el medio en su interacción directa con él, y las internas son aquellas que se presentan en la estructura conceptual y son la fuerza motriz del desarrollo cognoscitivo del individuo. Una contradicción externa se convierte en interna cuando se integra (interioriza) a la estructura, es decir, cuando se hace personalmente relevante. No toda contradicción externa se interioriza (5). De una contradicción externa pueden surgir varias contradicciones internas dependiendo de su carácter y de las características del receptor entre las cuales se pueden enumerar la posibilidad de procesar la información que representa la contradicción (estructura operacional, codificación del mensaje), y

la motivación (aspecto afectivo), los conocimientos adquiridos y la capacidad de efectuar el procesamiento. El maestro debe procurar crear las condiciones para que se originen en el individuo las contradicciones internas.

En diferentes oportunidades hemos utilizado el término "dato" o "dato nuevo" para referirnos en general a un objeto de conocimiento. Una pregunta, un fenómeno, una circunstancia que nunca antes se le había presentado al pupilo, o una pregunta, un fenómeno, una circunstancia que aunque no sean totalmente nuevos para el alumno, se le presenten enmarcados por una nueva teoría, por un modo de "ver" diferente a la vez anterior, o como un obstáculo a su teoría actual, constituye un "nuevo dato", objeto de conocimiento (7). Así por ejemplo, cuando Galileo se repite la vieja pregunta aristotélica: "Por qué se mueven los cuerpos?" esta pregunta es para él un nuevo dato, en cuanto significa un obstáculo para la teoría de la inercia galileana. Una vez Galileo asimila el dato, reformula, o mejor interpreta el problema y formula la pregunta de otra forma "Por qué se detienen los cuerpos?" (5).

El hombre en su quehacer cotidiano, interioriza sus experiencias y las informaciones recibidas a través de la transmisión social de su medio. Al hacer esto conceptualiza su propia teoría acerca de los diferentes aspectos del quehacer humano. Es decir construye sus propios paradigmas con los cuales se explica "satisfactoriamente" y espontáneamente el comportamiento de las cosas del mundo (lo que podríamos llamar en la terminología de Kuhn época de ciencia

normal para él). A medida que se enriquece con nuevas experiencias y recibe nuevas informaciones (además que su nivel cognoscitivo es susceptible de modificación), las teorías formalizadas pueden cambiar o perfeccionarse (8), así mismo como las no formalizadas.

Así pues, cuando un pupilo se enfrenta ante una nueva información, su teoría anterior (que llamaremos preteoría) juega un papel importante en el proceso de aprendizaje así esté de acuerdo (ciencia normal) o en desacuerdo (conflicto) con la nueva información. Las implicaciones que esto conlleva en el problema que nos ocupa, se tratarán en el apartado 4-3 de este trabajo.

2.2 METODOLOGIA

Este trabajo se desarrollará a través de los siguientes pasos:

2.2.1. En primer lugar se elaborará una breve exposición acerca de la teoría de la Primera Ley de Newton.

2.2.2. Basados en la exposición anterior y a la luz de nuestro marco teórico se hipotetizarán las posibles dificultades que un alumno de quinto bachillerato puede tener para asimilar la Ley de la Inercia.

2.2.3. A fin de verificar la validez del análisis teórico se llevarán a cabo unas entrevistas con alumnos de diversos colegios.

La entrevista, esencialmente, se efectuará de la siguiente manera: ante un grupo de alumnos (entre cuatro y diez como máximo) el entrevistador presentará de hecho la siguiente situación: un bloque se lanza sobre una superficie horizontal; después de recorrer una corta distancia, se detiene. Luego preguntará a los entrevistados cómo se explican por qué se desplaza el bloque, y luego por qué se detiene; a fin de indagar sus concepciones tanto antes como después de haber recibido la información acerca de la Ley de la Inercia. Por este último motivo se entrevistarán alumnos de quinto y sexto de bachillerato, puesto que los de sexto ya han recibido la información y los de quinto aún no la han recibido, este trabajo se llevará a cabo al comienzo del año lectivo.

Se escoge el método de 'la entrevista y de la discusión entre el entrevistador y los pupilos o de estos entre sí, porque ésta es la forma más congruente con el marco teórico presentado, lo importante no es lo que la caja negra responde, sino cómo opera esa caja negra. Si se logra establecer de manera clara qué concepción preteórica tienen nuestros alumnos acerca de la dinámica, se habrá dado un gran paso en la metodología de la Física, tanto para el nivel de bachillerato básico, como posiblemente para la docencia universitaria.

En especial se desecha el test de selección múltiple como método de investigación para inferir sobre las preteorías del pupilo, ya que como lo anota J. Kord L. (9) este tipo de pruebas tienen el defecto de coartar la creatividad del alumno, al obligarlo a escoger una opción predeterminada por el maestro

que puede ser ajena a los intereses del pupilo. Con pruebas de este tipo no se puede llegar a reconstruir la teoría que maneja el educando en una forma que no se preste a interpretaciones ambiguas por parte de diferentes observadores.

2.2.4 Presentación y análisis de las entrevistas, confrontándolas con las hipótesis.

2.2.5 Presentación de las conclusiones.

2.2.6 Esbozo de una posible secuencia metodológica que trate de remediar algunas de las fallas detectadas a través del trabajo.

3. TEORIA ACERCA DE LA PRIMERA LEY DE NEWTON

Antiguamente, de acuerdo con las enseñanzas aristotélicas, el hombre afirmaba que el universo estaba dividido en dos regiones, el mundo sublunar y el supralunar, con propiedades y características tales, que una afirmación acerca de uno de ellos no era válida para el otro. Así mismo el movimiento se clasificaba en dos tipos: los movimientos naturales y los movimientos violentos (1).

Una piedra que se deja libre cerca de la superficie terrestre tiende "naturalmente" hacia la tierra, su "lugar natural", y tiende además a buscar el reposo que es su "estado natural". Por otra parte al calentar el agua ésta asciende "naturalmente" hacia su "lugar natural" pues al recibir calor, se le está aumentando su cantidad de "fuego" y el lugar natural del fuego es arriba.

Cuando un objeto se mueve de una forma distinta a la de ir libremente a su "lugar natural", el movimiento es "violento"; para causarlo se requiere una "fuerza" que se ejerce por contacto directo y que se manifiesta en cuanto la velocidad es tanto mayor cuanto mayor sea la fuerza; si la fuerza deja de actuar, el objeto realiza un movimiento natural que lo lleva a su "estado natural" es decir al "reposo". De esta manera Aristóteles plantea sus dos leyes de la dinámica a saber: 1.- La velocidad de un cuerpo es proporcional a la

fuerza que se aplica, y 2.- La velocidad de un cuerpo es inversamente proporcional a la resistencia que le ofrece el medio (1); aquí la palabra proporcional no tiene el carácter matemático, en cuanto la proporción no se puede expresar a través de una relación matemática (aún cuando Aristóteles utiliza los términos de la mitad o del doble).

La tierra es considerada de por sí, como en estado de reposo absoluto y el centro del Universo observado; su habitante, el hombre, es el ser más perfecto, y el espacio y el tiempo son absolutos, independientes de la tierra o el hombre. Los lugares del espacio son diferenciables por sus propiedades en relación con los cuerpos; es decir, en cada lugar determinado existe un arriba y un abajo y un cuerpo en ese sitio tiene la propiedad de caer (una piedra), mientras que otro la de subir (el fuego).

Galileo Galilei ataca casi todas esas ideas y enuncia su ley de la Inercia restringida (1), pero es Isaac Newton quien derrumba todo ese edificio antiguo para construir uno nuevo.

El enunciado original de Newton para sus cuatro leyes fue de esta forma:(10)

LEY 1: Todo cuerpo continúa en su estado de reposo o de movimiento uniforme sobre una línea recta a no ser que se le obligue a variar dicho estado mediante una fuerza no equilibrada que actúa sobre él.

Ley II: La variación del movimiento es proporcional a la fuerza motriz a que se le somete; y se realiza en la dirección de la recta en que la fuerza actúa.

Ley III: A toda acción se le opone siempre una reacción igual; o sea las acciones mutuas de dos cuerpos uno sobre el otro se dirigen siempre hacia las partes contrarias.

COROLARIO I: Un cuerpo sobre el que actúan dos fuerzas simultáneamente describirá la diagonal de un paralelogramo en el mismo tiempo que describiría los lados del mismo mediante la acción de dichas fuerzas por separado.*

En su abrumadora sencillez la Primera Ley o Ley de la Inercia, parece completa en sí misma y que no requiere glosa ni explicación de más. Sin embargo para la época en que se enunció esta ley fue revolucionaria, dado que sin expresarlo directamente, contradecía las ideas aristotélicas, y tomistas, fuertemente arraigadas en los intelectos de aquellos días.

*Arnold Sommerfeld, acertadamente llama a este corolario la Cuarta Ley de Newton. En realidad no es una conclusión de las leyes anteriores sino una nueva ley. A menudo se le llama la Ley de la superposición. (11).

Una de las inferencias fundamentales de la Primera Ley es el establecimiento de la no existencia de un sistema referencial absoluto, aunque para llegar a ello Newton lo presupone. El reposo y el movimiento rectilíneo uniforme son "estados naturales" para los cuerpos. Si un cuerpo es "libre" puede estar, o bien en reposo o bien con movimiento rectilíneo uniforme; la fuerza ya no es necesaria para mantener el movimiento de los cuerpos, sino para variar su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme. Y resulta, además, que es imposible mediante algún experimento determinar si un sistema está quieto o animado de movimiento rectilíneo uniforme respecto al "Espacio", considerado este último como absoluto y existente por sí. Esto trae como consecuencia una forma de enunciar la Ley de la Inercia, como una Primera Ley de Simetría de la naturaleza; a saber: "las leyes físicas son idénticas en diferentes sistemas inerciales" (11). Entendiendo por sistemas inerciales aquellos en los cuales se cumplen las Leyes de Newton.

Aparentemente la Primera Ley de Newton se podría considerar como una consecuencia de la Ley de la Fuerza o Segunda Ley, pues de acuerdo a ésta, si no existe fuerza neta aplicada a un cuerpo, dicho cuerpo no puede variar su estado de movimiento; sin embargo la Ley de la Inercia va más allá de esta conclusión, pues postula la imposibilidad, como ya se anotó, de distinguir físicamente el reposo relativo del movimiento rectilíneo uniforme, permitiendo así enunciar la primera Ley de Simetría. La primera y segunda ley son independientes entre sí y describen aspectos distintos y complementarios del mundo,

junto con las otras dos leyes de Newton conforman un sistema lógico y auto-consistente para explicar los movimientos observados en la realidad macroscópica que se le presenta al hombre.

Alberto Einstein modificó en 1905 uno de los puntos de vista de Newton y Galileo (que también era tenido en cuenta por Aristóteles), a saber: el espacio no es absoluto ni existe de por sí, tanto este como el tiempo, son propiedades relativas de la materia que dependen de su estado relativo de movimiento; diferentes observadores pueden medir diferentes longitudes o diferentes tiempos de los mismos objetos.

Existen algunas formas de enunciar el principio de la Inercia que vienen a ser simples consecuencias de él; por ejemplo, se puede enunciar de esta manera: "En ausencia de fuerzas la cantidad de movimiento lineal de un cuerpo permanece constante" tal enunciado es correcto, pero la Primera Ley va más allá de esta mera conclusión, como lo anotamos anteriormente.

La Ley de la Inercia Newtoniana, y por ende la formulación galileana, destruye la creencia aristotélica que los cuerpos no pueden estar en movimiento si algo o alguien no los está moviendo efectivamente, es decir si no hay una acción neta de contacto directo actuando sobre ellos. Además, para la nueva mecánica, no existen movimientos naturales y movimientos violentos, tampoco existen lugares privilegiados y estados naturales de los cuerpos ni del universo,

ni estados privilegiados y absolutos caracterizados en forma única; todos los cuerpos en todas partes tienen las mismas propiedades, la materia es única y la física que describe su movimiento es igualmente válida en todas partes.

Para Aristóteles estar en reposo es estar "absolutamente" en reposo, mientras para Galileo estar en reposo es estarlo respecto a algo "considerado" fijo pero que a su vez puede estar en movimiento. En Aristóteles el movimiento es un proceso que exige siempre una causa inmediata; el reposo es el único estado para el cual no se preguntaba por su causa, pues todos los cuerpos sublunares "tienden naturalmente a ese estado". Para Galileo tanto el reposo como el movimiento rectilíneo uniforme son "estados" de movimiento, además son estados relativos y para ninguno de los dos podemos buscar o atribuir causa inmediata; en cambio, para lograr variaciones de estos dos estados de movimiento sí se requiere una causa, la fuerza (19). Para Aristóteles el movimiento uniforme en línea recta horizontal sería un movimiento violento y el movimiento circular de un astro era un movimiento natural; Galileo cambia las cosas el primero es un estado natural y el segundo es, si pudiera llamarse así, el violento, no es un estado sino un proceso continuo de cambios (19).

También es claro para Galileo que los movimientos no provienen de la naturaleza del móvil, así como el reposo tampoco puede provenir de esa naturaleza. Un móvil con velocidad constante en línea recta es intrínsecamente idéntico a cuanto está en reposo (19) y las nuevas leyes del movimiento son válidas

tanto para los móviles terrestres como para los celestes; hay que anotar por otra parte que ya Bruno había defendido valientemente la idea de la independencia del lugar (espacio) y el movimiento del cuerpo, es decir que el lugar no tiene la propiedad de hacer subir a unos cuerpos (los leves) y bajar a otros (los graves) (19); Newton termina la labor estableciendo las leyes del movimiento que son independientes tanto de los cuerpos como del espacio.

4. ANALISIS TEORICO DE LAS DIFICULTADES QUE UN ALUMNO DE V BACHILLERATO PRESENTA PARA LA ASIMILACION DE LA LEY DE LA INERCIA.

4.1 INTRODUCCION.

A la luz de la teoría expuesta anteriormente y de los resultados de las enseñanzas de J. Piaget, se pueden señalar desde un punto de vista puramente teórico, las siguientes dificultades para que un alumno de nuestro medio logre asimilar en sus aspectos esenciales la primera Ley de Newton, incluso después de una correcta exposición por parte del maestro; clasificamos estas dificultades en tres conjeturas a saber: (a) Los alumnos de quinto bachillerato no poseen el nivel de desarrollo cognoscitivo necesario para comprender la primera ley. (b) El ambiente, educación y formación que han rodeado y rodean al alumno (Pre-teoría), le dificultan la asimilación de la primera ley. (c) Los conceptos previos que están implícitos en la teoría de la primera ley, no han sido definidos formalmente, ni asimilados y equilibrados por parte de los alumnos. Una situación similar se presenta con el lenguaje utilizado.

