

**¿QUÉ IMPACTO COGNITIVO, MEDIDO POR EL MODEL ANALYSIS,
TIENE EL USO DE UN LIBRO DE TEXTO REFUTACIONAL COMO
RECURSO DIDÁCTICO EN LA ENSEÑANZA DE LA PRIMERA LEY DE
NEWTON EN LOS ESTUDIANTES DE DÉCIMO GRADO DE UN COLEGIO
DE CALI?**

JOHAN JOSÉ BENAVIDES ARCE

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
INSTITUTO DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA
ÁREA DE EDUCACIÓN MATEMÁTICA
LICENCIATURA EN MATEMÁTICAS Y FÍSICA
SANTIAGO DE CALI**

2015

**¿QUÉ IMPACTO COGNITIVO, MEDIDO POR EL MODEL ANALYSIS,
TIENE EL USO DE UN LIBRO DE TEXTO REFUTACIONAL COMO
RECURSO DIDÁCTICO EN LA ENSEÑANZA DE LA PRIMERA LEY DE
NEWTON EN LOS ESTUDIANTES DE DÉCIMO GRADO DE UN COLEGIO
DE CALI?**

JOHAN JOSÉ BENAVIDES ARCE

Trabajo de grado para optar el título de licenciado en

MATEMÁTICAS Y FÍSICA

Dirigido por:

CARLOS JULIO URIBE GARTNER

Doctor en didáctica de las ciencias experimentales y las matemáticas

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
INSTITUTO DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA
ÁREA DE EDUCACIÓN MATEMÁTICA
LICENCIATURA EN MATEMÁTICAS Y FÍSICA
SANTIAGO DE CALI**

2015



UNIVERSIDAD DEL VALLE
INSTITUTO DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA
ÁREA DE EDUCACIÓN MATEMÁTICA

Acta de Evaluación de Trabajo de Grado

Tenga en cuenta: 1. Marque con una **X** la opción escogida.
2. diligencie el formato con una letra legible.

Título del Trabajo:	¿QUE IMPACTO COGNITIVO, MEDIDO POR EL MODELO ANALYSIS, TIENE EL USO DE UN LIBRO DE TEXTO COMPUTACIONAL COMO RECURSO DIDÁCTICO EN LA ENSEÑANZA DE LA PRIMER		
Se trata de:	Proyecto ☐	Informe Final ☒	
Director:	CARLOS URIBE		
1er Evaluador:	NELSON ENRIQUE HOYO		
2do Evaluador:	ALEXANDER BONILLA		
Fecha y Hora	Año: 2014	Mes: OCT	Día: 29 Hora: 6:00

Estudiantes		
Nombres y Apellidos completos	Código	Programa Académico
JOHAN JOSE BENAVIDES ARCE	0538688	3487

Evaluación

Aprobado	☐	Meritorio	☐	Laureado	☐
Aprobado con recomendaciones	☒	No Aprobado	☐	Incompleto	☐

En el caso de ser **Aprobado con recomendaciones** (diligenciar la página siguiente), éstas deben presentarse en un plazo de 30 días (máximo un mes) **ante**:

Director del Trabajo	☒	1er Evaluador	☒	2do Evaluador	☒
----------------------	-------------------------------------	---------------	-------------------------------------	---------------	-------------------------------------

En el caso que el Informe Final se considere **Incompleto**, se da un plazo de máximo de semestre(s) para realizar una nueva reunión de evaluación el:

Año:	Mes:	Día:	Hora:
------	------	------	-------

En el caso que no se pueda emitir una evaluación por falta de conciliación de argumentos entre Director, Evaluadores y Estudiantes; expresar la **razón del desacuerdo** y las **alternativas** de solución que proponen (diligenciar la página siguiente).

Firmas:

Director del Trabajo de Grado	1er Evaluador	2do Evaluador



VICERRECTORIA ACADÉMICA
División de Bibliotecas

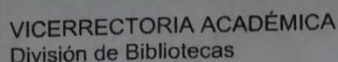
AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DIGITAL DE OBRAS

PARTE 1. Términos de la licencia general para publicación digital de obras en el repositorio institucional de Acuerdo a la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad del Valle

Actuando en nombre propio los AUTORES o TITULARES del derecho de autor confieren a la UNIVERSIDAD DEL VALLE una Licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integra en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

- a) Estará vigente a partir de la fecha en que se incluye en el Repositorio, por un plazo de cinco (5) años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del AUTOR o AUTORES. El AUTOR o AUTORES podrán dar por terminada la licencia solicitando por escrito a la UNIVERSIDAD DEL VALLE con una antelación de dos (2) meses antes de la correspondiente prórroga.
- b) El AUTOR o AUTORES autorizan a la UNIVERSIDAD DEL VALLE para que en los términos establecidos en el Acuerdo 023 de 2003 emanado del Consejo Superior de la Universidad del Valle, la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993 y demás normas generales sobre la materia, publique la obra en el formato que el Repositorio lo requiera (impreso, digital, electrónico, óptico, usos en red o cualquier otro conocido o por conocer) y conocen que dado que se publica en Internet por este hecho circula con un alcance mundial.
- c) El AUTOR o AUTORES aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto renuncian a recibir emolumento alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente Licencia y de la **Licencia Creative Commons** con que se publica.
- d) El AUTOR o AUTORES manifiestan que se trata de una obra original y la realizó o realizaron sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, obra sobre la que tiene (n) los derechos que autoriza (n) y que es él o ellos quienes asumen total responsabilidad por el contenido de su obra ante la UNIVERSIDAD DEL VALLE y ante terceros. En todo caso la UNIVERSIDAD DEL VALLE se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del AUTOR o AUTORES y la fecha de publicación. Para todos los efectos la UNIVERSIDAD DEL VALLE actúa como un tercero de buena fé.
- e) El AUTOR o AUTORES autorizan a la UNIVERSIDAD DEL VALLE para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión. El AUTOR o AUTORES aceptan que la UNIVERSIDAD DEL VALLE pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

SI EL DOCUMENTO SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA O UNA ORGANIZACIÓN, CON EXCEPCIÓN DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE, LOS AUTORES GARANTIZAN QUE SE HA CUMPLIDO CON LOS DERECHOS Y OBLIGACIONES REQUERIDOS POR EL RESPECTIVO CONTRATO O ACUERDO.



**AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN
DIGITAL DE OBRAS**

Con base en este documento, Usted autoriza la publicación electrónica, consulta y uso de su obra por la UNIVERSIDAD DEL VALLE y sus usuarios de la siguiente manera;

Si autorizo ☒ No autorizo ☐

Si autorizo ☒ No autorizo ☐

_____ 2 _____

Título de la obra:

¿Qué impacto cognitivo, medido por el model analítico, tiene el uso de un libro de texto retortatorio como recurso didáctico en la enseñanza de la primera ley de Newton en los estudiantes de décimo grado de un colegio de Cali?

Autores:

Nombre: Johan José Benavides Arce

Firma: _____
C.C. 6.321.625

Nombre:

Firma: _____
C.C. _____

Nombre:

Firma: _____
C.C. _____

Fecha: _____

(Si desea una versión digital del formulario, una vez esté diligenciado utilice los programas "pdfcreator" o "Dopdf", los cuales le permitirán convertir el archivo a pdf y así podrá guardarlo)

¹ Los detalles serán expuestos de ser necesario en documento adjunto

AGRADECIMIENTOS

A papito Dios que me ha acompañado en cada una de las etapas de mi vida y en ésta no fue la excepción. A mis padres: Marina y Arturo, a mi hijo Johan Sebastians y a mis hermanos Fredy y Angela. A ti que aunque ya no estés conmigo también fuiste importante para el alcance de este logro. A todos mis profesores y en especial al Dr. Carlos Julio. A mis amigos, Oscar y Elkin. A la institución donde se desarrollo esta investigación y en fin, a todas aquellas personas que aportaron un granito de arena para realizar éste trabajo. A todos ustedes va dedicado éste triunfo que también es suyo, sin su valiosa colaboración no hubiera sido posible.

¡Gracias!...¡totales!

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	iv
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
CAPITULO I: EL PROBLEMA	4
PRESENTACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	5
JUSTIFICACIÓN.....	8
PROPÓSITO	9
HIPÓTESIS	10
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	11
LA MECÁNICA INTUITIVA DEL ESTUDIANTE.....	12
CONOCIMIENTO CIENTÍFICO.....	16
APRENDER Y ENSEÑAR LA PRIMERA LEY DE NEWTON	21
EL TER: “LA TRANSFORMACIÓN EN LA EXPLICACIÓN Y LA COMPRENSIÓN DEL MOVIMIENTO” (URIBE, 2010).....	29
INSTRUMENTOS.....	31
CAPITULO III: METODOLOGÍA	42
EL CONTEXTO.....	43
DESCRIPCIÓN DE LA INTERVENCIÓN.....	44
CAPITULO IV: RESULTADOS Y CONCLUSIONES	46
RESULTADOS.....	47
CONCLUSIÓN	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
ANEXOS.....	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estándares de Ciencias naturales sobre el movimiento	6
Figura 2. Componentes evaluados por las pruebas Saber 11°	7
Figura 4. Categorías de las ideas sobre el concepto de fuerza y el movimiento.....	13
Figura 5. Postulados del modelo aristotélico para el movimiento	14
Figura 6: Ley de conservación de la cantidad de movimiento	18
Figura 7: Primera Ley del Movimiento de Newton	20
Figura 8. Problemas de los estudiantes en el aprendizaje del conocimiento científico de la fuerza y el movimiento	25
Figura 9. Modelo mental de la mecánica intuitiva	27
Figura 10. Estructura de conocimiento que subyace a la diferencia entre la fuerza y la cantidad de movimiento.....	29
Figura 11. Estructura de conocimiento científico	29
Figura 12. Tópicos de mecánica clásica evaluados en el FCI	32
Figura 13. Elementos básicos conceptuales de MA para los conceptos de fuerza y movimiento.....	37
Figura 14. El espacio modelo, que representa los tres estados de conocimiento: puro, típico y mixto.....	39
Figura 15. Model plot. Muestra los cambios representados por MA de los seis grupos, medido por el FCI.	49
Figura 17. Distribución de los puntajes de fuerza y movimiento Pre – test..	50
Figura 18. Distribución de los puntajes de fuerza y movimiento Post – test.	50
Figura 19. Resumen: Capítulo 1 del TER	52

Figura 20. Esquema A: capítulo 2 del TER	53
Figura 21. Esquema B: capítulo 2	54

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Modelo - Opciones correspondientes en el FCI). 38

Tabla 2. Matriz densidad de cada grupo para el FCI. 49

RESUMEN

Se incorporó un texto expositivo refutacional (TER), en el programa de un curso de física durante los primeros dos periodos académicos a finales del año 2012, en cuatro grupos de décimo grado de un colegio del sur de Cali. Aplicando la propuesta de Uribe (2010), para enseñar el modelo newtoniano del movimiento de la partícula, haciendo énfasis en la comprensión de los conceptos, trascendiendo de la enseñanza de la mera resolución de problemas típicos con el andamiaje matemático que implican, propuesta materializada en un *texto expositivo refutacional* (TER). Se identificó el modelo que predomina en la mente de los estudiantes a través del FCI analizando la información con la metodología de análisis del estado de conocimiento de un grupo-clase respecto a un concepto científico denominada *Model Analysis* (Bao & Redish, 2006). Los resultados de la intervención se compararon con un quinto grupo de la misma institución que siguió un programa de enseñanza tradicional.