Parece indudable que existen otros factores que juegan un papel importante en el problema que nos atañe, pero no es el propósito examinarlos en este

trabajo. Sin embargo no está de más el nombrarlos: las condiciones nutricionales, económicas y afectivas del pupilo, el tratamiento inadecuado del tema por parte de los textos que utilizan los alumnos y posiblemente en algunos casos la inadecuada exposición por parte del maestro que se ciñe a estos textos; finalmente puede suceder incluso que para algunos alumnos el tema tratado por la Primera Ley no sea relevante.

A continuación analizamos las dificultades que surgen de las conjeturas enumeradas.

4.2 LA PRIMERA LEY Y EL NIVEL COGNOSCITIVO QUE IMPLICA.

Según los estudios de J. Piaget, es posible concebir el desarrollo cognoscitivo de los seres humanos como el resultado de un proceso que se dá por etapas perfectamente caracterizadas y diferenciadas entre sí, a saber (13): el nivel sensorio-motriz, el nivel preoperacional, el nivel de las operaciones concretas, y el nivel de las operaciones formales.

En la última etapa (que en culturas "desarrolladas" alcanza su equilibrio hacia los diecisiete años) que se denomina también como de las operaciones formales o hipotético-deductivas, el pupilo logra razonar sobre hipótesis y no sobre objetos, construye nuevas operaciones, las operaciones de la lógica proposicional.

Veámos cómo el enunciado de la primera ley implica y por consiguiente, presupone el uso de las herramientas cognoscitivas que caracterizan la etapa de las operaciones formales por parte del pupilo que la procesa.

Cuando Newton escribe: "Todo cuerpo continúa en estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme a no ser que se le aplique una fuerza no equilibrada", está utilizando la lógica formal al plantear una situación que tiene dos consecuencias equiprobables, indistinguibles a nuestros sentidos, pero diferenciables mentalmente; es decir, considerándome en reposo con respecto al espacio absoluto, no pasa absolutamente nada, si luego considero que me estoy desplazando con velocidad constante respecto a ese espacio; a la luz de la primera ley las dos circunstancias, reposo o movimiento rectilíneo uniforme, solo son diferenciables mentalmente y es imposible evidenciar experimentalmente tal distinción.

Algunas versiones actuales de la primera ley comienzan con enunciados tales como "Si sobre un cuerpo no actúa fuerza neta..." palabras en las cuales es evidente el carácter condicional de la primera ley. Más adelante el enunciado continúa diciendo "el cuerpo estaría ..." en donde se manifiesta su carácter hipotético. Parece que cuando un pupilo es capaz de pasar de la utilización de los verbos en presente indicativo, a la de post-pretérito es porque su estructura cognoscitiva ha llegado a la etapa de las operaciones formales.

Vemos, pues, claramente, que al anunciar la Ley de la Inercia, el aparato cognoscitivo del pupilo razona sobre proposiciones en la siguiente secuencia: aceptado que sobre un cuerpo la fuerza neta es cero (hipótesis) puede suceder una de estas dos cosas (conclusiones): o que ese cuerpo está en reposo o que está en movimiento rectilíneo uniforme con respecto a un observador inercial. Por lo tanto (implicaciones) el reposo y el movimiento rectilíneo uniforme son estados equiprobables de los cuerpos y no puede existir un sistema referencial absoluto (conclusión final). Evidentemente esto es razonar sobre razonamientos.

Puede un alumno de quinto año de bachillerato realizar este complicado proceso lógico? Se puede conjeturar que no, puesto que el alumno aún no ha llegado a la etapa de las operaciones formales; por lo tanto, no puede procesar la información recibida, a pesar, claro está, que sea capaz de memorizar el enunciado de la primera ley y referir (repetir) los ejemplos clásicos de la arrancada y frenada del bus, los cuales no constituyen la esencia de la primera ley y que poseen entre otros defectos el inducir al alumno a creer en cierto carácter animista a la materia inerte, con frases tales como "el cuerpo tiende a quedarse quieto" o "tiende a seguir". En otras ocasiones estos ejemplos tratados a la ligera conducen a errores mucho más graves, pues un alumno puede llegar a afirmar que cuando el bus arranca y las personas "se van hacia atrás", alguien los "empuja" hacia atrás, y que cuando el bus frena, alguien los "empuja" hacia adelante, siendo estos "atrás" y "adelante" conceptos absolutos y no solo referidos respecto al bus.

El alumno está adherido a un mundo "realista" en el cual las acciones y los resultados de estas deben efectuarse al menos figurativamente para poder razonar sobre ellos. No es posible concebir ni todas las posibilidades, ni menos aún, las posibilidades límite que a manera de extrapolación formal implicarían una aproximación a la conceptualización clásica newtoniana.

Es así como la realidad que en primera instancia se le presenta al alumno, trata de contradecir la primera ley, pues como su nivel cognoscitivo es el de la etapa de las operaciones concretas, concluye de su experiencia cotidiana que para mantener una silla con velocidad constante debe aplicar una fuerza constante. Asimilar la primera ley significa por tanto un proceso de abstracción imposible de llevar a cabo en 4a etapa de las operaciones concretas.

"La Física, en general, en su tarea de describir el comportamiento del mundo se basa en la experiencia y se propone llegar a las relaciones entre los objetos y los acontecimientos tal como son en "realidad". Los experimentos son acciones ejercidas sobre los objetos, a partir de los cuales el físico elabora por inducción las leyes y teorías acerca de las cosas". (14).

En el proceso de aprendizaje o de redescubrimiento de la ley de la inercia por parte del alumno, el camino es igual. El pupilo debe "abstraer" o "extrapolar" lo que sucederá a un cuerpo que estando en movimiento, (visto desde el marco de referencia del pupilo) no está sujeto a una fuerza neta. La respuesta no la halla en las acciones sobre los objetos, sino razonando sobre esas accio-

nes. Es imposible experimentalmente tener un cuerpo sobre el cual no actúa ninguna fuerza; la ley está vinculada entonces con un experimento mental.

Por otra parte, cuando el pupilo se enfrenta a una situación nueva, es por "deducción" que puede aplicar la teoría a la realidad para explicarla y así-milar el nuevo dato como una experiencia más que corrobora esa teoría. Es entonces el caso en el cual consideramos una teoría "correcta" aplicada "correctamente" a la situación pertinente. El resultado es el afianzamiento y generalización de la teoría.

4.3 LA PRETEORIA

Antes que el maestro enfrente la teoría de la Primera Ley de Newton al alumno, este ya posee su propia teoría (preteoría) al respecto (8). El ambiente que rodea al pupilo, la educación y la formación recibida y sus propias experiencias junto con su nivel de desarrollo cognoscitivo, son los factores decisivos en la génesis de la preteoría.

El pensamiento aristotélico que considera la fuerza como la causa del movimiento y que por lo tanto si sobre un cuerpo la fuerza neta es cero debe estar o tender al reposo, parece que está fuertemente arraigada en los espíritus infantiles y juveniles; uno de los propósitos de este trabajo es investigar experimentalmente esta hipótesis. Todas las vivencias y experiencias cotidianas conducen a que el individuo construya simultáneamente un sistema de explicaciones

similar al sistema físico- mecánico de Aristóteles. La experiencia cotidiana que los cuerpos se mueven sólo si se les aplica fuerza contribuye a crear y a reforzar este aspecto de la preteoría (etapa de las operaciones concretas).

Cuando se presenta el pupilo la teoría de la Primera Ley se debe producir en su espíritu una ruptura epistemológica similar a la que históricamente experimentó la humanidad con las teorías de Galileo y Newton (1); antes de ellos el hombre se preguntaba: por qué se mueven los cuerpos? después de ellos nos preguntamos: por qué se detienen? (5). Claro que la primera es una pregunta realista y la segunda una pregunta teórica cuando se ve la historia de la ciencia retrospectivamente.

Una vez el pupilo recibe la información acerca de la Primera Ley, pueden suceder una de estas tres posibilidades: a) la preteoría se impone a la teoría (se perdió el tiempo del proceso enseñanza-aprendizaje, pues el pupilo no asimiló); b) conviven la preteoría y la teoría (el alumno en clase usa, tal vez en forma memorística, la teoría, pero fuera de clase continúa usando la preteoría; c) triunfa la teoría (el alumno explica conscientemente el comportamiento del mundo de acuerdo con la teoría) (18).

4.4 LOS CONCEPTOS PREVIOS

De acuerdo a un orden lógico, a nuestro modelo de comunicación, y a la

teoría estructuralista de Piaget, es inútil al discurrir utilizar conceptos no definidos o que tengan diferente significado para el emisor y el receptor; por otra parte, de acuerdo a la didáctica, si una serie de conceptos tiene una jerarquía o cadena determinada (secuencia lógica) al faltar uno de ellos los posteriores no podrán construirse de una manera consistente. De las teorías de Piaget se puede inferir que cuando un nuevo "dato" se presenta al pupilo suceden una de estas posibilidades: i) el pupilo asimila el dato porque tanto su nivel cognoscitivo como sus experiencias y conocimientos previos le permiten explicar la situación y assimilar el dato a su bagage de experiencias. ii) El pupilo choca contra el dato, su nivel cognoscitivo, sus experiencias o conocimientos no le permiten explicar la situación, se le crea un conflicto interno (6). A su vez, en esta última situación, se presentan de nuevo dos posibilidades: A) El pupilo desecha el problema, no le interesa, no es relevante para él; ese dato no modifica su estructura interna. B) Ante el conflicto, y en la interacción sujeto-dato, la estructura interna del pupilo sufre un cambio, se transforma, avanza dentro del mismo nivel cognoscitivo o lo supera, se capacita para assimilar el "dato" y en este proceso se auto equilibra, ha superado la etapa del conflicto.

La ley de la inercia involucra conceptos que se utilizan en el lenguaje cotidiano y que tienen un significado muy definido y diferente en el lenguaje de la Física. Ha asimilado el pupilo estos conceptos de la vida cotidiana, y los ha depurado y asimilado en el lenguaje de la Física? Es posible que no; por ejemplo en el lenguaje cotidiano la velocidad no tiene dirección en el de la Física sí.

Los conceptos previos a los cuales hacemos referencia en este trabajo fundamentalmente son: masa, tiempo, espacio, velocidad, aceleración, fuerza, partícula, etc; aunque debemos anotar que si bien, es necesario que el pupilo haya depurado estos conceptos del lenguaje cotidiano, su plena significación en la teoría de la mecánica sólo la logra a través precisamente, de las leyes de Newton. Ya anotábamos anteriormente que el conocimiento no es un estado, sino un proceso, que como la ciencia misma, continuamente se va cualificando.

En algunas ocasiones creemos que incluso para el mismo Newton tales conceptos fueron conflictivos cuando estaba redactando los Principia. Veamos algunos ejemplos.

Newton fue muy exacto para "usar" el concepto de masa, pero no lo fue para aclarar su significado. Primero la define como "cantidad de materia", luego como el "producto del volúmen por la densidad" y más tarde define densidad como inercia por unidad de volúmen, aunque inicialmente había definido la inercia como proporcional a la masa (14). No obstante este embrollo lógico experimental, Newton es tajante al hacer la distinción entre masa y peso, la primera es una propiedad intrínseca al cuerpo, la segunda depende de la configuración en donde se encuentre.

Es indudable que el concepto de tiempo envuelve la problemática de cualquier cantidad relativa. Newton parte del concepto intuitivo general cuando

escribe: "El tiempo absoluto, real y matemático; por sí mismo y por su propia naturaleza fluye igualmente sin dependencia de cualquier cosa externa". Esto guarda cierta simetría con su definición de espacio: "El espacio absoluto por su propia naturaleza sin relación con cualquier cosa externa, permanece siempre semejante e inamovible... Las partes del espacio no pueden verse o distinguirse unas de otras por nuestros sentidos, por lo tanto en su lugar usamos medidas sensibles" (14).

Los sucesores inmediatos de Newton hablan de la vis-viva que "lleva el cuerpo" en movimiento (16). Podrá equipararse este concepto con el de nuestros jóvenes cuando hablan de la "fuerza que lleva el cuerpo"? Parece indudable que para los sucesores de Newton la vis-viva no tiene el carácter de fuerza aplicada, mientras nuestros alumnos la identifican con la fuerza que "puso en movimiento" el cuerpo.

Resumiendo, mientras el pupilo no haya asimilado al menos en una forma en que individualice y distinga los conceptos de tiempo, espacio, masa, peso, velocidad y aceleración, le será difícil procesar la información acerca de la primera ley. Así por ejemplo no distinguir, esto es, diferenciar masa de peso, puede constituir un obstáculo epistemológico para la asimilación de la ley de la inercia.

Cabe preguntarnos en este momento si Galileo al llegar a su ley de la inercia había diferenciado masa de peso y de volúmen, por ejemplo, y si sus

ideas acerca del tiempo y del espacio habían sido formalizadas, así como definido y distinguido aceleración de velocidad. Nos parece correcto afirmar que el proceso es cíclico; es decir, estos conceptos, tanto a la luz de la historia como en el proceso didáctico aparecen previamente a la teoría de la ley de la inercia, pero a su vez es esta ley (y otras) las que les da pleno sentido y perfección.

4.5 RELEVANCIA DE LA PRIMERA LEY PARA EL ALUMNO.

Dentro de los lineamientos expuestos hasta ahora es fácil colegir que si un dato de la experiencia no es relevante para el pupilo difícilmente éste podrá procesar el dato para asimilarlo a su estructura mental. Es efectivamente relevante para un alumno de quinto bachillerato el tema de la primera ley de Newton?

Se trata de establecer si los fenómenos para los cuales la primera ley contribuye a su explicación y comprensión plantean interrogantes que al ser discutidos y analizados por el pupilo le permiten la reconstrucción de la ley de la inercia. En nuestro caso, debido a la existencia de una preteoría enraizada en la concepción espontánea del mundo, el alumno "de por sí" no debe estar interesado en buscar una explicación alternativa a la suya. Sin embargo, vale la pena preguntarnos si existen posibilidades de construir práctica y/o mentalmente situaciones que al presentar contradicción con las formas espontáneas (preteorías) de explicación, generen en el alumno un conflicto interno, cuya solución conduzca hacia la ley de la inercia. Para responder a este problema de carácter di-

5. LA ENTREVISTA

5.1 JUSTIFICACION

Dado que el propósito de este trabajo es establecer las dificultades que un pupilo de quinto bachillerato presenta para la asimilación de la ley de la inercia y que el conocimiento por parte del maestro de la preteoría que poseen los estudiantes es muy importante, hemos escogido la entrevista como instrumento para lograr objetivamente ese conocimiento. Esta interacción directa permite averiguar más a fondo qué piensa el alumno, por qué piensa así, y en algunas ocasiones cómo reacciona cuando se pone en tela de juicio su preteoría.

Otros instrumentos, tales como un test de selección múltiple, no nos permitirían lograr la información deseada (9). Es obvio que en la medida en que con mayor exactitud conozcamos la forma como el alumno concibe el mundo, podrá el maestro estructurar su acción para lograr que el proceso enseñanza-aprendizaje sea exitoso.

5.2 TEMA DE LA ENTREVISTA

Las entrevistas se llevaron a cabo de la siguiente forma: El entrevistador lanza un bloque sobre una mesa horizontal, plana y a veces bastante pulimentada. A continuación pregunta a los pupilos por qué el cuerpo aún se desplazaba cuando iba a mitad del camino. Según las respuestas obtenidas, se dirigía la charla en forma tal que conducía a los alumnos a descubrir las contradicciones lógicas o experimentales que sus opiniones implicaban. Cuando era imposible avanzar positivamente en la discusión o cuando se caía en un círculo vicioso, el entrevistador preguntaba por qué se detenía el bloque; lo cual suscitaba nueva discusión. Luego les proponía que trataran de suponer qué sucedería si la mesa y el bloque no tuviesen ninguna fricción. Finalmente se les planteaba una circunstancia para poder manifestar la indistinguibilidad entre reposo y movimiento rectilíneo uniforme; tal cuestión concretamente era: si viese que el bloque (el de marras) pasa frente a Ud. con velocidad constante (en el espacio lejano, por ejemplo) puede afirmar que alguna vez algo (alguien) empujó el bloque?

A fin de facilitar el análisis de los resultados enumeramos las preguntas esenciales de la encuesta de la siguiente manera:

Pregunta 1: (P1): Cuando el bloque va a mitad de camino por qué continúa en movimiento?

Pregunta 2: (P2) Por qué se detiene el bloque?

Pregunta 3: (P3): Si no existiese fricción entre el bloque y el plano, se detendría el bloque?

Pregunta 4: (P4): Si viese que el bloque pasa frente a Ud. moviéndose con velocidad constante (en el espacio vacío, por ejemplo) podría asegurar que algo (alguien) empujó ese bloque?

Analícemos ahora lo que se pretendía conocer mediante estas preguntas. Con las respuestas a las preguntas 1 y 2 (P1 y P2) se puede hacer una reconstrucción de la forma como los pupilos conciben lo que llamamos la dinámica. Es decir, establecer la preteoría que acerca del problema causal del movimiento tienen los alumnos. Como algunos de los grupos entrevistados se escogieron entre alumnos de sexto de bachillerato, sus respuestas a las P1 y P2, permiten establecer hasta qué grado, la teoría ha desplazado la preteoría o si por el contrario es aún la preteoría la que les da las bases para explicar el comportamiento del mundo en cuanto se refiere a la dinámica. Más concretamente, las P1 y P2 nos permiten averiguar si antes (y/o después) de la acción del maestro la primera ley de Newton ha sido interiorizada por el pupilo y forma parte de su bagaje cognoscitivo. O establecer si por el contrario la preteoría del pupilo coincide con la dinámica aristotélica o con otro tipo diferente de ella.

Mediante la pregunta 3 (P3), se indaga categóricamente si el pupilo acepta la existencia de la ley de la inercia. Aceptarla, en este contexto significa, o, que ya la posee y la utiliza para explicar el mundo, o que en ese momento la "descubre" (lógica o formalmente) y puede admitir en un proceso límite o extrapolatorio que si no existiese fricción el bloque nunca pararía (ley de la inercia restringida de Galileo), (1) y (25) . En caso contrario, es decir, cuando el alumno rechaza la ley de la inercia o no la admite, se puede deducir de la entrevista en dónde radica la causa de ese rechazo; y cuando se conocen los puntos débiles de la construcción preteórica de los pupilos, se puede enfocar mejor el planeamiento de la clase.

La pregunta 4 (P4) es ambiciosa. Pretende indagar sobre la última inferencia de la ley de la inercia de Newton: la imposibilidad de distinguir entre el movimiento rectilíneo uniforme y el reposo relativo y la imposibilidad de la existencia de un marco de referencia absoluto.

5.3 SUJETOS DE LA ENTREVISTA.

La población de la entrevista se tomó entre alumnos de quinto bachillerato que no hubiesen recibido información acerca de la primera ley de Newton y entre alumnos de sexto bachillerato que sí la habían recibido, de acuerdo a como lo establecimos en la sección inmediatamente anterior de este trabajo.

Las edades de todos los pupilos entrevistados están comprendidas entre 14 y 17 años. Esto nos permite afirmar que cronológicamente estos pupilos deben estar en la etapa de las operaciones concretas.

Mientras llevábamos a efecto el trabajo de campo descrito, se nos presentó la ocasión de realizar la entrevista con dos grupos especiales, que resultaron de gran interés, a saber: un grupo de profesores de Física en secundaria y un grupo de estudiantes de séptimo semestre de Licenciatura en Física de la Universidad Distrital de Bogotá.

Así pues las entrevistas se llevaron a cabo en los sitios y con las personas que se describen a continuación:

5.3.1 Colegio Nacional Restrepo Millán.

Se entrevistaron 70 alumnos de quinto de bachillerato, que no habían recibido información acerca de la primera ley, y 25 alumnos de sexto, que por lo tanto si la habían recibido.

5.3.2 Colegio Distrital La Amistad.

A 45 alumnos de quinto de bachillerato y 30 de sexto.

5.5.3 Colegio Andino.

La entrevista se realizó al finalizar el año lectivo (Julio/81), con 25

alumnos de cuarto bachillerato (aprobados para ingresar a quinto) y 25 de quinto bachillerato (aprobados para ingresar a sexto).

5.3.4 Grupo de profesores de secundaria que tomaron un curso de capacitación en la Universidad Distrital en agosto de 1981.

Diez profesores en total. Siete de ellos dictan física en bachillerato. Uno de ellos dicta física en dos colegios (uno distrital y otro particular).

5.3.5 Un grupo de ocho alumnos de séptimo semestre de Licenciatura en Física de la Universidad Distrital.

5.3.6 Algunos grupos de alumnos de primer semestre de diferentes carreras en la Universidad Distrital y en la Universidad Nacional.

Es de anotar que la mayoría de estas entrevistas fueron grabadas en cassetes magnetofónicos, a fin de hacer su análisis más objetivo; desafortunadamente no todas las entrevistas fueron grabadas.

Las entrevistas se llevaron a cabo en grupos de mínimo 5 alumnos y máximo 10, según las circunstancias.

6. RESULTADOS DE LAS ENTREVISTAS

6.1 INTRODUCCION.

En esta sección pretendemos clasificar las respuestas obtenidas en las diferentes entrevistas.

Extraer estas respuestas de su contexto (la entrevista) puede aparecer artificial, lo mismo que tratar de realizar una estadística acerca de sus frecuencias.

Puesto que nos importan las concepciones de los alumnos, cualquier opinión por aislada que sea se torna importante. No obstante a fin de tener una idea global de la situación, clasificaremos las respuestas en esta forma: Respuestas a cada una de las preguntas prototipo P_1 , P_2 , P_3 y P_4 , explicadas en la sección anterior de este trabajo, expresando su frecuencia estadística aproximada. En seguida presentamos una serie de respuestas en donde los pupilos intentan definir algo, cantidades físicas, unidades, etc. Luego algunas respuestas que podríamos clasificar bajo el título de curiosas, pero que simplemente llamaremos "otras respuestas". Es claro que el objetivo último no es realizar un análisis de cada res-

puesta, sino de todas las entrevistas en general. Finalmente se transcribe una entrevista prototipo de un grupo de alumnos y una selección de la entrevista a los profesores de secundaria del curso de capacitación de Agosto de 1981. Al final de este trabajo transcribiremos en los apéndices finales otras tres entrevistas realizadas en distintos colegios.

6.2 RESPUESTAS A LA PREGUNTA P₁.

El bloque continúa moviéndose porque lleva una fuerza hacia adelante. (90%).

El bloque continúa moviéndose porque todavía le queda la fuerza (o parte de ella) que se le dió. (90%).

El bloque continúa moviéndose por el impulso que se le dió. (40%).

El bloque se mueve porque se le dió fuerza (30%).

El bloque se mueve porque se le dió fuerza en un instante (1 alumno).

6.3 RESPUESTAS A LA PREGUNTA P₂.

El bloque se detiene porque:

Se le acabó la fuerza que se le dió (95%).

Perdió la fuerza (90%).

Se le acabó el impulso (90%).

No le alcanzó la fuerza para más (40%).

Se equilibró la fricción con el impulso que le queda.

Hasta ahí le llegó la fuerza.

Se le aplicó una fuerza para que llegara hasta ahí.

Perdió el impulso por la falta de fuerza.

No tiene fuerza que le mantenga la velocidad.

La fuerza del borrador es menor que el peso.

Se le acabó la velocidad.

Se detiene por el peso.

6.4 RESPUESTA A LA PREGUNTA P₃.

Si no existiese fricción el bloque:

Si se detiene (95%).

No se detiene porque no hay gravedad que le quite la fuerza. (o por alguna otra causa, semejante a esta) (5%).

Se detiene cuando se le acabe la fuerza (80%).

Está loco, se tiene que detener (1 alumno).

6.5 RESPUESTAS A LA PREGUNTA P₄.

Necesariamente alguien tuvo que empujar el bloque (100%)

6.6 RESPUESTAS DEFINICION.

Velocidad, fuerza e impulso son diferentes; fuerza es la fuerza con que se mandó el borrador, el impulso es hacia donde vá y la velocidad es la velocidad que lleva.

Fuerza es la permanencia de la velocidad.

El impulso lo da la fuerza y ésta es el impulso que se le dá al cuerpo.

Trabajo es la acción de una fuerza para mover otra fuerza (alumno de sexto).

La velocidad es el tiempo que gasta de aquí a aquí.

El impulso lleva una fuerza.

El impulso es la acción que hace mover un objeto al recibir una fuerza.

El impulso es una fuerza para mover el cuerpo.

La velocidad es una fuerza.

Fuerza es la fuerza con que se lo mandó e impulso es lo que lleva.

Impulso es la acción que hace mover un objeto al recibir una fuerza.

6.7 OTRAS RESPUESTAS

El cuerpo se mueve porque pesa, si nó pesara no se podría mover.

La fuerza y la velocidad son la misma cosa.

Si la fuerza de fricción fuera mayor que la que lleva de para delante se movería de para atrás.

Cuando el cuerpo frena, la fuerza que llevaba hacia adelante se voltea hacia abajo para frenar el cuerpo.

Para mover un cuerpo con velocidad constante la fuerza que yo aplico tiene que ser mayor que la fuerza de fricción, o si no, se para.

Si la fuerza neta sobre un cuerpo es cero, necesariamente está en reposo.

Para que un cuerpo que está en reposo se mueva, se requiere una fuerza mayor que el peso.

Cuando el cuerpo frena la fuerza se acaba.

Llega un momento en que el cuerpo es superior a la fuerza que lleva, se para.

Un cuerpo mueve a otro si su peso es mayor.

El impulso lleva fuerza.

La fuerza que lleva el cuerpo absorbe la fuerza de fricción.

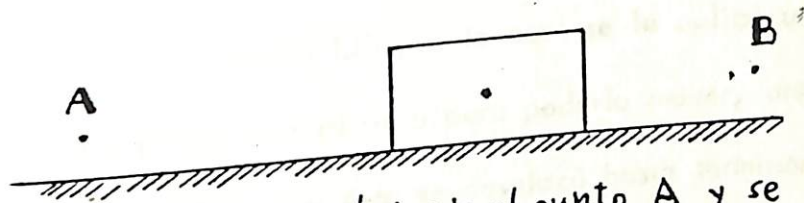
6.8 ENTREVISTA CON UN GRUPO DE ALUMNOS DEL COLEGIO RESTREPO MILLAN.

A manera de muestra queremos transcribir esta encuesta que seleccionamos al azar. Cada una de las entrevistas tiene sus características particulares pero también podemos observar gran cantidad de circunstancias similares, de tal

forma que después de escuchar una entrevista se puede afirmar que prácticamente en esencia, se han escuchado todas. Esto es válido aún para la entrevista con los profesores de física en secundaria, como se verá en el siguiente numeral de este trabajo. La entrevista en cuestión se desarrolló así:

Entrevistador (E): Voy a lanzar este borrador sobre esta mesa. Observen (lo hace). Nuevamente (lo vuelve a lanzar). Quisiera preguntarles una cosa, cuando el borrador iba a mitad de camino, por qué se estaba moviendo?

- Alumno 1: (A1) (Responde sin vacilar) "Porque Ud. le dió un impulso hacia allá".
- A2: Porque llevaba la fuerza.
- A3: Porque aún no ha asimilado la totalidad de la fuerza que se le dió.
- A4: Cuando iba ahí la fuerza no se le había acabado. Lleva un... digamos que se reparte.
- A2: Porque el golpe que Ud. le dió transmitió la orden en una sola dirección, digamos, no recibió la orden de aquí a aquí (muestra con el dedo el punto de partida y un punto más allá de donde paró el borrador).



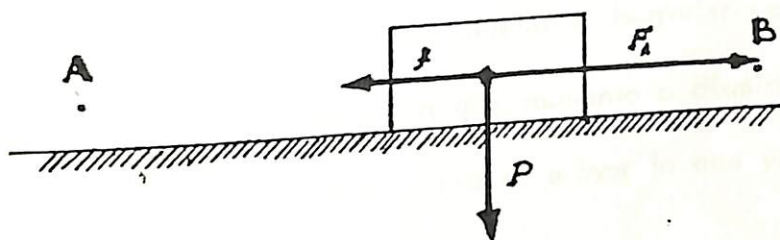
El bloque se lanzó desde el punto A y se detendrá en el punto B.