Palabras clave: modelo mental, fuerza, cantidad de movimiento, Model Analysis, texto expositivo refutacional.

INTRODUCCIÓN

A los estudiantes de física en el nivel de educación media en Colombia, con frecuencia sólo se le presenta el aspecto matemático en que se basa el modelo científico para describir el movimiento a nivel macroscópico; poco o ninguno es el tiempo que se dedica para la discusión a nivel conceptual, de las ideas newtonianas del movimiento, con lo que en muchos casos los estudiantes aunque adquieren la habilidad para resolver problemas típicos de cinemática, no logran comprender y explicar adecuadamente el movimiento de los cuerpos. (Uribe, 2010)

Pozo y Gómez (1998), muestran como la *mecánica intuitiva* de los estudiantes pueden tener distintos orígenes y ser un obstáculo para el aprendizaje de la física, así como también la enseñanza debe mediar entre estas ideas y los modelos científicos, para que el estudiante pueda pasar de su mecánica intuitiva a las ideas científicas aceptadas en su cultura. Es así como Uribe (2010), hace una propuesta en la que partiendo de la idea de “fuerza impresa” que tienen la mayoría de los estudiantes, se aprovecha su similitud con el concepto de cantidad de movimiento, para introducir el modelo newtoniano que sustituye los postulados del modelo aristotélico del movimiento.

La metodología aplicada fue la de *investigación – acción práctica*, donde el *profesor/investigador* cuenta con el poder de intervenir en el proceso de enseñanza, para aplicar la propuesta a cuatro grupos de estudiantes de grado décimo de un colegio del sur de Cali, identificando el modelo dominante en la mente de los estudiantes, a través del inventario de concepto de fuerza (FCI, siglas en inglés), aplicándolo al inicio de la fase de experimentación y al final de la misma, para comparar las respuestas de los estudiantes de los cuatro grupos con las de un quinto grupo control, analizando los resultados con la metodología *Model Analysis*.

Así pues, es propósito de éste trabajo explorar el alcance de introducir un texto expositivo refutacional (TER), que plasma la estrategia diseñada por Uribe (2010) – pensada para estudiantes universitarios – en la educación media, al identificar el modelo que prevalece en la mente de los estudiantes después de la enseñanza.

CAPITULO I: EL PROBLEMA

Se realiza la presentación de los aspectos generales donde se enmarcó la investigación como son: el problema, la justificación y el propósito de la misma.

PRESENTACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

“La ciencia como cualquier empresa humana, es una actividad impulsada por personas y está igualmente sujeta a modas y caprichos” (Davies, 1998)

De acuerdo con Uribe y Bonilla (2013), un *texto expositivo refutacional (TER)*, es un material escrito para la enseñanza, cuya intención es la de refutar explícitamente una idea intuitiva en conflicto con el conocimiento científico aceptado – en este caso, el modelo mental sobre el movimiento con que llega el estudiante, antes de iniciar la instrucción formal sobre este tema –, con la intención de generar un aprendizaje, estableciendo al inicio una idea generalizada, haciendo que el estudiante sea consciente de esa idea, la refuta explícitamente ofreciendo un argumento en contra de ella, y presenta una idea alternativa que se demuestra que es más satisfactoria.

Entonces el TER, puede servir para remediar, la problemática de que trata este trabajo de grado, que se enfoca a la la enseñanza de la física y específicamente sobre las dificultades que los estudiantes presentan en el aprendizaje de las ideas que están relacionadas con el movimiento (mecánica clásica), dificultades generadas por dos factores principalmente: las ideas que los estudiantes tienen antes de la instrucción con respecto al movimiento y la escasa discusión que se hace de los conceptos físicos.

El trabajo está orientado desde dos líneas, en primer lugar se toma en consideración el siguiente planteamiento de Uribe (2010):

Quienes hemos tenido a cargo programas de formación permanente de docentes en esta área, sabemos que la cinemática y la dinámica de una partícula (y, en general, casi toda la Física de décimo grado) se enseña a menudo como si fuera una especie de recetario algebraico. Es decir, lo que al final terminan aprendiendo los estudiantes es un conjunto de algoritmos mecánicos para resolver ejercicios

estereotipados. Entre otras razones, esta situación se explica por el escaso tiempo dedicado a la discusión de los conceptos, en comparación con el tiempo dedicado a la resolución de ejercicios de aplicación. (p.10)

Al respecto, Sebastián (1984) afirma:

Un (...) escollo importante para remplazar o al menos detectar el sistema de falsas concepciones del estudiante, lo constituye el método habitual de evaluación del aprendizaje de la física en base a problemas numéricos resolubles mediante la aplicación de un reducido número de fórmulas. Consideramos, al igual que otros autores (...), que los problemas cuantitativos no revelan en ocasiones la concepción que el estudiante tiene del fenómeno en cuestión ya que el estudiante puede ocultar su ignorancia conceptual tras una barrera de fórmulas. (p.166)

Y en segunda instancia, se toma en cuenta que los resultados en Pruebas Saber 11° entre los años 2006 – 2011, los estudiantes del territorio nacional en el área de física obtuvieron unos resultados en promedio de 45 puntos de un total de 100 (resultados normalizados) (ICFES, 2012), lo que indica que no hay un buen desempeño en esta área, por lo cual se hace necesario, hacer una revisión de los procesos de enseñanza y aprendizaje de la física.

En particular, este trabajo se concentrará en la enseñanza y aprendizaje de la mecánica en cuanto al tratamiento del movimiento en una dimensión, en conexión con la teoría científica aceptada (modelo newtoniano del movimiento), temáticas relacionadas por el MEN en los estándares y en los componentes de las pruebas Saber 11°, de ciencias naturales, señalados en las siguientes figuras respectivamente, probando que la problemática a tratar no es ajena a los intereses de las políticas gubernamentales del país:

- Establezco relaciones entre las diferentes fuerzas que actúan sobre los cuerpos en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme y establezco condiciones para conservar la energía mecánica.
- Modelo matemáticamente el movimiento de objetos cotidianos a partir de las fuerzas que actúan sobre ellos. (MEN, 2004, p.23)

Figura 1. Estándares de Ciencias naturales sobre el movimiento

Física: Componentes

1. Mecánica clásica

- ¿Respecto a quién o qué se mueve un cuerpo? ¿Por qué cambia su movimiento? ¿El movimiento es una característica intrínseca de los cuerpos?
- Carácter direccional de algunas de las magnitudes físicas involucradas en el análisis del movimiento de un cuerpo (posición, velocidad, cantidad de movimiento, fuerza, aceleración y energía). (ICFES, 2012)

Figura 2. Componentes evaluados por las pruebas Saber 11°

En síntesis: los estudiantes llegan al aula de clase con una física intuitiva muy arraigada en su mente; adicionalmente, el proceso de enseñanza de la física en grado décimo con frecuencia no pasa de la presentación de un conjunto de fórmulas para resolver problemas típicos de mecánica. Por estas razones, los estudiantes no llegan a comprender el movimiento de los cuerpos desde las teorías científicas, lo que además se ve reflejado en los bajos resultados de las pruebas de estado (ICFES Saber 11°) de los estudiantes que finalizan la secundaria; en este trabajo se explora el alcance del TER: *“La transformación en la explicación y la comprensión del movimiento”* (Uribe, 2010), que para tal fin se ha creado.

JUSTIFICACIÓN

En Colombia los textos escolares que solicitan muchos establecimientos educativos para el estudio de la física¹, mantienen por lo general la misma estructura y un contenido que no contempla la discusión profunda de las ideas de ésta ciencia. Luego entonces, estos textos no reúnen las características ya mencionadas de un TER, de ahí que resulte de interés estudiar como se aprovecha un texto de características diferentes a las de la mayoría de libros disponibles en el mercado, como lo es el libro: *“La transformación en la explicación y la comprensión del movimiento”* (Uribe, 2010).

Pero este estudio también cobra importancia en que se llevó a cabo en un ambiente de clase real, en palabras de Uribe y Bonilla (2013), es un estudio con validez ecológica, dado que en el pasado, se han llevado estudios sobre el uso de los TER², pero se aplican en ambientes de laboratorio, controlando o eliminando las variables propias de las actividades de enseñanza y aprendizaje, que surgen cuando se desarrollan en el aula de clase; lo que dificulta la generalización de los resultados, por tener unas condiciones muy específicas.

Asimismo este trabajo es importante porque, muestra al profesor en un rol de investigador, aprovechando los resultados de sus propias practicas o poniendo a prueba de manera documentada las teorías y/o generalizaciones arrojadas por trabajos de otros colegas.

¹ Información tomada del portal <http://www.colombiaaprende.edu.co/>. Recuperado octubre 14 de 2014.

² Hynd, McWhorter, Phares, & Suttles (1994), presentan los resultados de un estudio donde se determinó el efecto de tres estrategias para lograr el cambio conceptual en cuanto al movimiento; entre estas estrategias se cuenta el uso de un TER en estudiantes de noveno y decimo, pero no se realizó en un ambiente de clase.

PROPÓSITO

Explorar los alcances del TER: *“La transformación en la explicación y la comprensión del movimiento”* (Uribe, 2010), siendo leído por estudiantes de educación media, midiendo su impacto cognitivo a través, del análisis de los resultados del inventario del concepto de fuerza con la metodología Model Analysis de Bao y Redish, en relación con el aprendizaje de la primera ley de Newton.

HIPÓTESIS

Para esta investigación se consideró la siguiente hipótesis, planteada a partir de la revisión de la literatura y del análisis realizado por Uribe (2010):

- Los estudiantes de décimo grado pueden sacar provecho de la lectura del libro *La transformación en la explicación y la comprensión del movimiento*, logrando una mejor comprensión de la primera ley de Newton, en comparación con estudiantes que siguen un programa de estudio regular.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

Se presentan los elementos teóricos en los que se enmarca la investigación, tomando como referentes principales: Uribe (2010), Uribe y Bonilla (2013) y Pozo y Gómez (1998).

LA MECÁNICA INTUITIVA DEL ESTUDIANTE

De acuerdo a Uribe (2010), la discrepancia entre lo que el estudiante sabe (mecánica intuitiva), y lo que nos gustaría que llegará a saber (conocimiento científico), es la raíz más profunda de las dificultades de comprensión de la física que experimenta frecuentemente. Pero no se puede desconocer que esta mecánica intuitiva, tiene una gran eficacia para brindar solución a problemas de la vida cotidiana; es un saber práctico o experiencial, que permite hacer predicciones, con respecto al movimiento de los cuerpos – como también sucede con el conocimiento científico – pero estas ideas de acuerdo a varias investigaciones³, se asemejan más a las ideas de los modelos de físicos prenewtonianos, que convergen en el presupuesto ontológico, formulado por la escolástica medieval en el axioma filosófico: *quidquid movetur ad alio movetur* – cualquier cosa en movimiento (móvil), está siendo movida por otra (motor) –. Fue la naturaleza de este motor, lo que suscitó el debate entre la comunidad científica desde Aristóteles hasta el siglo XVII. De acuerdo a Peduzzi y Zylbersztajn (1997), “las explicaciones causales de los estudiantes para el movimiento de un proyectil, en general, tienen una notable semejanza con el concepto o idea de *fuerza impresa*, introducido en el siglo II a.C., por el astrónomo Hiparco, según el cual un

³ Esta semejanza ha sido percibida y defendida por muchos autores, entre los cuales algunos de los más citados son McCloskey (1983) – ver nota 8 del prólogo de Uribe (2010), p.12– y Halloun y Hestenes (1985) – ver nota 12 de Uribe (2010), pág. 14 -. Estos autores encontraron que en una muestra de 478 estudiantes universitarios el 18% eran predominantemente “aristotélicos” (ver figura 4 para el sentido que tiene la palabra en este contexto), el 65% eran sobre todo medievales (su pensamiento era muy semejante al de los teóricos del ímpetus) y el 17% tendían a ser newtonianos (aunque casi todos usaron una mezcla de conceptos de las tres teorías).

proyector se mueve después de haber cesado el contacto entre éste y el proyector por una fuerza “transmitida” a dicho proyectil por el proyector.” La idea de *fuerza impresa* se mantuvo a lo largo de la historia; en el siglo XIV Jean Buridan, teorizando al respecto de este concepto, lo llamo *ímpetus*, caracterizado por tener una naturaleza permanente, es decir, éste sólo puede ser disipado por influencias externas, también es proporcional a la cantidad de materia y a la velocidad de un objeto. Sin embargo, no está claro si Buridan considera el ímpetus como un efecto o como una causa del movimiento; pero parece ser, que no era consciente de esta distinción.

Al respecto Harres (citado por Mora y Herrera, 2009), propone cinco categorías mostradas en la Figura 4, para clasificar las ideas sobre el concepto de fuerza y el movimiento de los cuerpos, categorías donde se clasifica la mecánica intuitiva de los estudiantes, siendo el modelo inercial, el modelo que se quiere que los estudiantes aprendan.

Aristotélico: se considera que el reposo es el estado natural de los cuerpos. También se piensa que la fuerza del aire mantiene el movimiento por algún tiempo después del lanzamiento y que la gravedad y el rozamiento hacen que los cuerpos finalmente se detengan.

Medieval inicial: se cree que la *fuerza impresa* es la que mantiene el movimiento y que dicha fuerza disminuye naturalmente.

Medieval mixta: se considera que la *fuerza impresa* disminuye por la acción del rozamiento.

Medieval pre – inercial: se cree que en el movimiento de los cuerpos actúan tanto la *fuerza impresa* como el rozamiento.

Inercial: se considera que los cuerpos no necesitan fuerza para mantenerse en movimiento. Se sostiene que los cuerpos se detienen porque actúa una fuerza contraria. (p. 81)

Figura 4. Categorías de las ideas sobre el concepto de fuerza y el movimiento

Ahora, la Figura 5, presenta cinco postulados donde Uribe (2010), resume lo que él llama el *modelo aristotélico* para el movimiento, y que describe de forma mas precisa el modelo que prevalece en la mente de los estudiantes. Sin embargo, debe observarse que el término ‘modelo aristotélico’, tal como es empleado por Uribe (2010), no tiene el mismo significado que este mismo

término en la clasificación de Harres y de Halloun y Hestenes (1985) –ver figura 4 y nota 4; Uribe (2010), siguiendo una tradición muy extendida en la didáctica de la física, designa con este término lo que estos autores llaman “modelo medieval”.

1. El movimiento es algo absoluto: la “velocidad verdadera” de un cuerpo es una característica inherente al cuerpo en sí en cada instante.
2. Estar en movimiento (la condición de un objeto fuera del reposo, cuya velocidad no es nula), es siempre efecto o resultado de una causa motriz, la cual permanece y subsiste en el objeto: “lo que se mueve es movido por otro”.
3. Tal causa motriz proviene del impulsor o propulsor, que puso al cuerpo en movimiento, mediante la cual prolonga su efecto a pesar de haber dejado de estar en contacto directo con el cuerpo.
4. La causa motriz es proporcional a la velocidad: si aumenta la intensidad de la causa, aumenta la velocidad.
5. La causa motriz va “gastándose” o consumiéndose a medida que transcurre el movimiento, y por tanto la velocidad va disminuyendo.

Figura 5. Postulados del modelo aristotélico para el movimiento

Fuente: Uribe Gartner, C. J. (2010). *La transformación en la explicación y la comprensión del movimiento*. Santiago de Cali: Programa Editorial Universidad del Valle. (p.29)

Dejando de lado la discusión histórica y epistemológica del movimiento, y tomando en cuenta que todos los miembros de la especie humana comparten la misma “arquitectura cognitiva”, es un hecho sólidamente establecido en la investigación en educación en física que las ideas de la física intuitiva tal como las describe Uribe (2010) están muy generalizadas en diferentes culturas; así, cuando se pregunta a los estudiantes por la causa que hace que un proyectil persevere en su movimiento, éstos tienden a atribuirla a un “algo”, o sea, un motor.

Si pasamos del nivel descriptivo a un nivel explicativo, Pozo y Gómez (1998), determinan el origen de esta mecánica intuitiva en tres campos: sensorial, cultural, y escolar.

Origen sensorial: las concepciones espontáneas. La mecánica intuitiva es un conjunto de *reglas heurísticas*, es decir, reglas cotidianas que no se deducen con rigor científico, cuyo fin es el de aumentar la capacidad de predicción y

control sobre distintas situaciones en nuestra vida cotidiana, sin preocuparse de su valor explicativo.

Origen cultural: las representaciones sociales. La cultura es un conjunto de creencias compartidas por un grupo social. Las ideas se transmiten por diferentes medios, sin embargo, éstas a veces se distancian de las ideas científicas y es tarea de la educación reconstruir ese saber cultural para que no se convierta en fuente de ideas confusas.

Origen escolar: Las concepciones analogicas. Son “errores” didácticos en la forma de presentar los saberes científicos, al no diferenciar este saber del saber social y del saber sensorial.

De la misma manera, Pozo y Gómez (1998), caracterizan la mecánica intuitiva de acuerdo a criterios de: generalidad, estabilidad, resistencia al cambio y que además, cuenta con cierto grado de coherencia, criterios que se apoyan en supuestos que difieren de los que sostienen a las teorías científicas. Estos supuestos corresponden a tres principios:

Principios epistemológicos. A la hora de generar representaciones específicas para predecir o explicar cualquier fenómeno cotidiano, nuestro conocimiento intuitivo asume de forma implícita ciertos pensamientos sobre la naturaleza de la realidad y actúa conforme a ellos.

Principio ontológicos. Se requiere pasar de las teorías propias a las científicas, cuando hay incompatibilidad de la teoría científica y la teoría mantenida por el estudiante. Este cambio será más radical cuando se requiera ir de una entidad de una cierta categoría ontológica principal (en nuestro caso la categoría de *sustancia*) a otra de igual jerarquía (a saber, la categoría de *proceso*). En efecto, la teoría de Pozo y Gómez y de otros autores es que los estudiantes muestran una gran dificultad para reasignar las fuerzas desde la categoría de *sustancia* a la categoría de *proceso* (más adelante se hablará en detalle de esta importante y difícil “resignificación ontológica”)

Principios conceptuales. El estudiante no logrará apropiarse del conocimiento científico, si no hay una restructuración de sus esquemas conceptuales que sea acorde con las características del pensamiento formal piagetiano, el que incluye esquemas de proporción, correlación y probabilidad.

Al respecto, Bao y Redish (2006), están de acuerdo en que los estudiantes traen al aula diversos conocimientos de la vida cotidiana adquiridos previamente a la instrucción formal, pero agregan que estos conocimientos están alojados en su memoria de largo plazo, donde pueden coexistir distintas ideas relacionadas con un fenómeno, que incluso pueden ser contradictorias o incoherentes. Además, elementos de estos conocimientos previos pueden ser coherentes en contextos particulares sin tener necesariamente una relación muy estrecha con el conocimiento disciplinario. Con lo anterior se tiene entonces que no es verdad lo que muchos profesores asumen, que el estudiante “o sabe o no sabe”, ya que sus respuestas dependen del contexto; a estos elementos de conocimiento los autores denominan *modelos mentales* (la mecánica intuitiva será entonces, un modelo mental y el conocimiento científico otro).

En síntesis, la física intuitiva de los estudiantes, es muy semejante a las ideas de los físicos prenewtonianos, caracterizada principalmente por el concepto de *fuerza impresa*, para dar explicación al movimiento de un cuerpo; además esta física tiene distintos orígenes y es sustentada por principios de tipo: epistemológico, ontológico y contextual; asimismo ésta constituye un modelo mental alojado en la memoria de largo plazo y que puede coexistir con otros modelos que pueden llegar a ser incluso contradictorios, como sucede con el modelo que se presenta a continuación.