- A1: Ud. le aplicó una fuerza inicial o una velocidad inicial...
- E:Cuál de las dos: Fuerza o velocidad?
- A1: Fuerza. Y... supongamos que va en el centro y está en una estabilidad; sí, y aquí terminó en cero la velocidad que traía el móvil; allá empezó por ejemplo con cincuenta, y entonces en la mitad va con veinticinco...
- E: Qué es lo que halla a veinticinco, la velocidad o fuerza, o qué?

- A1: Veinticinco kilogramos de fuerza, supongamos, y aquí va a parar con cero.
- A2: O sea que se le aplicó una fuerza, a la cual este cuerpo que tiene un determinado peso, supongamos una cantidad de peso, medio kilo, a la cual se le aplicó una fuerza, que era mayor que el peso para poderlo mover, una cantidad mayor de fuerza y ésta se desplazó hasta terminar esa fuerza que se le dió.
- E: Para empezar a moverlo tengo que aplicarle una fuerza mayor que el peso?
- Varios: Si, si.
- E: Es evidente?
- Varios: Sí, si.
- A2: Si porque si le diera una fuerza igual quedaría estático.
- E: Y si es menor?
- Casi todos: No se mueve.
- A1: Se estrella contra el cuerpo y no lo mueve.
- E: Qué significa que la fuerza se estrella contra el cuerpo y no se mueve?
- A1: Se estrella pero no se mueve. O sea que la fuerza queda ahí en ese objeto, pero no es suficiente para mover el móvil.

- A2: No lo mueve por el peso que carga.
- E: Bueno. En resmi das cuentas, por qué cuando el borrador vá aquí, (mitad de camino) por qué se mueve?
- A1: Porque se ha aplicado una fuerza.
- A2: Falta, porque si le aplica una fuerza menor que el peso no se mueve.
- A3: Yo opino que se mueve porque la fuerza que se ha aplicado aún persiste sobre el cuerpo.
- A2 : Yo opino que lo que está es el efecto de la fuerza.
- E: La fuerza o el efecto de la fuerza?
- A3: La fuerza, porque o si nó no se movería.
- A4: Si, la fuerza tiene que estar vigente ahí, o si nó ya se habría parado ahí.
- E: Ud. qué opina?
- A5: Yo estoy de acuerdo con mis compañeros, la fuerza persiste.
- E: Bueno, cuando el cuerpo iba aquí (a mitad de camino) qué fuerzas estaban actuando sobre él?
- A2: La fuerza que Ud. le aplicó.
- Todos manifiestan estar de acuerdo.
- E: Y qué otra fuerza está aplicada?
- A1: Yo creo que también actúa la de gravedad.
- E: Hacia dónde?

- A1: Hacia abajo.
- E: Cuál más?
- A4: La de fricción.
- E: Hacia dónde?
- Varios: Hacia atrás.
- E: Qué fuerza es mayor la que va hacia adelante o la de fricción que es hacia atrás?
- A3: La de adelante es mayor que la de fricción.
- A2: Yo creo que son iguales.
- Varios : No.
- A1: Si fueran iguales estaría quieto.
- A2: No, allá donde arrancó si era mayor pero por aquí en la mitad deben ser más o menos iguales.
- A4: Para que el cuerpo esté en movimiento la de fricción debe ser menor.
- E: Entonces yo tengo un problema; si la fuerza hacia adelante es mayor que la de fricción, existe una fuerza neta, total, hacia adelante, y entonces el cuerpo no debería parar, sino por el contrario aumentar la velocidad. Uds. qué opinan?
- A3: Se para porque se le va acabando.
- A4: Como la que lo lleva va disminuyendo, vá parando.
- E: Y, porqué se detiene el borrador?



Mediante estas fuerzas los alumnos explican el movimiento del bloque. F_A representa la fuerza que ellos llaman "aplicada", "inicial" o "de impulso".

A1: Porque se igualan las fuerzas.

E: Pero en el momento en que se detienen esas fuerzas siguen actuando o desaparecen?

A3: Seguirán actuando para mantener el cuerpo ahí.

E: Y de alguna manera podríamos constatar que cuando el borrador se detiene existen esas fuerzas?

Silencio.

E: Ud. si cree que cuando el cuerpo se detiene hay sobre él una fuerza hacia adelante y otra hacia atrás?

A5: En este momento nó, pero cuando se detuvo sí.

E: Pero entonces qué se hicieron esas fuerzas?

A4: Sería que las contrarrestó la fuerza de gravedad.

E: Ud. qué opina?

A1: A mí me parece que siguen existiendo pero no puede comprobarlo.

A2: Si, quedan igual el impulso y la fuerza de fricción y por eso

fue que se paró.

E: Si con mi mano yo muevo el borrador con velocidad constante, es decir sin que aumente o disminuya la velocidad (lo hace), qué fuerza es mayor la que yo aplico con mi mano o la de fricción?

Casi todos: La que Ud. aplica.

A3: Porque no se podría mover un cuerpo sin ninguna fuerza; si por ejemplo las fuerzas fueran iguales, pues, no se podría mover.

E: Bueno. Si la mesa fuera inmensamente grande y no tuviese ninguna fricción, una vez que yo lanzo el borrador se detiene o nó?

A1: Cuando termine el impulso.

A3: Sí. Cuando termine el impulso, porque, mire, según el impulso que Ud. le haya dado el borrador avanza.

A2: Yo también estoy de acuerdo, cuando termine el impulso.

E: Planteémos otra circunstancia. Si estuviéramos muy lejos de la tierra en el espacio, y de pronto vemos que este borrador pasa frente a nosotros con velocidad constante, podríamos afirmar que alguien o algo tuvo que haber empujado el borrador?

Casi todos: Claro!

E: Necesariamente?

Casi todos: Necesariamente

6.9 ENCUESTA A LOS PROFESORES DE FÍSICA EN SECUNDARIA.

(EXTRACTO).

En Agosto de 1981 un grupo de profesores de Física de secundaria tomaban un curso de capacitación en la Universidad Distrital; aprovechamos la circunstancia para realizar la entrevista en forma muy idéntica a como la llevamos a efecto con los pupilos de bachillerato. Extractamos partes de la entrevista y las transcribimos a continuación.

- E : Voy a lanzar este borrador sobre este piso, así (lo lanza).
Nuevamente (lo repite). Bien. Quisiera preguntarles una cosa: Cuando el borrador iba a mitad de camino por qué continuaba moviéndose?
- Profesor 1
(Pr 1) : Porque tiene impulso.
- E : Qué es el impulso?
- Pr1 : El impulso para mí viene a ser la fuerza aplicada por un tiempo pequeño.
- E : Por qué aquí se está moviendo? (El encuestador indica la mitad del camino).
- Pr2 : Porque es menor la fuerza de rozamiento del piso que la fuerza que llevaba (Profesor de Física en dos colegios).
- Pr3 : La fuerza inicial fué más fuerte que el espacio que tenía que

- recorrer.
- Pr4: En ese momento el borrador sí lleva impulso pero la fuerza de fricción se lo está quitando.
- E: En el instante en que el borrador iba a mitad de camino qué fuerzas actuaban sobre él?
- Pr5: La fuerza de gravedad, la de fricción y la fuerza que se aplicó.
- E: Qué fuerza es mayor, la de fricción o ésta que lleva hacia adelante?
- Pr6: La que lleva hacia adelante.
- E: Tú estás de acuerdo con este esquema? (que sobre el cuerpo actúan cuatro fuerzas: la normal, el peso, la fricción y una fuerza hacia adelante).
- Pr4: No, ya no estoy de acuerdo.
- Pr7: Yo tampoco.
- Pr3: La fuerza de gravedad hay que tenerla en cuenta, pero el peso también es importante (Profesor de Matemáticas, con estudios de maestría).
- Pr2: La fuerza hacia adelante es una resultante entre la fuerza que se aplicó y el peso.
- Pr4: No, la acción de la fuerza aplicada sólo duró un instante, ya no existe.
- E: Tú dices que esta fuerza hacia adelante es mayor que la de

fricción, no te parece que de acuerdo a la segunda ley de Newton el borrador debería aumentar velocidad en lugar de frenar? Ves alguna contradicción?

Pr2: No, es precisamente por la fuerza de fricción que el cuerpo frena.

E: Por qué se detiene el borrador?

Pr3: Porque cesa el impulso.

Pr7: Por la fuerza de fricción, si no existiese el cuerpo nunca se detendría.

E: Si no existiese fricción esta fuerza hacia adelante existe?

Pr1: Existe el impulso que para mí es una fuerza aplicada en un instante.

E: Si no existiese fricción el borrador se detendría?

Pr7: Nunca.

Pr5: Pues, tocaría analizar en qué sistema estaríamos.

Pr5: (Después de recalcarle las condiciones) Si se detendría porque habría fuerzas externas.

Pr4: No se detiene nunca.

E: Supongamos que Ud. está en el espacio lejos de cualquier cosa existente, y que de pronto vé pasar frente a Ud. el borrador, puede afirmar que algo le está aplicando fuerza al borrador?

Pr1: Si pasa con velocidad constante, no; pero si pasa con aceleración sí.

E: Y si te pregunto que si alguna vez alguien le aplicó fuerza al borrador?

Pr1: Sí.

Pr2: Puede que sí le hayan aplicado una fuerza; porque pudo ser una fuerza que sin tener que ser aplicada la hizo mover.

Pr4: Sí, necesariamente alguien la empujó.

Todos los demás. Sí.

7. ANALISIS DE LAS ENTREVISTAS

A partir de las respuestas de las entrevistas se pueden establecer claramente los elementos de lo que podríamos llamar la preteoría que acerca de la dinámica (la llamaremos predinámica) poseen nuestros alumnos antes de llegar a quinto de bachillerato.

La predinámica consta de dos postulados o leyes y tres corolarios, a saber:

1a. Ley: Un cuerpo sólo puede moverse bajo la acción de una fuerza no equilibrada que actúa en la dirección del movimiento.

2a. Ley: La fuerza que se aplica sobre un cuerpo permanece sobre él, así el agente que la produjo deje de interactuar con él. Esta fuerza aplicada se va desgastando a medida que el cuerpo avanza, y cuando se acaba o cuando se equilibra con otras fuerzas (fricción, peso, etc) el cuerpo se detiene.

Corolario 1: El comportamiento cinemático de los cuerpos depende de su peso y de su relación con otras fuerzas aplicadas.

Corolario 2: Para que un cuerpo se mueva con velocidad constante se le debe aplicar una fuerza no equilibrada constante, ligeramente mayor (o por lo me-

nos igual) al peso del cuerpo.

Corolario 3: Para que un cuerpo aumente cada vez más su velocidad se le debe aplicar una fuerza superior al peso.

Nuestra denominación de leyes y corolarios es arbitraria, las cinco afirmaciones anteriores tienen carácter de axiomas o postulados en la medida en que son independientes entre sí y evidentes para quienes los afirman, aunque a la luz de las leyes de Newton sean contradictorios entre sí. El lenguaje en que transcribimos las leyes de la predinámica lo hemos acomodado para darle una semejanza al utilizado por Newton, respetando, claro está, la esencia del pensamiento de nuestros jóvenes.

La primera ley de la predinámica es un postulado fundamental, y con carácter de validez universal. Este postulado está "fuertemente" arraigado en la mente de los jóvenes y cuando en alguna forma se les plantea que podría ser falso reaccionan violentamente con frases como ésta "¡LÓGICO! no vé que si no lleva fuerza se para!". Este postulado es reducible a la primera ley de la dinámica de Aristóteles (ver la parte 3 de este trabajo).

A la luz de estos postulados predinámicos los pupilos se explican en forma satisfactoria para ellos, el por qué los cuerpos se desplaza en la forma como lo hacen en las diferentes circunstancias que la cotidianidad inmediata les pre-

sentado; no existe fenómeno al alcance de su experiencia que no sea explicado satisfactoriamente por sus postulados. Un cuerpo que se lanza hacia arriba, por ejemplo, sube hasta que la fuerza con que fue lanzado se iguala al peso y luego descende porque el peso es mayor que esa fuerza. Este punto débil de la predinámica, pasa totalmente inadvertido para el pupilo: Cuando el cuerpo que alcanza su altura máxima empieza a descender, la fuerza neta hacia abajo es muy pequeña e inferior al peso, por consiguiente de acuerdo al corolario 1 no debería moverse. Sin embargo cuando se enfrenta el alumno ante esta dificultad, "busca" salidas "ilógicas" pero que le conservan intacta la predinámica; por ejemplo dicen "Cuando el cuerpo flota en el aire es más fácil moverlo". Es decir sus leyes predinámicas siguen siendo universales aunque con remiendos. En fenómenos algo más complejos las "salidas" siguen siendo semejantes. La luna no se acerca a la tierra porque hay una fuerza centrífuga que anula la fuerza gravitacional de la tierra, y queda actuando sólo la fuerza que lleva la luna en la dirección de avance. Cuando las leyes no se cumplen siempre hay "peros" para conciliar la predinámica con la incongruencia pero jamás para ponerla siquiera en tela de juicio, pues ella de por sí es lógica y verdadera por encima de todo.

Se ha dicho que este esquema utilizado por los pupilos es aristotélico; precisemos ahora, el alcance de esta afirmación.

Para la dinámica aristotélica, el movimiento no puede existir sin que una causa inmediata actúe sobre el objeto movido; esta es la similitud fundamental

con la forma de concebir el movimiento por parte de los pupilos, pues para estos siempre debe existir fuerza neta en la dirección del desplazamiento que depende de su velocidad. Esta es la primera ley de la dinámica aristotélica. Existe sin embargo una diferencia con el pensamiento aristotélico, pues en este, el agente externo que mueve el objeto actúa en contacto directo con él y para nuestros estudiantes la fuerza sobre el objeto en movimiento puede haber sido transmitida por algún agente que ya no actúa sobre él (el objeto "asimila" la fuerza), con lo cual evidentemente no admiten (o mejor, en su esquema de explicación no existe) la tercera ley de Newton.