CONOCIMIENTO CIENTÍFICO

En contraste con el modelo mental que posee el estudiante antes de la instrucción formal, se encuentra el conocimiento científico; para los físicos es

importante la relación entre distancia y tiempo, ya que ésta permite diferenciar el movimiento uniforme (MU), del movimiento acelerado (MA), toda vez que el primero no requiere una causa externa (motor) para explicar su continuación en tanto que el segundo si la requiere. Sin embargo, se partirá de la intuición de que es necesario que exista un motor dentro del cuerpo en MU, como se plantea en el modelo aristotélico; a partir de aquí Uribe (2010), en su capítulo II, describe el modelo científico, en relación con los aspectos abordados en esta investigación, a continuación con autorización del autor, se presenta un fragmento de dicho texto:

En la física actual se clasifica al movimiento principalmente en *m o v i m i e n t o u n i f o r m e* (MU) y no uniforme, más comúnmente llamado *m o v i m i e n t o a c e l e r a d o* (MA)...en la física cotidiana, cualitativa, lo esencial es el movimiento en sí, sin que importe la relación cuantitativa entre la distancia y el tiempo, lo que distingue el MU del MA. En cambio, para los físicos esta distinción es primordial. Aristóteles y nuestra intuición tienen cierta razón en postular la existencia de un impulsor, en cuanto tiene que existir algo en el cuerpo que lo mantenga en movimiento. La física newtoniana llama a ese algo *c a n t i d a d d e m o v i m i e n t o* en lugar de *í m p e t u* o “fuerza impresa”, pues establece una distinción fundamental entre la cantidad de movimiento y la fuerza: mientras la primera caracteriza el *estado* de movimiento del cuerpo considerado en sí mismo, la fuerza describe la *interacción* entre dos cuerpos...Esta distinción refleja dos aspectos diferentes en el movimiento: a) movimiento como estado o condición de un cuerpo en cada instante, en lo que respecta a sus relaciones de posición; b) proceso de cambio de ese estado durante un intervalo de tiempo, lo que necesariamente involucra, como veremos enseguida, dos cuerpos en interacción.

Al contrario de lo que solemos creer, el MU en la visión newtoniana supone la ausencia completa de un agente impulsor, incluso interno. Para exponer el porqué de este contraste tan radical, es necesario comenzar comprendiendo que no existe ni podrá existir jamás un “impulsor intrínseco” a un cuerpo aislado, ya que todo cuerpo en realidad se pone en movimiento o modifica su estado de movimiento, como resultado de una interacción con un segundo cuerpo.

Una distinción conceptual importante, relacionada con los dos aspectos del movimiento que hemos discutido, es la distinción entre las magnitudes físicas *v e l o c i d a d* y *a c e l e r a c i ó n*. La primera describe el estado de

movimiento o su intensidad en un instante; la segunda describe el cambio de velocidad como consecuencia de una interacción.

...para establecer el valor de la velocidad de un móvil, es preciso primero definir explícitamente el *marco de referencia*: el punto considerado inmóvil en el espacio y con respecto al cual se miden las posiciones de los cuerpos. Como medida de la velocidad (para un cuerpo en MU) se toma entonces la distancia recorrida, respecto al observador (o su marco de referencia), por unidad de tiempo. El carácter no absoluto del movimiento significa que todos los diferentes marcos de referencia, que se mueven unos respecto de otros con movimiento uniforme, son igualmente válidos, por lo que un cuerpo puede estar a la vez en reposo (con respecto a cierto marco) y con una cierta velocidad uniforme (respecto a otro marco).

Podemos entender la arraigada tendencia psicológica a atribuir al movimiento un carácter absoluto debido a que en la vida cotidiana el marco de referencia está siempre implícito, porque lo constituye la superficie de la Tierra.

El MU persiste entonces por sí mismo, según Newton, no solamente sin que requiera una interacción, sino que no puede haber ninguna o si la hay, debe haber otra interacción compensatoria que anule exactamente el efecto de la primera...Esta necesidad psicológica explica la inclinación a atribuir la persistencia del MU a la acción de un “impulsor oculto” en el mismo cuerpo, algo transferido a éste por el “impulsor externo”, es decir, el generador del movimiento a partir del reposo. Si nos deshacemos del impulsor oculto, a la pregunta por la causa de esta permanencia pueden darse dos explicaciones. Una primera propone que la cantidad de movimiento obedece la siguiente ley de conservación:

La cantidad de movimiento de un cuerpo puede cambiar únicamente como consecuencia de interacciones con otros cuerpos.

Figura 6: Ley de conservación de la cantidad de movimiento

Una segunda explicación atribuye a los cuerpos una especie de “resistencia” a cambiar su estado de movimiento. La propiedad de oponer esta resistencia se denomina inercia. Newton usó a veces la expresión “fuerza de inercia” para esta propiedad, pero este nombre no prosperó pues la palabra ‘fuerza’ se reservó para describir la interacción entre dos cuerpos (además sugiere erróneamente que la inercia tiene un carácter activo).

La propiedad de la inercia puede verse desde otro punto de vista: si el movimiento no es uniforme, entonces sí que es necesario atribuir el cambio del estado de movimiento (bien sea en magnitud o dirección) a una “interacción neta”, un conjunto de interacciones no compensadas. La existencia de la inercia hace que se necesite una interacción para pasar del reposo a un estado de movimiento, del movimiento al reposo o para cambiar la dirección de movimiento. Esta propiedad, considerada cuantitativamente, también da cuenta de la mayor o menor “intensidad de interacción” (lo que llamaremos más adelante ‘fuerza’) que se necesita aplicar a diferentes cuerpos para ponerlos en movimiento, según su mayor o menor inercia.

En consecuencia, nuestra intuición y con ella el modelo aristotélico, tiene razón al sostener el principio: para que un cuerpo empiece a moverse, se necesita un motor que lo ponga en movimiento. En otras palabras, cuando hablamos del paso del reposo al movimiento, es verdad que todo lo que se mueve es movido por otro. Este principio, al que todos estamos correctamente habituados, nos habla por tanto de algo que podríamos llamar inercia de reposo. La inercia de movimiento, el que los cuerpos conserven por sí mismos su estado actual de movimiento, es mucho más difícil de aceptar...

...todo cuerpo en estado de movimiento uniforme mantiene este movimiento debido a que hay algo en ellos, una especie de poder o cualidad cuantificable asociada a su movimiento, que hemos denominado anteriormente cantidad de movimiento. También hemos visto que esta cualidad permanece constante o se conserva en ausencia de interacciones con otros cuerpos.

...para hablar de movimiento o reposo necesariamente se necesita definir lo que anteriormente hemos llamado un marco o sistema de referencia determinado. Es decir, un objeto considerado en reposo por el observador y respecto al cual éste determina la posición. Decimos así que el movimiento es relativo al marco que se toma como referencia. Esta noción de movimiento nos permite comprender el significado del principio de relatividad: el estado de reposo es físicamente equivalente al estado de movimiento uniforme.

El principio de relatividad se puede expresar de otra manera, más cuantitativa, mediante la cantidad de movimiento: el valor de la cantidad de movimiento depende del marco de referencia. Es la diferencia conceptual fundamental de este concepto con el concepto pre-newtoniano de ímpetu.

Newton publicó su construcción teórica en el año 1687, en su famoso libro *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (“Principios matemáticos de la filosofía natural”), sus famosas tres leyes, de las cuales la primera postulaba:

Todo cuerpo persevera en su estado de reposo o movimiento uniforme hacia delante, a menos que sea obligado por las fuerzas impresas a cambiar su estado.

Figura 7: Primera Ley del Movimiento de Newton

En términos más modernos, esta ley se suele expresar así: la velocidad de un cuerpo es constante si y sólo si no hay interacción neta. Otra forma equivalente de expresarla es: la cantidad de movimiento de un cuerpo es constante en ausencia de interacción y únicamente las interacciones ocasionan la variación de la cantidad de movimiento.

Desde la perspectiva newtoniana o inercial, la progresiva disminución de la cantidad de movimiento (manifestada en la disminución de la velocidad), requiere una explicación. También la requieren las muchas ocasiones como la de la caja que se niega tercamente a moverse a pesar de nuestro esfuerzo. La teoría newtoniana construye esta explicación suponiendo una clase de interacciones entre los cuerpos y el medio que los rodea y las superficies sobre las que se mueven. La totalidad de los movimientos que experimentamos cotidianamente terminan por extinguirse debido a la actuación de una diversidad de fuerzas que oponen resistencia al movimiento. Es comprensible haber pasado por alto tales fuerzas, siempre “destructoras del movimiento”, a diferencia de las fuerzas aristotélicas, que producen movimiento; en efecto, la palabra ‘fuerza’, en su significado más general, nos trae a la mente acción, desarrollo, aumento, etc.

Desde la visión aristotélica del movimiento, en la que la fuerza es aquello que causa el movimiento, hablar de fuerzas que se oponen al movimiento parece contradictorio. Debemos distinguir conceptualmente dos clases de fuerzas por su origen (aunque matemáticamente no se diferencian), que podrían llamarse “fuerzas activas” y “fuerzas pasivas”. Las primeras son las que corresponden al concepto intuitivo de fuerza: los empujones, jalones, entre otros, cuyo efecto es producir movimiento en la dirección en que se ejercen (a menos que sean contrarrestadas por otras fuerzas). Las fuerzas pasivas, en cambio, son siempre contrarias al movimiento (actual o posible), y surgen como respuesta a una fuerza activa.

Uribe (2010) presenta de esta manera el modelo newtoniano del movimiento a partir de la idea de fuerza impresa; para entender entonces, como es que

se puede lograr el cambio de la física intuitiva al modelo newtoniano del movimiento en lo relacionado con su primera ley, a continuación se presenta la discusión, sobre lo que es aprender éste último modelo y que herramientas, pueden ser utilizadas para tal fin.

APRENDER Y ENSEÑAR LA PRIMERA LEY DE NEWTON

Para enseñar física no sólo es necesario el conocimiento y dedicación del profesor, sino también éste debe comprender como piensan y aprenden sus estudiantes (Hestenes, Wells y Swakhamer, 1992); al respecto Bruner (1997), sostiene que el niño debe aprender a diferenciar entre su conocimiento propio (en nuestro caso, su mecánica intuitiva) y el conocimiento culturalmente aceptado (la mecánica newtoniana), reconociendo incluso la historia de tal conocimiento, dándole a la educación un papel de facilitadora del encuentro del niño con “lo que se sabe” en su cultura y su conocimiento personal, para que logre hacer distinción entre estos saberes.

El estudiante tiene de por sí un conocimiento propio, que no necesariamente coincidirá con el conocimiento científico aceptado en su cultura, como lo señala Uribe (2010). Asimismo, Pozo y Gómez (1998) afirman que aprender ciencia debe ser una tarea de comparar y diferenciar modelos, no de adquirir saberes absolutos y verdaderos; con lo que aprender y enseñar son procesos que implican transformar el modelo mental del estudiante, quien debe reconstruir a nivel personal los productos y procesos culturales con el fin de apropiarse de ellos.

A este propósito, los autores mencionados, proponen metas para la educación científica, como son: el aprendizaje de conceptos, la construcción de modelos, el desarrollo de destrezas: cognitivas, de razonamiento, experimentales y de resolución de problemas, así como la construcción de actitudes, valores, y de una imagen de la ciencia.

Igualmente, estas metas corresponden a las exigencias de la sociedad actual, donde acceder a la información está a la orden del día, dado el auge de las tecnologías de la comunicación y la información, por lo que se hace necesario crear estrategias para alcanzar las metas señaladas en el párrafo anterior.

Pozo y Gómez (1998), también han determinado una tipología para las dificultades que presentan los estudiantes en el aprendizaje de las ciencias: dificultades conceptuales, de uso de razonamiento y solución de problemas propios del trabajo científico.

Señalan también algunos obstáculos relacionados con estas dificultades como son: el escaso significado que tiene el resultado obtenido para los estudiantes y el escaso interés que los problemas despiertan en los estudiantes. Dificultades y obstáculos que dependen de la visión que el profesor tenga sobre la ciencia, la cual puede ser de corte *positivista*, donde la naturaleza es una colección de hechos objetivos regidos por leyes que pueden extraerse de la observación directa, siempre y cuando se cuente con la metodología indicada (ciencia); esta visión contrasta con una postura *constructivista* en la cual hacer ciencia es proponer modelos para comprender la naturaleza, de manera que se acepta el que más se ajusta a la realidad que conocemos; es decir, que el conocimiento científico no es absoluto, sino que depende del contexto y puede variar de una situación a otra (por ejemplo la mecánica newtoniana, que no funciona para los cuerpos muy pequeños o muy grandes, pero no por ello es un conocimiento “falso”).

Con todo lo anterior, aprender desde este enfoque implica incluir en la mente de los estudiantes un conjunto de estructuras que sean compatibles con las ideas científicas (Pozo y Gómez, 1998), al generar cambios en los principios – mencionados anteriormente – que sustentan su mecánica intuitiva:

Cambio epistemológico: En lo cotidiano se asume una posición positivista de la ciencia dentro de la cual, su tarea es la de descubrir la estructura y el funcionamiento de la naturaleza, en lugar de formular modelos para

interpretarla. Esta posición positivista es sostenida por algunos, científicos y profesores, dentro de estas concepciones positivistas, aprender es hacer una copia exacta de las teorías y las ideas previas de los alumnos serán consideradas como errores conceptuales. En contraste, se debe ir de la idea del estudiante, que el mundo físico se limita a lo que se puede percibir, hasta llegar a que la física provee modelos para interpretar la realidad: el modelo de Newton para el movimiento es un modelo más de los que han existido para explicar el movimiento.

Haciendo un parentesis en la discusión de Pozo y Gómez (1998): de acuerdo a Chi (2008), para los conceptos erróneos que están categóricamente mal asignados entre categorías laterales (ramas de un mismo árbol) o categorías ontológicas (árboles distintos); dado que, los alumnos no pueden decir a qué categoría pertenece el concepto a ser asignado o porque no tienen la categoría a la que el nuevo concepto se debe asignar. De cualquier manera, el cambio conceptual demanda un cambio categórico. Este cambio requiere que el estudiante sea consciente de que es necesario el cambio y que la categoría correcta está disponible. Para Pozo y Gómez (1998), el cambio es *ontológico*: Los estudiantes deben entender el mundo físico en términos de *sistema*, donde para comprender el movimiento no basta solo con describir las propiedades del móvil o los procesos, sino que deben entender que el objeto hace parte de un sistema y por lo tanto interactúa con otros elementos. En la vida diaria se suele usar la categoría ontológica de *estado*, el cambio debe darse al pasar de esta categoría a la de *proceso* que a su vez estará inmerso en un sistema. Esta reasignación ontológica no implica necesariamente el abandono de las entidades más simples, sino más bien que se pueden integrar con otras más complejas.

Cambio en las estructuras conceptuales: El esquema que mayor dificultad presenta para los alumnos en el aprendizaje de la ciencia es el de *interacción*, que va a la par con el de *equilibrio*. Dado que se tiende a pensar en una causalidad lineal de un solo agente porque el estudiante está centrado en los estados más no en los procesos, impidiendo así incorporar un nuevo esquema, el de *cambio con conservación*, sin los cuales no puede

asimilarse el de *equilibrio dentro de un sistema*. Asimismo, el conocimiento científico no sólo abarca relaciones cualitativas, sino también relaciones *cuantitativas*, lo que implica incluir esquemas de: proporción, probabilidad y correlación. Luego, en la comprensión del movimiento el estudiante debe identificar todos los elementos que intervienen y cómo interactúan (por ejemplo en algunas ocasiones no deben olvidar que los fenómenos del movimiento por lo general se plantean dentro de un campo gravitatorio), que si un cuerpo está en reposo o se desplaza con velocidad uniforme no implica que no actúen fuerzas, sino que éstas están en *equilibrio*, haciendo que la cantidad de movimiento se *conserva*, aunque *cambie* la posición. Además que las magnitudes involucradas pueden ser cuantificadas.

La Figura 8, muestra una caracterización de los problemas del estudiante con respecto a la interacción, la conservación, el equilibrio y la cuantificación en el estudio de la fuerza y el movimiento, tomados de Pozo y Gómez (1998).

Reconociendo los obstáculos y los cambios en los principios que sostienen la mecánica intuitiva de los estudiantes, resta conocer entonces: ¿Cómo es que la idea de fuerza impresa prenewtoniana, llega a convertirse en la cantidad de movimiento de Newton, en la mente de los estudiantes? De acuerdo con Resnick (1994) – citado por Uribe y Bonilla (2013) – dos elementos claves de los modelos mentales del movimiento, de acuerdo a Resnick (1994) es lo que se ha denominado presupuestos ontológicos de *stasis* y de *agencia o agente (agency)*. El primero declara que el estar en reposo es el estado natural o condición estable de los objetos, algo que no requiere ni admite una explicación. En contraste, el movimiento es un proceso, un cambio en el estado del objeto. En consecuencia, el movimiento requiere una explicación: reposo y movimiento pertenecen a diferentes categorías ontológicas. Explicar el movimiento requiere la especificación de un mecanismo causal, de acuerdo con el presupuesto del agente. Cuando uno no ve ningún agente externo que causa el movimiento, por medio de empujones o tirones, etc, la única posibilidad es que el *agente* causal debe estar dentro del objeto como una especie de cosa transferida por el agente

Mecanica intuitiva Conocimiento científico		Conocimiento científico
Hechos y datos: de los que parte el estudiante y que le llevan a adoptar sus creencias.	Causalidad lineal y unidireccional	Interaccion y sistemas
CREENCIAS DEL ESTUDIANTE: - Si un cuerpo está quieto es porque no actúan fuerzas sobre él. - Un movimiento constante requiere una fuerza constante. - La fuerza es una propiedad de los cuerpos. - "La fuerza de un objeto" depende de sus características externas.	RELACIONES CAUSALES: - La causa del movimiento es siempre una fuerza adquirida. - Siempre hay una fuerza responsable del movimiento con el mismo sentido que él. - La "cantidad de movimiento" de un cuerpo es proporcional a la cantidad de fuerza que posee. - La fuerza depende sólo del agente que realiza la acción.	INTERACCION ENTRE CUERPOS Y SISTEMAS. - Sin interacción no hay fuerza. - La fuerza es una medida de la interacción. - La interacción es mutua y simétrica. - Si una fuerza es opuesta al movimiento de un cuerpo éste se detendrá. - En caso que haya interacción, un objeto se ve privilegiado sobre el otro.
Cambio sin conservacion	Cambio con conservacion	Conservacion y equilibrio
- Vision centrada en el cambio. - Cuando cambia el movimiento de un cuerpo es porque cambia la fuerza que provoca el movimiento.	- Aunque cambie el movimiento, la fuerza que actúa sobre un cuerpo puede permanecer constante. - No se reconoce el equilibrio.	- El reposo y el movimiento rectilíneo uniforme son el resultado de situaciones de equilibrio. - Si un cuerpo modifica su estado de movimiento, sobre él actúan una o varias fuerzas desequilibradas. - Todos los sistemas evolucionan hacia situaciones de equilibrio. - Si sobre un cuerpo no actúan fuerzas o las que actúan están equilibradas, se conserva su cantidad de movimiento.
Reglas cualitativas y reglas heurísticas: evidenciadas en un trabajo guiado para que los estudiantes describan el comportamiento de una balanza.		Proporcion, correlacion y probabilidad
- Ley de la igualdad: a igual distancia igual masa. - Ley del doble – mitad: cuando se duplica la distancia, la masa tiene que ser la mitad. - Leyes de los números enteros: igual que la anterior pero con números mayores que dos. - Ley de la proporcionalidad: expresada en términos de productos de masas por la distancia al punto de equilibrio o de relaciones de proporcionalidad entre masas y distancias.		La relación más importante en que se enmarca el estudio de la fuerza y el movimiento, es la segunda ley de Newton, donde el estudiante debe comprender la relación entre fuerza, masa y aceleración; además de otras magnitudes, como son: velocidad, espacio, tiempo, entre otras. El aprendizaje del conocimiento científico hará que el estudiante aplique fórmulas matemáticas, pero debe comprender dentro de la teoría científica las relaciones de las magnitudes que se han cuantificado.