La segunda ley de Aristóteles dice que la velocidad es inversa a la resistencia; esta ley no aparece directamente en las preterías de los pupilos. En varias ocasiones, ninguno de ellos habló, ni tuvo en cuenta para sus explicaciones la fuerza de rozamiento. No obstante, lo que ellos llaman "fuerza aplicada o fuerza que lleva al cuerpo" debe ser mayor que toda (o la suma de todas) otra posible fuerza que actúe sobre el móvil, incluyendo su peso. Otra diferencia con el pensamiento aristotélico es que los pupilos no hacen referencia a movimientos naturales o violentos, ni a sitios naturales o estados naturales de los cuerpos; un cuerpo cae porque el peso es mayor que cualquier otra fuerza que lo afecta, y un cuerpo asciende porque la fuerza que "lo lleva hacia arriba" es mayor que todas las demás, y principalmente mayor que su peso.

Las dos leyes de la predinámica pueden ser inconsistentes desde el punto de vista de nuestra lógica; esto no se examina en este trabajo. Lo importante es

que para el alumno sí son lógicas e incuestionables, y que mediante ellas se "explica" los movimientos que observa. En particular los dos corolarios se contradicen entre sí, pero así es como nuestros alumnos interpretan el mundo.

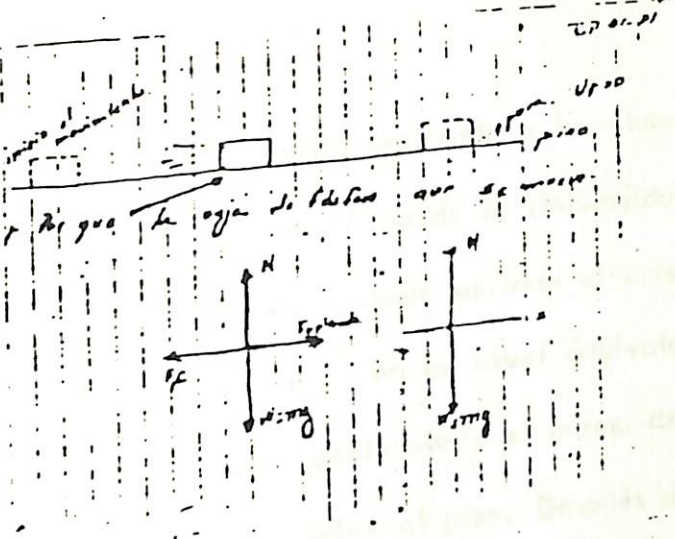
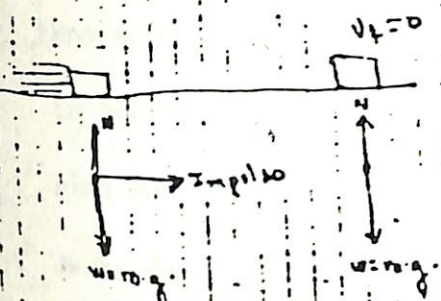
Planteados estos hechos, viene una pregunta crucial. Una vez que el alumno recibe en quinto bachillerato la información acerca de las leyes de Newton cambia su forma de visualizar el mundo? Esto es, vence la teoría o la pre-teoría? Desafortunadamente la respuesta es un NO categórico. Las encuestas realizadas con alumnos de sexto bachillerato (2 grupos el Colegio Restrepo Millán, 3 grupos en el Colegio La Amistad y 2 grupos en el Andino) permiten afirmar este categórico NO. La única diferencia de las respuestas de los alumnos que ya recibieron la información con las de los que no la han recibido, es el vocabulario usado por aquellos y que sólo muy rara vez usan éstos. Palabras tales como: energía, cantidad de movimiento, aceleración, fuerza, fuerza centrífuga, relatividad, trabajo etc. son usados sin contenido preciso por los alumnos de sexto de bachillerato; además, los términos utilizados por todos tales como: la fuerza que lleva (o lo lleva) al cuerpo, impulso, velocidad son términos que a su vez también carecen para ellos de contenido preciso y que se autodefinen (palabras huecas). Cuando se le solicita a un alumno que diferencie entre impulso, velocidad y fuerza, contesta: "Fuerza es la que se le dió; impulso el que lleva y velocidad la que tiene en ese momento". En otra ocasión al preguntar a otro alumno si fuerza e impulso eran la misma cosa o cosa diferente, contestó: "Son distintos, la fuerza es la que se aplica, impulso es la fuerza que lleva el

cuerpo", y otro añadía: "El uno está hecho para el otro".

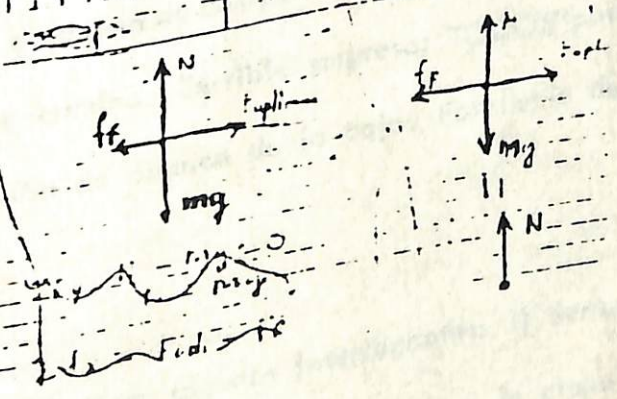
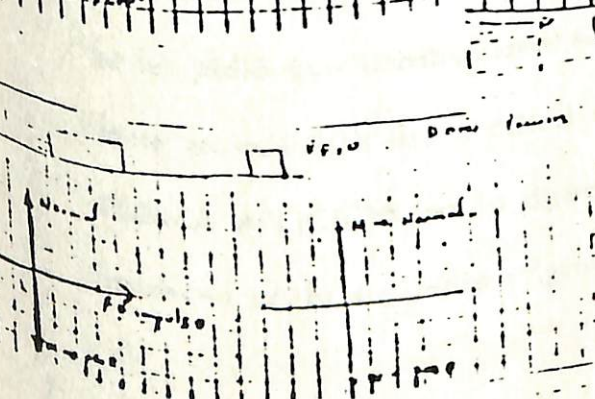
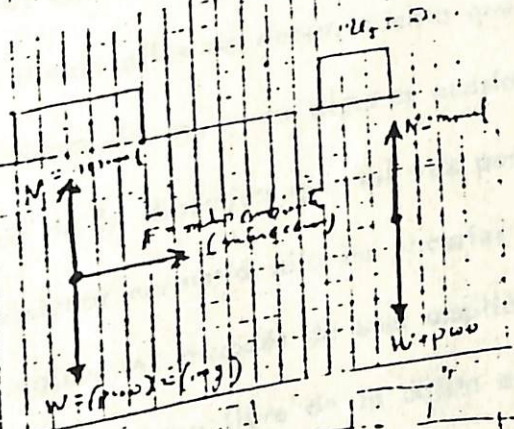
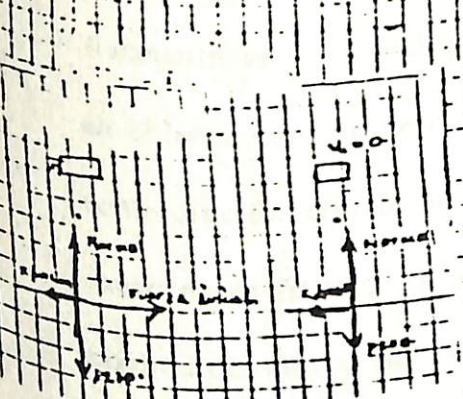
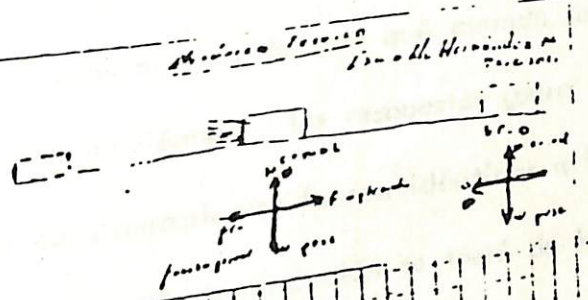
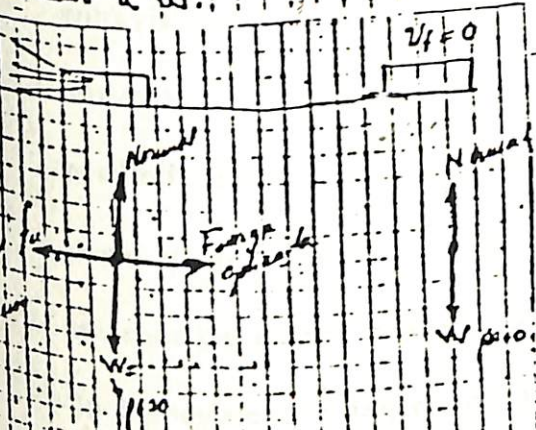
En respuesta al problema de la ineficacia de "informar" en la clase de Física de quinto bachillerato sobre las leyes de Newton, debemos analizar dos entrevistas, que ahora cobran una importancia básica, cuestionadora y de profunda trascendencia: 1a) La entrevista realizada a los maestros licenciados en física que tomaron el curso de capacitación que dictó la Universidad Distrital en Agosto de 1981 y 2a) Los alumnos de séptimo semestre de Licenciatura en Física del 2º período de 1981 en la misma Universidad.

Análisis de la 1a. entrevista: De diez maestros de secundaria, licenciados, la mayoría profesores de física en colegios distritales y particulares, sólo tres de ellos entienden parcialmente la primera ley de Newton. Es impresionante que todos los demás usen idéntico esquema predinámico que los alumnos de quinto bachillerato, y que su vocabulario apenas se diferencia muy poco del de los alumnos de sexto de bachillerato, incluyendo al profesor que dicta física en dos colegios. Acabamos de afirmar que sólo tres de ellos entienden parcialmente las leyes de Newton, porque si bien están convencidos de que cuando la fuerza neta sobre un cuerpo es cero puede estar tanto en reposo, como con movimiento rectilíneo uniforme, y que la fuerza neta no necesariamente actúa en la dirección del movimiento, sin embargo, no habían logrado asimilar que la primera ley conduce a la conclusión que no puede existir un sistema de referencial inercial absoluto.

Cod. 20034



perpendicular a w.



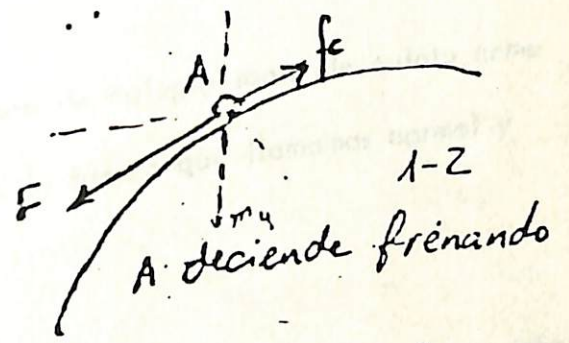
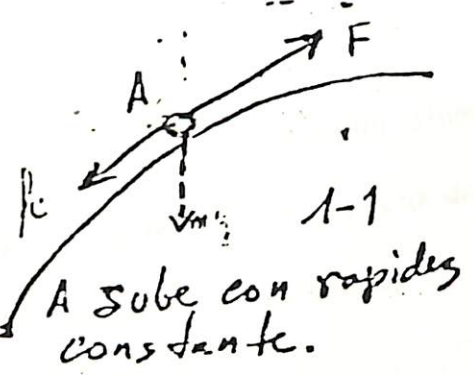
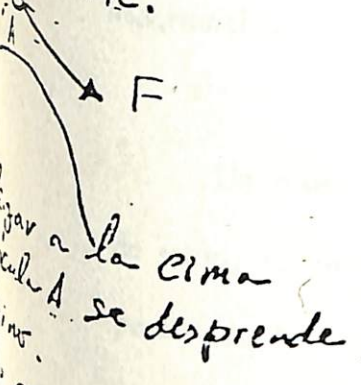
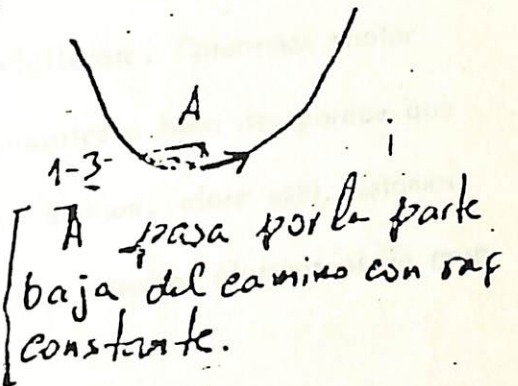
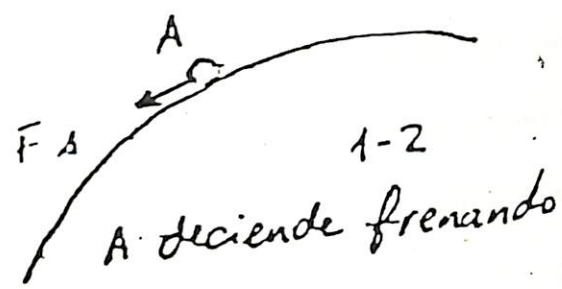
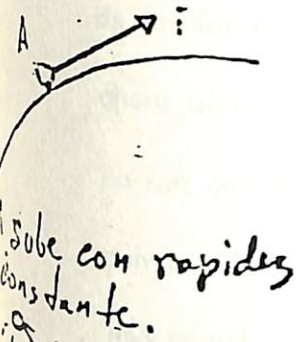
Pasemos ahora el análisis de la entrevista realizada a los alumnos de séptimo semestre de la Carrera de Licenciatura en Física de la Universidad Distrital. En primer lugar anotemos que estos 8 alumnos estaban tomando el curso de Mecánica Analítica en el segundo semestre de 1981, con un nivel equivalente al del texto de Symon (17). El asunto tratado fue esencialmente el mismo de las demás entrevistas; una caja de fósforos fué lanzada sobre el piso. Después de recorrer dos metros la caja se detiene. Al interrogarlos del por qué cuando la caja iba a mitad de camino, aún continuaba moviéndose, las respuestas (para sorpresa y, punto de partida de un profundo cuestionamiento) fueron idénticas a las de los alumnos de quinto o sexto bachillerato. A continuación se trató de hacerles ver la inconsistencia lógica de sus respuestas con las cuatro leyes de Newton, y efectivamente se los condujo a situaciones donde ellos de daban cuenta que estaban en abierta contradicción con las ideas newtonianas, y en algunas ocasiones en contradicción con la información acerca de la dinámica que tal vez poseen en forma memorística. El papel del entrevistador consistió sólo en hacerles ver las contradicciones y no en resolverlas. Finalmente, después de esta amplia discusión se les pidió que construyeran el diagrama de cuerpo libre de la cajita en el instante en que ésta iba a mitad de camino. Terrible sorpresa; TODOS pintaron la FUERZA APLICADA en la dirección de avance de la caja. Fotocopia de estas hojas aparecen en la siguiente página.