Figura 8. Problemas de los estudiantes en el aprendizaje del conocimiento científico de la fuerza y el movimiento

Adaptación de: Pozo, J. I., & Gómez, M. Á. (1998). *Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Ediciones Morata.

externo que lo puso inicialmente en movimiento. Las personas por lo general, por una mezcla de términos científicos y las palabras de todos los días, llaman a este agente: "fuerza" por ser el término más accesible a ellas. Ahora, el hecho de que todos los objetos, en movimiento sobre una superficie horizontal, se detengan en ausencia de un agente externo, significa que el agente interno tiende a debilitarse poco a poco, dado que su fuerza debe ser de alguna manera mayor cuanto más rápido el objeto mueve. El esquema de la Figura 9 representa todas las conexiones entre los elementos de conocimiento que componen el modelo mental típico (mecánica intuitiva) que parece subyacer en el patrón de respuestas cognitivas, recogidas en investigaciones sobre estas cuestiones. Por supuesto, el conocimiento de los sujetos no se articula necesariamente, tal como se propone la Figura 9, ya que esta red conceptual es un modelo teórico que resume y condensa los muchos modelos mentales característicos de los sujetos individuales.

Para que los alumnos se conviertan en pensadores inerciales newtonianos – Uribe y Bonilla (2013) – han de transformar la presuposición de stasis: deben incorporar el movimiento rectilíneo uniforme a la categoría de un estado natural del cuerpo, que no requiere un agente para su permanencia. Por lo tanto, este cambio conceptual es claramente de tipo categórico en términos de Chi (2008), el cambio no se puede lograr por las declaraciones contradictorias: refutar directamente la declaración que expresa la creencia o refutar las declaraciones críticas de la colección de las creencias organizadas del que consta un modelo mental deficiente. La razón de esta imposibilidad es que un cambio categórico aborda un error categórico, en nuestro caso el error de tomar el movimiento uniforme como un proceso artificial, o como dijo Aristóteles, un "movimiento violento".

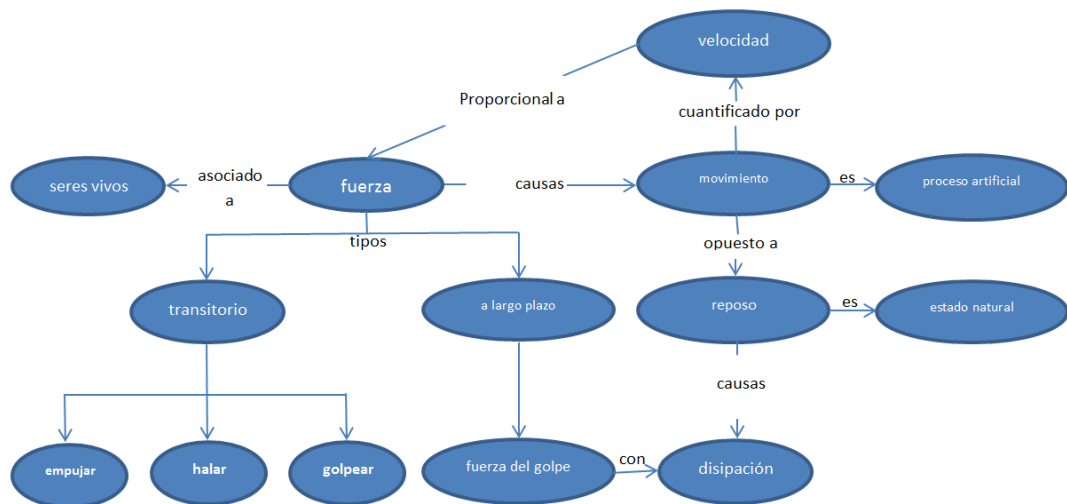


Figura 9. Modelo mental de la mecánica intuitiva

Adaptado de Uribe y Bonilla (2013)

Uribe y Bonilla (2013), sostienen que, este cambio ontológico radical puede ser ayudado por la reconsideración de la presuposición de agente aplicado a un cuerpo en movimiento libre: en lugar de utilizar el término "fuerza" para designar la "cosa" que se transfiere a un cuerpo en movimiento por el agente externo, los estudiantes pueden aprender a pensar en él como una nueva clase de entidad denominada cantidad de movimiento (diSessa, 1980; Osborne y Freyberg, 1985). Esta reconceptualización podría allanar el camino para un cambio tan difícil, ya que se basa en lo que los alumnos ya saben. Pero dejando en claro la diferencia fundamental entre los conceptos de fuerza y cantidad de movimiento, lo que implica la comprensión y la integración de varios conceptos cualitativos y cuantitativos adicionales, los que se muestran en la Figura 10. Por ejemplo, los estudiantes deben aprender que, en la física, existe la fuerza sólo cuando dos cuerpos interactúan entre sí, y por lo tanto es esencialmente un fenómeno transitorio, asociado únicamente a una interacción física entre un par de cuerpos (otro cambio categórico, de la entidad vista de la fuerza, como Chi (2008) discute). Por el contrario, la cantidad de movimiento es una cosa permanente indestructible, que fluye entre los cuerpos. Pero el valor numérico que se asigna a la misma depende del observador, siendo el producto de la velocidad por la masa. Así, los conceptos importantes de marco de referencia y la relatividad de la velocidad se entretajan en la trama de los conceptos necesarios para dar sentido al movimiento de una manera

newtoniana (de hecho, el núcleo del conflicto cognitivo que solicita el vuelco del presupuesto de estado, es la realización de la equivalencia fenomenológica del movimiento y el reposo, el uso de la revolución copernicana como telón de fondo). Tratamos de expresar la trayectoria cognitiva de la " fuerza del golpe " para el impulso mediante la casilla tachada en la parte superior de la Figura 10. Sin embargo, para que los estudiantes lleguen a convertirse en pensadores newtonianos también deben desarrollar criterios epistemológicos más maduros. Porque, como Hynd, Alvermann, y Qian (1997) argumentan, el aprendizaje puede darse sólo cuando las personas se dan cuenta de que sus creencias acerca del mundo son inexactas. Se tiene que empezar a desarrollar lo que Reif y Larkin (1991) llamaron "metaconocimiento de la física": Distinguir el objetivo cognitivo de la física del objetivo de la cognición cotidiana, por ejemplo, lo que significa para la física explicar los fenómenos, su necesidad de inventar y especificar los conceptos y teorías de manera precisa y coherente, para hacer cadenas explícitas y largas de inferencia a partir de los planteamientos teóricos con el fin de relacionarlos con observaciones, etc.; de esta manera, el presupuesto de agente, que establece los criterios para una explicación aceptable (para el sentido común) (Resnick, 1994), pierde su contundencia y puede ser reinterpretado en el sentido newtoniano, llegando a construirse el modelo mostrado en la Figura 11, es decir, el modelo del conocimiento científico.

De esta manera se tiene entonces, que partiendo de la física intuitiva de los estudiantes, se puede llegar a generar el cambio conceptual, en este caso un cambio ontológico, a través de la implementación de un TER, para la enseñanza de la primera ley de Newton.

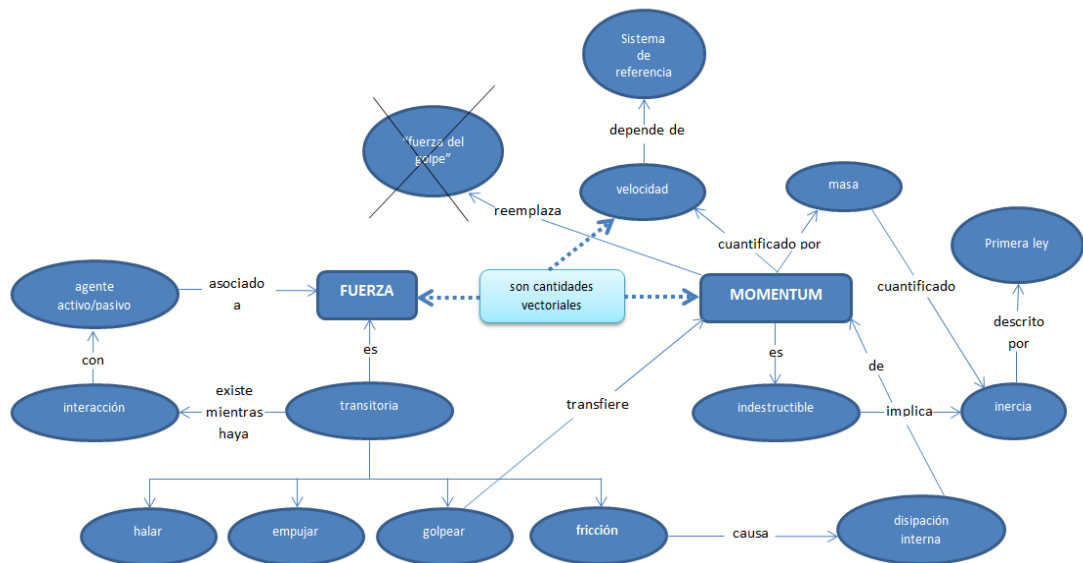


Figura 10. Estructura de conocimiento que subyace a la diferencia entre la fuerza y la cantidad de movimiento.

Adaptado de Uribe y Bonilla (2013)

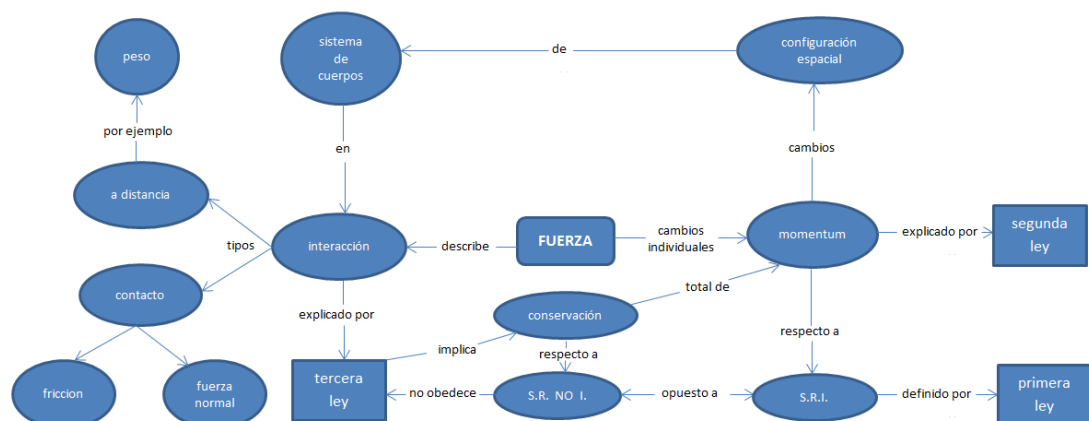


Figura 11. Estructura de conocimiento científico

Adaptado de Uribe y Bonilla (2013). Nota: S.R.I. Sistema de referencia inercial

EL TER: “LA TRANSFORMACIÓN EN LA EXPLICACIÓN Y LA COMPRENSIÓN DEL MOVIMIENTO” (URIBE, 2010).

Se exploró el impacto que tiene la implementación de un *texto expositivo refutacional (TER)*, en la enseñanza del modelo newtoniano del movimiento, y en especial su primera ley. A partir de lo expuesto por Uribe y Bonilla

(2013), un TER se define como un material escrito para la enseñanza, cuya intención es la de refutar explícitamente una idea intuitiva en conflicto con el conocimiento científico aceptado – en este caso, el modelo mental sobre el movimiento con que llega el estudiante, antes de iniciar la instrucción formal sobre este tema –, con la intención de generar un aprendizaje. El TER establece al inicio una idea generalizada, hace que el estudiante sea consciente de esa idea, la refuta explícitamente ofreciendo un argumento en contra de ella, y presenta una idea alternativa que se demuestra que es más satisfactoria. De acuerdo a lo anterior se tiene que el texto: *La transformación en la explicación y la comprensión del movimiento* (Uribe, 2010), es un TER, para el estudio de las leyes de Newton para el movimiento, que además enseña el concepto de cantidad de movimiento, antes que el de fuerza, saliendo así del orden que tradicionalmente presentan los planes de estudio y textos en general. Uribe (2010), ofrece un panorama del mismo en la introducción:

Las presentes notas constan de tres capítulos. El primero tiene por objetivo señalar “el punto de partida” de nuestro viaje por la física, haciendo consciente al estudiante de su “física intuitiva”, la que trae consigo cuando comienza el estudio de esta ciencia. El segundo capítulo establece, por así decir, el puente que nos llevará hasta nuestro punto de llegada, a saber, la estructura conceptual *inventada* por Newton (por supuesto que en un trabajo de construcción colectivo en el que participaron muchas personas), y que los estudiantes han de *reinventar* si quieren comprender lo que se les enseña (uso las palabras “inventar” y “reinventar” en su significado familiar; también estudiaremos, en la primera parte, en la sección *La naturaleza del conocimiento físico*, que los conceptos de la Física no se descubren sino que se inventan). Por último, el tercer capítulo presenta una visión condensada de esa estructura conceptual, pero no la desarrolla pues tal tarea requiere un manejo del aparato matemático de la teoría newtoniana que haría de estos apuntes un texto demasiado extenso. (p. 24)

En la primera parte se busca que el estudiante se identifique con el modelo aristotélico del movimiento, presentando sus características de forma explícita y poniendo de manifiesto la naturaleza del conocimiento científico. La segunda parte trata del modelo científico para el movimiento, introduciendo el concepto cualitativo de cantidad de movimiento antes que la

primera ley de Newton tomando como punto de partida la idea de fuerza impresa; la tercera parte se ocupa entonces de las relaciones cuantitativas de las magnitudes que caracterizan el movimiento de un cuerpo, aunque de manera muy somera, en especial definiendo cuantitativamente la cantidad de movimiento – lo cual requiere definir previamente la masa, sin usar la segunda ley de Newton, mediante el enfoque de Mach⁴.

INSTRUMENTOS

Ahora bien, ¿Cómo identificar qué modelo mental impera en la mente del estudiante? Durante esta investigación, se utilizó principalmente, el inventario del concepto de fuerza (FCI, siglas en inglés), el cual, de acuerdo a Hestenes, Wells y Swackhamer (1992), es una herramienta de diagnóstico, una evaluación de la instrucción y prueba clasificatoria para los estudiantes, en concordancia al modelo mental que domine en ellos, mediante un cuestionario cerrado de opción múltiple que sirve a este propósito (Ver el instrumento en el anexo 1).

La Figura 12 presenta la estructura del FCI, señalando algunos tópicos de la mecánica conectándolos con el ítem donde se evalúan, dando además, su respectiva respuesta newtoniana; asimismo los tópicos y sus respectivos ítems relacionados con el tema de ésta investigación aparecen resaltados en amarillo.

Considerando que el FCI es una prueba que obliga a la elección entre las ideas de la física intuitiva y las ideas científicas, se ha de anotar que los “errores” en la prueba son más significativos que los aciertos, ya que los

4 No se profundiza en las ideas de Mach por razones didácticas, aunque son sustento teórico de la forma de presentación que propone Uribe. Para ampliar éstas ideas el lector puede consultar: **Jammer M.** *Concepts of mass. In classical and modern physics*. Harvard. Massachussets. 1961. Y también en: **Arons A. B.** *Teaching Introductory Physics*. Jhon Wiley. New York. 1997. En el capítulo 3.

primeros brindan información sobre la dominancia del modelo mental en los estudiantes.

Tópico de la mecánica evaluado por FCI	Ítem en el FCI/respuesta correcta
0. Cinemática	
Velocidad considerando la posición	19E
Aceleración considerando la velocidad	20D
Aceleración constante	
trayectoria parabólica	12B, 14D, (21E)
cambio de rapidez	(22B)
Velocidad suma vectorial	9E
1. Primera ley	
sin fuerza	6B, 7B, 8B, (11D)
velocidad en dirección constante	23B
rapidez constante	10A, 24 ^a
cancelación de fuerzas	17B, 25C
2. Segunda ley	
Fuerza impulsora	(8B), (9E)
Fuerza constante implica aceleración constante	21E, 22B, 26E
3. Tercera ley	
para fuerzas impulsivas	4E, 28E
para fuerzas continuas	15A, 16 ^a
4. Principio de superposición	
Suma de vectores	(8B), (9E)
cancelación de fuerzas	(11D), (17B), (25C)
5. Tipos de fuerza	
5S. Contacto entre solidos	
Pasiva	11D, 29B
Impulsiva	5B, 18B
fricción contraria al movimiento	27C
5F. Fluidos	
resistencia del aire	30C
5G. Gravitación	3C, (5B), (11D), (12B), 13D, (17B), (18B), (29B), (30C)
aceleración independiente del peso	1C, 2 ^a
tiro parabólico	12B, 14D

Figura 12. Tópicos de mecánica clásica evaluados en el FCI (los ítems subrayados fueron considerados en el presente estudio)

Fuente: Adaptación de: Hestenes, D., Wells, M., y Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. The physics teacher, 30, 141 - 158.

Asociado al FCI para identificar el modelo imperante en la mente de los estudiantes, en lo que respecta con la primera ley de Newton – antes y después de la implementación del TER como recurso de la enseñanza –

Uribe y Bonilla (2013) describen e implementan la metodología *model analysis (MA)*, propuesto por Bao y Redish (2006), a partir de estos autores en los siguientes párrafos se presentan los elementos generales de esta metodología.

Tras décadas de investigación en educación se ha demostrado que los estudiantes pueden poseer simultáneamente “conocimientos alternativos” (utilizando el término que muchos especialistas en educación en ciencias utilizan para referirse en general a las ideas precientíficas, ingenuas, a la física o la biología intuitivas, a las teorías implícitas, etc.), y que el desarrollo y la utilización de esos conocimientos son dependientes del contexto. Sin embargo, muchos métodos de análisis cuantitativos existentes, a menudo se centran en una cuestión binaria de si un estudiante responde a una pregunta correctamente o no. Esto limita en gran medida la capacidad de utilizar estos test como pruebas de evaluación de los conocimientos alternativos de los estudiantes. Además, la cuestión de la dependencia de contexto, la cual sugiere que un estudiante puede aplicar el conocimiento correcto en algunas situaciones y volver a utilizar los tipos alternativos del conocimiento en otros, a menudo se trata como ruido aleatorio en los análisis actuales. *MA* aplica la investigación cualitativa sobre los modelos mentales intuitivos para establecer un marco cuantitativo de representación de los posibles estados de conocimiento con respecto a un tópico. Con este método, el conocimiento alternativo y las probabilidades de los estudiantes de usar este conocimiento en una gama de contextos equivalentes, pueden ser evaluados cuantitativamente. Este método proporciona una manera de analizar las respuestas de los test, que pueden generar información mucho más rica de lo que está disponible a partir del análisis basado en sólo el puntaje.

Una de las cosas más importantes que los investigadores en educación han aprendido en las últimas décadas es que es esencial para los profesores entender que los estudiantes traen conocimientos al aula y cómo éstos responden a la instrucción. La investigación cualitativa en didáctica de la física sobre una variedad de temas ha documentado que los estudiantes traen conocimiento de su experiencia cotidiana y la instrucción previa a sus

clases de física y que este conocimiento afecta a la forma en que ellos interpretan lo que es enseñado. Un cuidadoso análisis de las respuestas a estos exámenes muestra que para muchas poblaciones las respuestas no son consistentes. Un estudiante puede responder a un ítem correctamente, pero responder mal a otro que un experto podría ver como equivalente al primero. La suposición de que un estudiante conoce bien el tema o no lo sabe parece ser falsa, sobre todo para estudiantes en un estado de transición entre novatos y expertos. El nivel de confusión de un estudiante (cómo el conocimiento del estudiante activo depende del contexto) se vuelve extremadamente importante en la evaluación de la etapa de desarrollo de los estudiantes.

Este método de análisis permite extraer información específica de un bien diseñado instrumento de evaluación tipo test, para determinar el estado de conocimiento de la clase. El método es especialmente valioso en los casos en que la investigación cualitativa ha documentado que los estudiantes entran en una clase con fuertes concepciones ingenuas que pueden estar en conflicto con – o alentar interpretaciones erróneas de – la visión científica. Cuando los estudiantes comienzan a aprender el conocimiento científico que parece contradecir sus concepciones intuitivas, pueden mostrar confusiones. El método de *MA* funciona para evaluar este nivel de confusión en una clase.

El método es matemáticamente sencillo y puede llevarse a cabo fácilmente en una hoja de cálculo estándar. El resultado es una imagen más detallada de la eficacia de la instrucción en una clase que la imagen obtenida con el análisis de los resultados que no tienen en cuenta las implicaciones de las respuestas incorrectas elegidas por los estudiantes.