Ante este hecho debemos plantear algunos interrogantes: 1) Será posible que estos alumnos de séptimo semestre no hayan llegado aún a la etapa de las

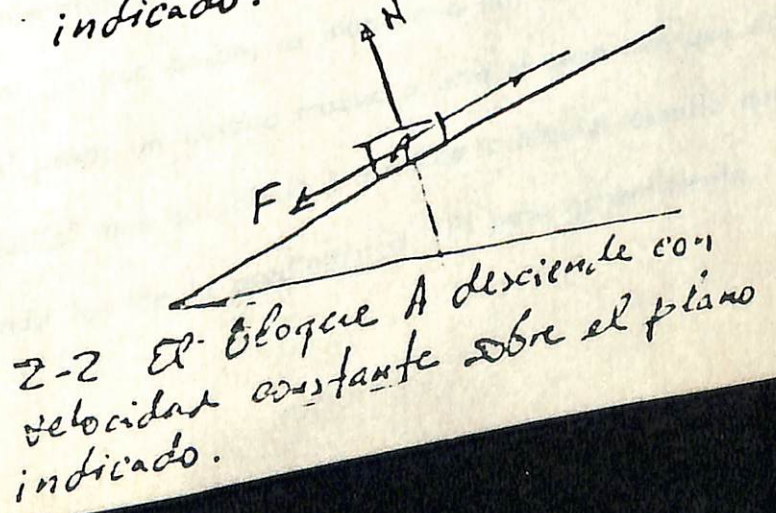
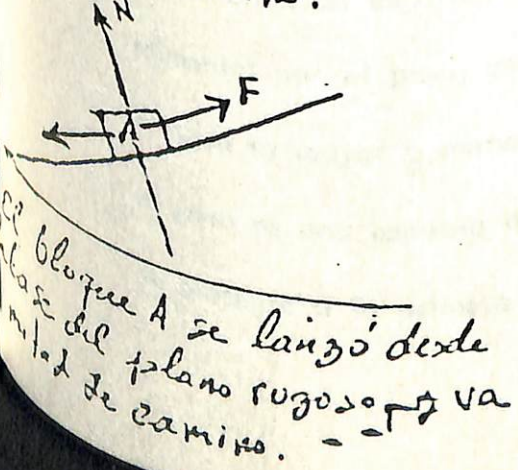
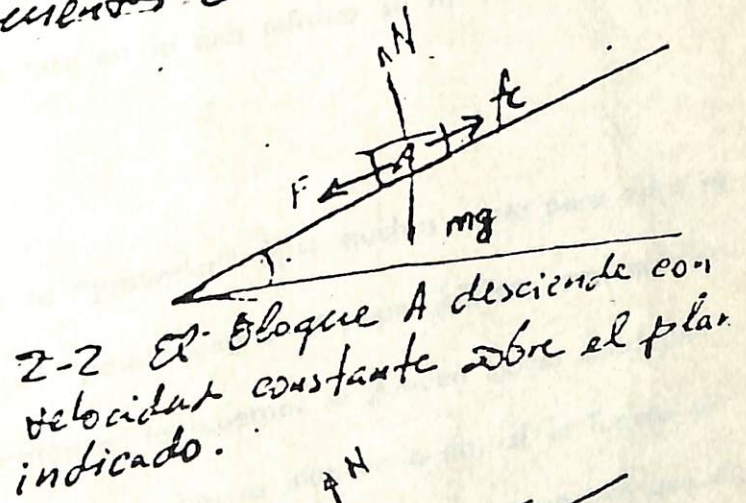
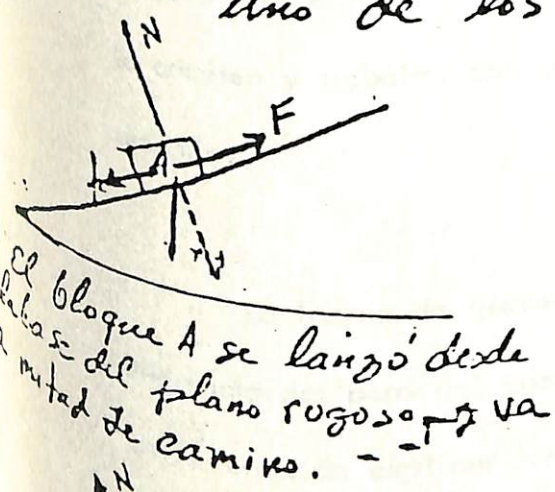
operaciones formales? (sus edades oscilan entre 22 y 25 años). 2) Puesto que aún manejan la predinámica y es indudable que muchas veces han recibido la información de la dinámica newtoniana, por qué no la han asimilado? Malos docentes? Incorrectos métodos de transmitir la información? Quién transmitió la información tampoco la había asimilado? No es el propósito de este trabajo dar respuesta a estas serias y trascendentales inquietudes. 3) Es ésta situación un caso particular aislado? La respuesta, es, no. Los resultados de la encuesta a los profesores del curso de capacitación indican dramáticamente que no es un caso particular, pues estos docentes provenían de diferentes universidades y diferentes años de promoción, y como asunto de mencionar las tres personas que parcialmente conocían la primera ley de Newton son egresados de la U. Distrital. Por otra parte los alumnos de Práctica Docente de la misma Universidad, VIII Semestre, a excepción de 2 (de un grupo de 14) también usan la misma predinámica.

En febrero de 1982 mientras se revisaban estas notas, se realizó la prueba cuyas fotocopias aparecen en la página siguiente, con dos alumnos de mecánica teórica de sexto semestre de Licenciatura en Física de la Universidad Distrital. Estas pruebas no añaden nueva información, simplemente corroboran todo lo analizado anteriormente y tornan más dramáticos los interrogantes: Qué ha sucedido entre quinto bachillerato y sexto semestre de Licenciatura en Física? No ha habido transición en la forma de interpretar el mundo, ni siquiera en personas dedicadas a estudiar física? La misma preteoría del adolescente continúa en el adulto, por qué?

la fuerza NETA que actúa sobre la partícula A en uno de los siguientes casos:



Dibuje el diagrama de cuerpo libre sobre el bloque en cada uno de los siguientes casos:



Los elementos que se acaban de analizar son las características esenciales de las formas de pensar de nuestros alumnos de Bachillerato. Queremos anotar ahora algunas características que o bien no son generales o bien nos parece que no son del todo trascendentes para el tema presente aunque, claro está, estamos convencidos de que todo dato acerca de cómo piensan nuestros alumnos es de gran importancia.

Un aspecto curioso es que ningún alumno de colegio tanto de quinto como de sexto, se imagina siquiera la existencia de la fuerza que llamamos normal y para nada la necesitan en su predinámica.

La fuerza de fricción es admitida por algunos, pero hubo varios grupos (sólo de 5º Bto) que no la tuvieron en cuenta; no obstante, una vez que se les insinúa la admiten y trabajan con ella, sin que en lo más mínimo se les modifique la predinámica.

"La fuerza de gravedad", o la "gravedad" (que muchas veces para ellos se diferencia del peso del cuerpo), o el "peso" juegan un papel básico, casi mágico en la forma de explicar las observaciones: los cuerpos se pueden mover (horizontalmente) por el peso; se detienen porque pesan; se mueven o no, si la fuerza aplicada es mayor o menor que el peso; un cuerpo mueve a otro si pesa más que él; el peso es una especie de "comodín" que soluciona o explica cualquier escollo que se presente a la primera o segunda ley de la predinámica. El peso generalmente

aparece como la fuerza que la tierra hace al objeto, pero a veces lo confunden con la fuerza que un cuerpo efectúa sobre la superficie que lo sustenta. El análisis de estos cuestionarios escapa al objeto de este trabajo, pero pueden ser objeto de posteriores trabajos. Claro está que insistimos en la imperiosa necesidad de conocer a fondo las preterorías de los estudiantes, como fecunda información que nos permitirá planificar en forma más consciente, nuestro papel en el proceso enseñanza-aprendizaje.

Finalmente, anotemos, que el uso de la palabra aceleración no es frecuente ni en alumnos de quinto ni de sexto; sin embargo en las pocas ocasiones que la utilizan el sentido que tiene es el correcto, cambio en la velocidad a través del tiempo.

8. CONCLUSIONES

8.1 INTRODUCCION.

Queremos en esta sección expresar en forma explícita y muy resumida las conclusiones que nos parecen fundamentales, tanto acerca de nuestras hipótesis iniciales, como también las que aprendimos durante la realización de este trabajo.

8.2 ACERCA DE LA PRETEORIA.

Se puede afirmar que antes de llegar a quinto de bachillerato nuestros jóvenes han construido una preteoría que hemos llamado predinámica, con algunas similitudes con la dinámica aristotélica y que les permite explicar la forma como se mueven los cuerpos que pueden observar. Después de quinto bachillerato (y aún después de varios semestres en la Universidad, o de varios años estar enseñando Física) el esquema predinámico sigue guiando la visión del mundo, en la mayoría de los casos; esta predinámica está mezclada con expresiones (lenguaje) de la dinámica newtoniana. Este aporte nos parece el esencial de este trabajo.

Hemos empezado a compilar de manera sistemática el pensamiento que poseen nuestros estudiantes antes de recibir la información de las leyes de Newton. Pensamiento que les permite explicar el movimiento de los cuerpos aún después de quinto y sexto de bachillerato e incluso, en ocasiones, aún siendo profesores de física en bachillerato.

8.3 ACERCA DEL NIVEL COGNOSCITIVO QUE IMPLICA LA PRIMERA LEY.

Una de las hipótesis previas a este trabajo consistía en afirmar que dado el contenido formal que expresa la primera Ley de Newton, era tal vez imposible que un pupilo de quinto bachillerato (quien presumiblemente no ha llegado a la etapa de las operaciones formales) pudiese asimilarla. Terminado el trabajo se nos presentan los siguientes hechos: por un lado es correcto que alumnos de quinto o sexto bachillerato no han asimilado la primera ley, en cuanto que no la utilizan para explicarse el movimiento de los cuerpos; pero en repetidas ocasiones nos encontramos con personas que habiendo sobrepasado la edad en que su aparato cognoscitivo debía estar en la etapa de las operaciones formales y que por oficio deben manejar cotidianamente las leyes de Newton (alumnos de licenciatura en física, profesores de física en bachillerato), tampoco han asimilado la primera ley ! Qué podemos concluir? Seguiremos afirmando de manera hipotética que el estar en el nivel de las operaciones formales es condición necesaria para asimilar la primera ley, pero claro está, no es condición suficiente. Por qué los maestros de secundaria, con dos y tres años de estar enseñando física, no aplican la prime-

ra y segunda ley que enseñan, ante un hecho concreto de la vida real? Por qué para explicar el mundo que los rodea utilizan "idéntica" preteoría (ver entrevistas) que la de los alumnos que no han recibido la información?

Creemos que es importante que futuros trabajos de esta índole retomen estos interrogantes. El aporte que esa investigación haría a la metodología de la enseñanza de la física, nos parece de vital importancia.

8.4 EL PROBLEMA ES RELEVANTE PARA LOS PUPILOS.

A partir del entusiasmo manifestado por las personas con quienes se llevó a cabo la entrevista hay que concluir que el tema de por sí despierta inquietud, esto es, es relevante para los alumnos de quinto bachillerato. Casi siempre después de apagar la gravadora los pupilos preguntaban inquietos si estaban en lo cierto o no; y más de una vez prolongamos la discusión hasta por media hora. Cuando se pudo hacer el experimento de acelerar un carro esferado (de laboratorio) cargado con grandes masas (2 kg) mediante el soplo de ellos, era notorio tanto la admiración como la polémica que despertaba. La admiración provenía del hecho de que el carro variaba su estado de reposo mediante la acción de una fuerza mucho más pequeña que el peso (la idea contraria la posee el 100% de los entrevistados).

Circunstancias como ésta, permiten conjeturar que la etapa cognoscitiva

es la de las operaciones concretas: No es posible razonar sobre razonamientos, sobre circunstancias hipotéticas. En otras palabras, el pensamiento se sustenta sólo en representaciones figurativas y no ha logrado independizarse de los inmediatos para razonar sobre lo posible.

8.5 NUEVOS INTERROGANTES.

A raíz de esta investigación hemos planteado varios interrogantes, que dada la importancia del tema podrían ser objeto de posteriores análisis, tanto de la Universidad como de los autores de este trabajo. Sintetizando estos interrogantes serían:

Se puede establecer el proceso por medio del cual los niños y jóvenes elaboran la predinámica? Por qué personas que tanto por su oficio como por su etapa cognoscitiva deberían aplicar las leyes de Newton para explicar su mundo siguen utilizando la preteoría (aristotélica)? Por qué el peso de los cuerpos es un elemento que los jóvenes utilizan para admitir y explicar erróneamente las diferentes circunstancias de los movimientos que su cotidianidad les presenta? Se debe informar (esto es, es razonable incluir en la programación) en quinto de bachillerato acerca del contenido formal de las leyes de Newton?

8.6 OTROS DOS INTERROGANTES.

Debemos ahora examinar las siguientes circunstancias: existen dos hechos de la vida cotidiana que podrían aprovecharse para que un niño construya los conceptos tanto de la relatividad del reposo y el movimiento, como de la inexistencia de un marco de referencia absoluto. Estos dos hechos son los siguientes:

(1) Es frecuente escuchar en boca de niños de pocos años la pregunta: "Y por qué los árboles de la orilla de la carretera se mueven hacia atrás? (o el conocido chiste del hombre pasado de copas que afirma "la próxima vez viajo en poste y no en tren"), y (2) es posible que todos hayamos tenido la experiencia de "sentir" que nuestro bus comienza a moverse hacia atrás; para luego darnos cuenta que es el bus vecino el que avanza hacia adelante y que el nuestro ha permanecido en el mismo sitio.

Ante estos hechos y después de los resultados obtenidos en este trabajo, aparece la siguiente dificultad: por qué esos primeros "datos experimentales" del niño no condujeron a una formalización de la ley de la inercia en el adolescente? Por qué el niño "admite" cierta relatividad en el movimiento (el poste "viaja" hacia atrás) que el joven o adulto rechazan? Sólo pretendemos plantear estos interrogantes, su análisis puede conducirnos a posteriores investigaciones. Sin embargo, desde el punto de vista de la metodología y de la didáctica de la Física, podemos plantear estas inquietudes: Será posible aprovechar estas experiencias vivenciales del niño para inducirlo a una posterior conceptualización tanto de la relatividad del movimiento, como de la inexistencia de un marco referencial absoluto y por ende a la conceptualización de la ley de la inercia?

9. PROYECTO DE UNA GUIA METODOLOGICA

9.1 INTRODUCCION.

En el proyecto de este trabajo de Tesis se contemplaba como etapa final del mismo, la presentación de una guía que tuviera como objetivo el minimizar los problemas encontrados en la realización del trabajo, y que constituyera, por tanto, un aporte metodológico para la docencia de la primera ley de Newton.

Finalizado el trabajo nos encontramos que dada la complejidad del análisis realizado y las numerosas incógnitas surgidas a raíz del mismo, sería aventurado postular una guía metodológica como tal. Lo justo es tal vez, contribuir con algunos aportes para una aproximación a una guía metodológica, teniendo claridad tanto de sus bondades como de sus limitaciones.

9.2 CONSIDERACIONES GENERALES.

A fin de ser consistentes tanto con nuestro marco teórico como con los

resultados obtenidos en el trabajo de campo una guía metodológica que presente una forma alternativa para transmitir la información de la primera ley a pupilos de quinto bachillerato debe tener en cuenta algunos aspectos tales como:

(1) Dado que prácticamente en la totalidad de los casos los alumnos no han alcanzado la etapa de las operaciones formales y que por lo tanto se hallan en la de las operaciones concretas, la información acerca de la primera ley debe hacer hincapié en las acciones concretas que los pupilos puedan efectuar sobre los objetos. (2) De acuerdo a la consideración anterior, la actividad del alumno no debe culminar, entonces, con una extrapolación o proceso al límite, que los conduzca a admitir que en ausencia de fricción un cuerpo en movimiento nunca se detendrá. (3) En este trabajo hemos "descubierto" que los alumnos se explican la persistencia del movimiento del bloque sobre el piso porque todavía le queda algo (fuerza, impulso, etc) que va perdiendo a través del tiempo. En una guía metodológica este aspecto debe ser por lo tanto de vital importancia.

9.3 GUIA METODOLOGICA

Conscientes de sus limitaciones (que al final examinaremos) queremos proponer para una posible experimentación, esta guía metodológica. La esencia del proceso consiste en conducir al alumno a través de algunas circunstancias reales en las cuales la fricción se reduce cada vez más, a fin de que llegue a "extrapolar" que en ausencia de ésta, un cuerpo que ha sido empujado, continuará moviéndose con movimiento rectilíneo y uniforme. Obviamente al llegar hasta aquí, se

renuncia a la última consecuencia lógica de la primera ley: la indistinguibilidad entre reposo y movimiento rectilíneo uniforme, así como de la conceptualización de los sistemas de referencia inerciales. El proceso lo esquematizamos en dos partes a saber: la primera, la presentación de una serie de experimentos reales inicialmente y mentales después, a semejanza del proceso insinuado por Galileo (18), y la segunda, el análisis de estas experiencias haciendo énfasis por una parte en la esencia de la ley de la inercia galileana y por otra en la destrucción de las ideas aristotélicas o dinámica preteórica.

La primera parte podría seguir esta secuencia:

1-a . Se lanza una esfera sobre un prado plano y horizontal; avanza unos pocos metros y se detiene.

1-b. Se lanza la misma esfera en forma idéntica al caso anterior pero sobre una superficie plana y horizontal de asfalto; la esfera avanza, también en línea recta, una distancia mayor que en el caso anterior antes de detenerse.

1-c. Se lanza la misma esfera en forma idéntica a los dos casos anteriores sobre una gran cancha de bolos, plana, horizontal y muy lisa; la esfera avanza en línea recta una distancia mucho mayor que en los dos casos anteriores pero al fin se detendrá.

aplicada a él en la dirección de su movimiento. Recalcar que en todos los casos la esfera recibe inicialmente la misma cantidad de movimiento y que en cada circunstancia la pierde en tiempos distintos, porque existe algo (la fuerza de fricción) que le quita lo que recibió (cantidad de movimiento), si nadie se lo quita, nunca lo perderá; o mejor, si nadie se lo quitase, nunca lo perdería (y es indudable que esta afirmación final es una afirmación formal).

2-c. Finalmente se puede concluir reexaminando y repitiendo, así como lo hace Galileo, al final de las "Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias" al comienzo de la cuarta jornada:

"Imaginemos un móvil que se empuja sobre un plano horizontal del que se ha quitado hasta el más mínimo roce; sabemos ya, que en tal caso, y según lo hemos expuesto detenidamente en otro lugar, dicho movimiento se desenvolverá sobre tal plano con un movimiento uniforme y perpetuo, en el supuesto que este plano se prolongue hasta el infinito" (18).

A continuación realizamos un autoanálisis de proyecto de guía metodológica. En primer lugar debemos hacer notar la gran simetría del proceso que planteamos con el que presenta Halliday -Resnick (20); al iniciar su estudio de la dinámica en la sección 5-2 introduce de una forma semejante a la nuestra la primera ley.

Por otra parte, el proyecto de guía que planteamos presenta una solución, cual es la de conducir al estudiante, a través de acciones concretas que él puede realizar sobre objetos, a que en el límite mental en el que no existiendo fricción entre un bloque y una superficie sobre la cual se deslice, el movimiento del bloque no cesará.

Pero finalmente nuestro proyecto de guía adolece de la falla de no contribuir a destruir directamente la idea que poseen la mayoría de las personas que no han asimilado la primera ley de Newton, cual es, la de explicar el movimiento de los cuerpos porque "algo" se tiene que ir agotando a medida que avanza; (diferente ese algo de velocidad aún en ausencia de fricción) bien sea fuerza, impulso, energía, etc. y en especial, como ellos afirman, la fuerza que se le dió y que se va gastando (siendo este gastar diferente de disminuir, y más bien semejante a emplear).

Al momento de terminar este trabajo hemos recibido la grata noticia que el profesor Roberto París está iniciando su trabajo de Tesis en la Universidad Pedagógica Nacional, el cual tiene como propósito experimental llevar un proceso que prácticamente coincide con la guía metodológica que presentamos. Una vez que el trabajo del profesor París esté concluido, el nuestro se habrá enriquecido y se abrirán nuevas perspectivas de investigación para el Post-grado en enseñanza de la Física de la Universidad Pedagógica Nacional.

10. APENDICES

Nos ha parecido conveniente incluir a continuación tres entrevistas más, realizadas en diferentes colegios de Bogotá durante los meses de Junio y Julio de 1981. A lo largo de su lectura vemos cómo los elementos de lo que hemos llamado Predinámica afloran de manera sistemática, a pesar de las naturales diferencias de las personas y las situaciones.

10-1 APENDICE I

OTRA ENTREVISTA REALIZADA CON ALUMNOS DE QUINTO BACHILLERATO DEL COLEGIO RESTREPO MILLAN.

E : Se trata de lo siguiente; voy a tomar este bloque y lo lanzo con la mano hacia donde está la grabadora de tal manera que se deslice sobre la superficie (lo hace). Díganme una cosa, el bloque se mueve desde este punto hasta este punto; cuando iba a mitad de camino, por ejemplo, aquí, por qué se está moviendo hacia allá.

A : (Hablan muchos al tiempo expresando sus opiniones).

E : Bueno; unos opinan que por el impulso que yo le di y otros opinan que por la fuerza; es lo mismo impulso y fuerza o será distinto eso de impulso y fuerza, qué opinan?

A1 : Bueno yo opino que fuerza sería la fuerza con que uno manda un objeto e impulso es lo que lleva después de lanzado el objeto.

E : Algunos opinan que el bloque se movió, o se está moviendo, porque yo le di impulso y otros opinan que porque yo le di fuerza; qué opinan cuál de las dos cosas está bien?

A2 : El impulso va con fuerza, el impulso es la fuerza.

- E : Entonces impulso y fuerza son la misma cosa?
- A3 : No! Diferentes van acompañadas pero no es la misma cosa yo creo que fuerza es la que se hace al objeto para lanzarlo; impulso es lo que lleva después de lanzado.
- E : Tú que opinas, hay diferencia entre impulso y fuerza?
- A4 : Bueno sabemos que impulso es la acción que hace mover un objeto al recibir una fuerza. Para mí tienen relación y cuando yo ejerzo sobre un cuerpo una fuerza, el objeto sobre el cual yo ejercí esa fuerza inmediatamente se mueve. Entonces lleva un impulso gracias a la fuerza que yo le di por lo tanto hay una relación.
- E : Cuando ese aparato iba en mitad de camino qué fuerzas estaban actuando sobre él? '
- A2 : La que se imprimió al lanzar el objeto.
- A3 : Si pero va disminuyendo.
- E : Por qué va disminuyendo?
- A3 : Por el rozamiento.
- E : Quién le hace rozamiento?
- A2 : La superficie donde está.
- E : Entonces ustedes opinan que hay dos fuerzas la fuerza que yo le di y la fuerza de rozamiento; alguna otra fuerza?
- A4 : La fuerza de gravedad, diría yo que hace que el objeto permanezca en el suelo y no esté elevándose.
- E : Y en qué dirección la fuerza de gravedad?

- A4 : Hacia abajo.
- E : Entonces cuántas fuerzas actúan sobre este aparato cuando se está moviéndose?
- A5 : Tres. La de gravedad, la de fricción, la de rozamiento y la que se imprime.
- E : Cómo lleva el cuerpo esa fuerza? (Señala en el dibujo la "fuerza hacia adelante")
- A2 : La fuerza inicial que se le imprimió para que se deslizara sobre la superficie.
- E : Y a lo largo de todo el camino esa fuerza va actuando sobre el cuerpo?
- A6 : Si pero va disminuyéndo.
- E : Se acaba alguna vez?
- A6 : Si cuando para el objeto.
- E : Entonces el cuerpo por qué se mueve?
- A2 : Por la fuerza que le imprimió.
- E : En el momento en que va a mitad de camino, cuál fuerza es mayor la que va en la dirección del movimiento o la de fricción?
- A1 : La de movimiento.
- A3 : La de fricción porque va disminuyendo.
- E : Pero será posible que se mueve hacia adelante y sin embargo haya una fuerza neta hacia atrás?
- A5 : La fuerza es mayor que la inversa.

- E : Bueno, y el cuerpo por qué se detiene?
- A2 : Ha perdido la fuerza que se le imprimió.
- A7 : Por la fuerza de rozamiento.
- E : Si no hubiera rozamiento no se detendría nunca?
- A5 : Sí llegaría a detenerse.
- E : Por qué se detendría si no hubiera rozamiento? Quién lo detiene?
Qué hace que se detenga?
- A1 : No se detendría porque sin rozamiento no hay otra fuerza opuesta que detenga la fuerza en el camino.
- A4 : Es que cuando se detiene es cuando se hace el movimiento y hay que tener en cuenta que cuando se mandó tenía un impulso cuando termina es cuando cesa el movimiento y en ese punto es donde no sigue.
- E : Yo me pregunto por qué pasa eso?
- A3 : Por la ley de la inercia.
- E : Qué es eso de ley de la inercia?
- A3 : Inercia es la capacidad que tiene un cuerpo de seguir en su estado original o sea que si está en reposo seguirá así.
- A5 : Cómo partió del reposo se le acabó el movimiento; termina.
- E : Supongamos que esta mesa fuera infinitamente grande e infinitamente pulimentada y no hubiera ninguna fricción entre este cuerpo y la mesa. Si tomo al cuerpo y le doy un empujón, cuando se detiene?
- A2 : Cuando pierda el impulso.

- E : Nuevamente regresamos al comienzo. Cuando se le acaba el impulso; pero qué es impulso? Es distinto fuerza de impulso?
- A4 : Están relacionadas. Pero son diferentes pues la una depende de la otra. Si se acaba la fuerza se acaba el impulso.
- E : Ud. opina que el cuerpo se detiene sobre esa superficie en la cual no hay ninguna fricción y que se detiene cuando se le acaba la fuerza. Cómo se le acaba? Quién se la acaba?
- A4 : Se termina; cesa de moverse el cuerpo. De acuerdo a la cantidad de fuerza que uno le imprima al cuerpo, para que este haya hecho ese recorrido.
- E : Entonces para que nunca se pare siempre hay que estarle haciendo fuerza?
- A2 : O haberle dado una fuerza muy grande.
- A1 : Dando fuerza siempre al objeto.
- E : Y es posible que algún cuerpo se mueva sin que lo estén empujando en la dirección en que se mueve?
- A5 : Si no hay gravedad.
- A3 : Porque la gravedad es una fuerza que nos mantiene en su sitio y no nos deja mover.

10-2 APENDICE II

ENTREVISTA REALIZADA CON ALUMNOS DE QUINTO
BACHILLERATO DEL COLEGIO " LA AMISTAD " .

- E : Se trata de lo siguiente: Tomo este cuerpo y lo lanzo sobre esta mesa. Así por ejemplo. Bien. El cuerpo se movió desde aquí hasta aquí. Cuando el cuerpo iba a mitad de camino, por qué todavía se estaba moviendo hacia allá? Qué opinan?
- A1 : Porque aún lleva la velocidad con que se lanzó.
- A2 : Por la fuerza imprimida.
- A3 : Por la fuerza con que se lanzó el cuerpo, porque no había ningún obstáculo que le impidiera seguir igual.
- E : Y no hay obstáculos o sí hay obstáculos.
- A3 : No lo hay, en este espacio no los hay.
- E : Nadie se opone a que este cuerpo se mueva hacia allá?
- Varios: No.
- E : Entonces por qué se detiene?
- A4 : Porque ya se le ha terminado la fuerza imprimida.
- A5 : Yo digo que porque encontró un obstáculo que lo trancó.
- A2 : No ella no la alcanzó a tocar. Se movió desde aquí hasta acá y se detiene.
- E : Por qué se detiene?

- A6 : Porque la fuerza que se le imprimió no fue suficiente para seguir.
- E : Entonces por qué habían dicho antes que la velocidad con que salía se mantenía?
- A3 : Se mantiene hasta el momento en que ...
- A2 : Se manda primero con una velocidad y se le imprime una fuerza que llegando a un punto límite se va disminuyendo recíprocamente, hasta que llega con velocidad cero que es cuando el cuerpo se detiene.
- E : Tú dices que yo le imprimo una fuerza o una velocidad?
- A2 : Una velocidad.
- E : Es lo mismo velocidad y fuerza o son distintos?
- A3 : Velocidad es lo que tiene un cuerpo cuando está en movimiento y fuerza es el empuje que se hace a cualquier fuerza.
- E : Bueno entonces por qué avanza el cuerpo?
- A7 : Por la fuerza imprimida.
- A4 : Con la fuerza que se le imprime adquiere la velocidad.
- E : Y cuando iba a mitad de camino aún lleva fuerza?
- A2 : Claro! Pero disminuye.
- E : Por qué disminuye?
- A1 : Porque a medida que avanza se le acaba la fuerza imprimida.
- E : Y cuando se detiene que le sucede a esa fuerza?
- A5 : Se ha terminado.
- E : Durante el camino, por ejemplo en la mitad, qué fuerzas actúan sobre este cuerpo?
- A3 : La dirección en que va.

- E : Pero la dirección es una fuerza?
- A5 : No.
- E : Qué fuerzas existen en ese momento. Si tomo una fotografía y esa fotografía es especial y me revela las fuerzas que existen sobre el bloque, qué fuerzas aparecen?
- A2 : La de su mano.
- E : La fuerza que yo le aplico va en el cuerpo?
- A2 : Claro ! Si Ud. no la empuja se queda quieto donde está.
- E : En qué dirección va esa fuerza?
- A2 : En la dirección que Ud. quiera.
- E : No ! En este caso.
- A2 : Horizontal.
- E : Bueno. Estan todos de acuerdo que hay una fuerza hacia allá?
- Varios: Si
- E : Quién hizo esa fuerza?
- Varios: Ud. al empujarlo.
- E : Bueno. Además de esa fuerza hay otra fuerza actuando sobre el cuerpo?
- A4 : La fuerza de gravedad.
- E : En qué dirección?
- A5 : Para abajo logrando que el cuerpo se mantenga en su lugar.
- E : Bueno; entonces una fuerza de hacia allá, el peso y ninguna otra fuerza o alguna otra fuerza?
- A1 : La fuerza de gravedad, la masa.

- E : Si hay una fuerza en la dirección en que el cuerpo se desplaza y hay una fuerza vertical que es la del peso por qué se detiene? No les parece que si hay una fuerza en esa dirección nunca debería frenar? por qué se detiene?
- A3 : Porque se le termina la fuerza que se le imprimió.
- E : Cómo se le termina? Por qué se le termina? Quién se la va quitando?
- A2 : Pues a medida que el objeto va andando uno le imprime una velocidad y a la medida que va andando se le termina la fuerza.
- E : Tu por qué dices que le imprimes velocidad y que lo que se le acaba es la fuerza!
- A2 : Porque la velocidad se consigue a medida que el objeto recorre una distancia y disminuye porque el cuerpo para.
- E : Por qué disminuye! Si según ustedes hay una fuerza que actúa siempre en la dirección del movimiento, no les parece que debería aumentar la velocidad, en lugar de detenerse?
- A7 : Si fuera más liviano el cuerpo sí.
- E : Si qué?
- A7 : Si seguiría si el cuerpo fuera más liviano, como una bomba.
- E : Entonces pregunto, por qué se detiene?
- Silencio.
- E : Si pudieramos irnos a un sitio lejano de todo sistema gravitacional muy lejos de la tierra, de las estrellas, de la galaxia y cogiéramos este mismo aparato y lo lanzáramos hacia allá, se detiene o no se detiene?

- A2 : Se elevaría.
- E : Subiría? Qué sentido tiene subir allá? Lejos de la tierra subir qué es? (Silencio). Bueno, pero se detendría?
- A1 : Seguiría en el espacio flotando.
- E : Flotando o moviéndose?
- A3 : Moviéndose.
- E : Y nunca se detendría?
- A4 : Nunca se detendría. Supongamos en el espacio, porque este es infinito seguiría moviéndose.
- E : Y alguien lo estaría empujando?
- A5 : No, la atmósfera.
- E : Bueno, Uds. no creen que esta masa le ejerce a este cuerpo fricción?
- A1 : Rozamiento!
- E : En qué dirección?
- A3 : En la que se lanza.
- E : Si se mueve hacia allá la fuerza de fricción en qué dirección actuaría?
- A5 : Siempre al frente.
- E : O sea ayudándole a moverse?
- A2 : No, para detenerla. Porque si fuera un cuerpo para allá y la fricción de para allá ambos concuerdan y se ayudan.
- E : Admiten que hay una fuerza de fricción en sentido contrario al movimiento?

A5 : Eso es lo que yo digo. La descomposición de fuerzas. Esta es la fuerza de gravedad, esta la fuerza que le imprimimos y hay siempre en el mismo objeto una fuerza en contrapeso, una fuerza contraria a la que nosotros le pusimos cuando lanzamos este objeto.

E : Cuál de esas dos es mayor?

Varios: Iguales.

Si Uds. opinan que la fuerza que actúa en la dirección del movimiento y la fuerza que actúa en sentido contrario a la dirección del movimiento son iguales por qué se detiene?

A4 : Se detiene porque son iguales.

A7 : Si fueran iguales qué podría pasar? Ahí es cuando se detiene. Porque si fuera mayor, la de acá, seguiría moviéndose pero no con la *misma velocidad, porque la otra fuerza le disminuye.*

E : Examinemos otra circunstancia. Si lanzo este cuerpo hacia arriba, mientras sube qué fuerzas actúan sobre él?

A5 : La fuerza de gravedad, que es cuando el objeto regresa a su naturaleza o estado normal.

E : Pero la fuerza de gravedad actuó todo el tiempo?

A5 : No! solamente cuando ya el objeto se le imprimió una fuerza hacia arriba. Pero en este caso la fuerza que Ud. le imprimió es mayor que la de gravedad. pero a medida que sube se equilibran las dos fuerzas y actúa más la de gravedad puesto que estos objetos son pesados, no livianos.

E : Qué opinan. Están de acuerdo con ella?

Varios: SÍ!

A3 : Mientras está subiendo impera la que nosotros le pusimos, le dimos, pero llega a un punto en que se equilibran las dos fuerzas la de gravedad y la que le impusimos. Pero el objeto es pesado e impera la gravedad y regresa a su estado normal, que es el de estar abajo, esa es la naturaleza de él.

E : Quién te dijo eso?

A3 : En filosofía.

E : A Uds. les dijeron que eso es verdad o que alguien dijo eso, y Uds. le creen?

A4 : Pues no tanto creerle. Pero uno se pone a analizar lógicamente y ve que por ejemplo, una bomba tiene es un aire y no es un objeto pesado, por lo tanto su naturaleza es estar siempre en el aire.

E : Cuando yo mando este cuerpo hacia arriba se desplaza y llega a su máxima altura y baja. Cuando llega a su máxima altura su velocidad es cero. Por qué llega a tener velocidad cero?

A6 : Porque le imprime una velocidad que llega a un punto determinado o sea a cero y ya no puede seguir subiendo, se tiene que devolver.

E : Qué me determina que la velocidad sea cero? Por qué la velocidad llega a ser cero?

A3 : Por la fuerza que se le imprimió ya se termina o sea llega a un límite.

E : Qué tal que cuando lance el cuerpo hacia arriba en ese momento

la tierra desapareciese y por consiguiente ya no hiciese fuerza sobre este aparato. El cuerpo seguiría o qué?

- A2 : Yo creo que subiendo no; seguiría moviéndose hasta perderse.
- E : Para que los cuerpos se muevan hay que empujarlos? *Es posible* que en alguna parte del universo un cuerpo se mueva sin que nadie lo empuje?
- A5 : Es imposible. Siempre a un cuerpo hay que imprimirle una fuerza; por ejemplo el árbol se está moviendo por la gravedad.

10-3 APENDICE III

ENTREVISTA CON ALUMNOS DE CUARTO BACHILLERATO DEL COLEGIO ANDINO.

- E : El problema es el siguiente: Esto es un borrador voy a ponerlo en movimiento. Lo golpeo y Uds. observan.
- A1 : Cambio de posición, es un trabajo.
- E : Y eso qué es?
- A2 : Que adquirió una energía para poder cambiar de lugar.
- E : Pero además de eso hay alguna otra observación? Si yo lo golpeo él se mueve y después se detiene. Entonces pensemos en una posición intermedia cuando aún no ha parado. En este punto aún se mueve el borrador, por qué?
- A3 : Hay un impulso, se le aplicó una fuerza, tiene energía cinética.
- E : Un impulso? Qué es un impulso?
- A1 : Una fuerza que se le aplica a un cuerpo.
- E : O sea que si yo le doy una fuerza a un cuerpo se mueve porque le apliqué la fuerza? Qué opinan?
- A4 : Porque tiene la fuerza.
- E : Todos están de acuerdo que si el cuerpo se está moviendo es porque

tiene una fuerza encima?

A2 : No, que tuvo una fuerza.

E : Pero cuando se está moviendo aquí, ya no la tiene?

A2 : Si la tiene.

E : Si el cuerpo tiene una fuerza cuando se estaba moviendo en esta parte intermedia quién se la aplica?

A5 : La fricción que le hace al borrador, que es mayor que la fuerza inicial y por eso para.

E : Pero Uds. opinan que la fuerza inicial siempre la lleva el cuerpo?

Casi todos: Si, si.

E : Entonces, si el cuerpo siempre lleva esa fuerza por qué se detiene ?

A2 : Por qué esa fuerza se pierde con el tiempo.

E : En qué se transforma?

A1 : En energía calorífica.

E : Por qué no se detuvo tan pronto lo empujé?

A3 : Porque era mayor la fuerza que hacía allá que la fricción.

E : Y si pusiéramos esta mesa completamente lisa o sea si quitáramos toda la fricción cómo se movería el borrador?

A4 : No pararía.

E : O sea que la fuerza que yo le dí al comienzo, siempre la tiene?

Varios: Claro !

E : Y entonces si el borrador se sigue moviendo y alguno de Uds. lo viera pasar diría que alguien le aplicó una fuerza al comienzo para ponerlo en movimiento?

Varios: Sí !.

E : Necesariamente? No hay cuerpos que se muevan si no se les aplica fuerza?

A3 : No todos tienen que adquirir una fuerza en algún momento:

(1) COLE, ... 1954.

(2) ... 1954.

(3) ... 1954.

(4) ... 1954.

(5) ... 1954.

(6) ... 1954.

(7) ... 1954.

(8) ... 1954.

(9) ... 1954.

(10) ... 1954.

(11) ... 1954.

(12) ... 1954.

(13) ... 1954.

(14) ... 1954.

(15) ... 1954.

(16) ... 1954.

(17) ... 1954.

(18) ... 1954.

(19) ... 1954.

(20) ... 1954.

(21) ... 1954.

(22) ... 1954.

(23) ... 1954.

(24) ... 1954.

(25) ... 1954.

(26) ... 1954.

(27) ... 1954.

(28) ... 1954.

(29) ... 1954.

(30) ... 1954.

(31) ... 1954.

(32) ... 1954.

(33) ... 1954.

(34) ... 1954.

(35) ... 1954.

(36) ... 1954.

(37) ... 1954.

(38) ... 1954.

(39) ... 1954.

(40) ... 1954.

(41) ... 1954.

(42) ... 1954.

(43) ... 1954.

(44) ... 1954.

(45) ... 1954.

(46) ... 1954.

(47) ... 1954.

(48) ... 1954.

(49) ... 1954.

(50) ... 1954.

11. BIBLIOGRAFIA

- (1) COHEN, B. El nacimiento de una nueva física. Eudeba, 1961.
- (2) HABER-CHAIM. Physics for the middle school which topics? Rev. Physics Education, May 1977.
- (3) PERELMAN, Y. Física recreativa. Mir
- (4) BACHELARD, G. La formación del espíritu científico. Siglo XXI, México 1978.
- (5) SEGURA, D. Elementos para el análisis de una metodología para la enseñanza de la física. VII Congreso Nacional de Física. Cartagena Col. 1977. Anales del Congreso.
- (6) RODRIGUEZ-ZALAMEA. Enfoque metodológico de los cursos de física para ingenierías en la U. Javeriana. VII Congreso Nacional de Física. Cartagena Col. 1977. Anales del Congreso.
- (7) RUSSELL, N. Observación y explicación: guía de la filosofía de la ciencia. Alianza Editorial. Madrid. 1977.
- (8) SEGURA, D. El aprendizaje de la física a nivel básica: Continuidad o discontinuidad? Seminario internacional sobre la enseñanza de la física. Bogotá, 1980. Ciu-Colciencias.
- (9) GUILFORD, J. Creatividad y educación. Paidós. 1978.

- (10) NEWTON, I. Selección. Colección Austral, Madrid, 1972.
- (11) SOMMERFELD, A. Mechanics. Academic Press, Inc., 1964.
- (12) GOLDSTEIN, H. Mecánica Clásica. Aguilar.
- (13) PIAGET, J. Desarrollo y aprendizaje. Journal of Research in Science Teaching Vol. 2, 1964.
- (14) PIAGET, J. Tratado de lógica y conocimiento científico. Epistemología de la física. Paidós. 1979 (página 13).
- (15) GAMOV, G. Biografía de la Física. Salvat, 1971.
- (16) BRUCE, L. Benchmark Papers en Energy/1. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., 1975.
- (17) SYMON. Mecánica clásica. Addison-Wesley, 1970.
- (18) GALILEO, G. Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias. Editora Nacional, Madrid, 1976 (pág. 384).
- (19) KOYRE, A. Estudios Galileanos. Siglo XXI editores, Bogotá, 1981.
- (20) HALLIDAY-RESNICK. Física. Cecsá, 1982.

T
531.1207 Zalamea Godoy Eduardo 33624
Z22 Detencion de dificultades
Ej2 en la enseñanza de la
primaria

		VENCE
NOMBRE	Matrila Seullano	
No. del Carnet	040	
NOMBRE	JACKERANO R	
No. del Carnet	8817032	
NOMBRE	Ricardo Villota	
No. del Carnet	728.	
NOMBRE	Ricardo Villota	
No. del Carnet	728. 12/1/91	
NOMBRE	Fernando Florcy	
No. del Carnet	029	

T
531.1207
Z22

33624