Aunque el deseo de entender lo que los estudiantes conocen es honorable, no se puede hacer mucho progreso hasta que se desarrolle una buena comprensión de las características del sistema que se quiere influenciar (la estructura cognitiva del estudiante), que tiene un lenguaje y un marco teórico con el que hablar de ello. Afortunadamente, mucho se ha aprendido a lo largo de las últimas décadas acerca de cómo piensan y aprenden los

estudiantes, además de muchos modelos teóricos de la cognición humana que se han desarrollado y están empezando a mostrar un poco de evidencia de coalescencia en un único modelo coherente. En este modelo, el conocimiento corresponde a la activación de una red de neuronas. Estas redes pueden ser unidas de modo que la activación de un bit de conocimiento⁵ se coordina con la activación de los otros bits. Este modelo trata el conocimiento en un entorno altamente dinámico y apoya la idea de que un individuo puede tener modelos alternativos contradictorios que pueden ser activadas por diferentes contextos sin estar particularmente consciente de la contradicción.

A pesar de los avances en la ciencia cognitiva, muchos investigadores que analizan las aulas del mundo real hacen poco uso de estos conocimientos. Las herramientas matemáticas comúnmente utilizada para extraer información de las observaciones educativas confían en los métodos estadísticos que (a menudo tácitamente), asumen que los instrumentos cuantitativos para la exploración del pensamiento del estudiante miden un sistema en un verdadero estado único. Se considera entonces, que estos métodos de evaluar el aprendizaje del estudiante no son los más apropiados para analizar el progreso del estudiante a través de una enseñanza orientada a los objetivos de transformar el sistema cognitivo del estudiante y son incompatibles con los actuales modelos de la cognición. El análisis de los datos cuantitativos educativos puede dibujar conclusiones incompletas o incorrectas, incluso de grandes muestras.

Asimismo, se debe definir los elementos propios del *MA*, para interpretar los resultados de las pruebas aplicadas en el contexto de la evaluación de la

⁵ Bao y Redish usan la palabra inglesa 'bit' en la expresión 'bit of knowledge' en un sentido que no puede traducirse con el de la palabra española 'bit', que según el diccionario de la RAE significa: (Del ingl. *bit*, acrón. de *binary digit* 'dígito binario'). **1. m. Inform.** Unidad de medida de información equivalente a la elección entre dos posibilidades igualmente probables. En inglés, significa: A small portion, degree, or amount: *a bit of lint*; *a bit of luck*. Este es el uso que le dan los autores, no el uso informático

transición desde el modelo mental de la mecánica intuitiva, representado en la figura 9 (que se denomina M_2) para el modelo de transición M_1 de la figura 10. Sin embargo, el lector debe ir a Bao y Redish (2006) para obtener un panorama completo. Aquí se presenta una breve descripción desde Uribe y Bonilla (2013).

El camino hacia el aprendizaje pasa por un estado de conocimiento mixto incoherente. Lo que significa que, cuando el estudiante resuelve un problema relevante, hay una distribución de las probabilidades de activación (q_1, q_2, q_3) del modelo mental científico M_1 , del modelo intuitivo M_2 , y de un "modelo nulo" M_3 (que abarca cualquier otro razonamiento defectuoso no imputable a M_2), respectivamente. M_3 se define así para garantizar que $q_1 + q_2 + q_3 = 1$. La figura 13 esquematiza el proceso. El problema planteado describe un contexto físico, cuya representación en la mente del estudiante activa o desencadena, con diferentes probabilidades, uno de los modelos mentales pertinentes que coexisten en su memoria a largo plazo. El aprendizaje completo y exitoso se conceptualiza como un cambio desde el "estado de conocimiento puro" inicial S_{inicial} , en el que $q_1 = 0, q_2 = 1, q_3 = 0$ (el estado en el que el modelo intuitivo es el único que se activa ante cualquier situación problema), al estado de conocimiento puro final S_{final} , en el cual $q_1 = 1, q_2 = 0, q_3 = 0$ (en el estado en que el modelo científico se activa consistentemente en todas las situaciones problema). Pero hay todo tipo de posibilidades intermedias, es decir "estados de conocimiento mezclados", en los que se activa uno cualquiera de los tres modelos posibles, con diferentes probabilidades según el grado de confusión del estudiante. El objetivo de *MA* es la "medición aproximada" de la distribución de probabilidad de activación de los diferentes modelos, que caracteriza y representa el estado de conocimiento de la totalidad de la clase, promediando el estado de conocimiento de los estudiantes tomados individualmente. Cuanto más cerca está este estado global, del estado puro S_{final} después del curso, en mayor grado se habrá conseguido el objetivo de la enseñanza.



Figura 13. Elementos básicos conceptuales de MA para los conceptos de fuerza y movimiento. Las probabilidades q_i que en un estudiante se active uno de los modelos mentales M_i ($i = 1,2,3$) en la solución de estos problemas puede ser estimado por un conjunto de preguntas de opción múltiple "equivalentes" (ver más adelante, la condición v).

De acuerdo con la interpretación hecha por Uribe y Bonilla (2013) del trabajo de Bao y Redish, MA es un esquema de procedimiento para obtener una valoración estimada de q_i cuando el modelo científico que se les enseñe cumple con las siguientes condiciones:

- i) Hay esencialmente un modelo mental de sentido común único que interfiere con el modelo científico (aunque en aras de la generalidad Bao y Redish consideran la posibilidad de múltiples modelos de sentido común, en la práctica, el MA ha sido aplicado con éxito sobre todo al concepto de fuerza y su relación con el movimiento, en el que sólo hay un modelo intuitivo, representado en la figura 9).
- ii) El modelo de la física intuitiva es independiente de la cultura porque se origina en la infancia a partir de la experiencia con el mundo físico.
- iii) La investigación psicológica y educativa cualitativa ha demostrado de manera concluyente tal universalidad y robustez (es decir, la dominancia de tal modelo en las poblaciones no escolarizadas en todo el mundo, y su resistencia al cambio)
- iv) El conflicto entre el modelo científico y el modelo de sentido común es patente para los mismos estudiantes, de modo que el fuerte y profundo arraigo del segundo en el sistema cognitivo de éstos les hace ver el primero como muy poco plausible, incluso absurdo.

v) Hay un número apreciable de situaciones del mundo físico cualitativamente diversas, cuyo análisis desde ambos modelos da resultados opuestos, los cuales, que inicialmente el novato no las considera como equivalentes desde el punto de vista de la física, pero para el experto sí lo son.

vi) Con base en estas situaciones, se han construido y validado instrumentos de selección múltiple.

Es fácil ver que estas condiciones se cumplen en el caso que nos atañe. La condición vi) se cumple por lo menos para un instrumento bien conocidos, el FCI. Por lo que se decidió usar MA como método de evaluación de los resultados del método de enseñanza propuesto.

MA estima q_{ik} , la probabilidad de que el estudiante de orden k active M_i , como n_{ik}/m , donde $m = 8$ el número de las preguntas relacionadas con los conceptos de fuerza y movimiento en el instrumento (en este caso el FCI, véase figura 12 y tabla 1), y n_{ik} es el número de respuestas a esas preguntas dadas por el k -ésimo estudiante que se corresponden con el modelo mental M_i .

Ítem	5			11			13			17			18			25			26			30		
M1	A	B		A	D	D			B		A	B		C			E		A	C				
M2	C	D	E	B	C	A	B	C	A	D	C	D	E	B	D	E	A	B	B	D	E			
M3					E				C	E							A	C	D					

Tabla 1. Modelo - Opciones correspondientes en el FCI (se utilizó la versión oficial en español, edición de 1995).

En lugar de utilizar la distribución de probabilidad (q_{1k} , q_{2k} , q_{3k}), así estimada para representar el estado de conocimiento del estudiante k , Bao y Redish la normalizan tomando la raíz cuadrada de q_{ik} . Por lo tanto, se puede definir un “espacio de modelos”, que representa todos los posibles estados de conocimiento de cada alumno, mediante los vectores columna unitarios u_k , que van desde el origen hasta el punto en el primer octante de la esfera

unitaria (figura 5), cuyas coordenadas son los números no negativos. Los vectores de la base cartesiana natural (Ecuación 1) representan los estados de conocimiento puro, que corresponde al uso consistente de uno y sólo uno de los modelos M_1 , M_2 o M_3 en todos los contextos equivalentes.

$$\{\mathbf{e}_1 = [1 \ 0 \ 0]^T, \mathbf{e}_2 = [0 \ 1 \ 0]^T, \mathbf{e}_3 = [0 \ 0 \ 1]^T\} \quad \text{Ecuación 1.}$$

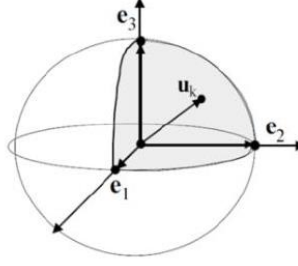


Figura 14. El espacio modelo, que representa los tres estados de conocimiento: puro, típico y mixto.

Bao y Redish combinan estadísticamente la información acerca del estado del conocimiento de los estudiantes en un grupo-clase, representados con los números n_{ik} , considerados como estimadores de las probabilidades q_{ik} , en la "matriz de densidad de clase" (Ecuación 2), una especie de valor medio de las matrices de densidad de cada estudiante $\mathcal{D}_k$ (N es el número de estudiantes en la clase). No se explicita aquí todas las matemáticas necesarias para pasar de las matrices 3×1 individuales $\mathbf{u}_k$ a la matriz 3×3 $\mathcal{D}_k$, así como el análisis mucho más difícil de la misma en términos de sus valores y vectores propios, cuyo resultado se procede a comentar brevemente; éstos análisis se pueden encontrar en Bao Redish (2006).

$$\mathcal{D}_k = \frac{1}{N \cdot m} \sum_{k=1}^N \begin{bmatrix} n_1^k & \sqrt{n_1^k n_2^k} & \sqrt{n_1^k n_3^k} \\ \sqrt{n_2^k n_1^k} & n_2^k & \sqrt{n_2^k n_3^k} \\ \sqrt{n_3^k n_1^k} & \sqrt{n_3^k n_2^k} & n_3^k \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Esta matriz contiene información estructural sobre las distribuciones de las probabilidades de activación de los modelos mentales en competencia entre

los estudiantes considerados individualmente, y la heterogeneidad de tales distribuciones dentro del grupo. Pero, lo más importante, codifica la información acerca de la distribución grupal de la coherencia en el uso de los diferentes modelos en diferentes contextos por parte de los estudiantes individuales. Para explicitar una información tan compleja se deben calcular sus valores propios y vectores propios. Las propiedades de la matriz densidad (simetría, traza unitaria, definida positiva) implican que los valores propios son reales, caen en el intervalo unitario, y suman la unidad. Cuanto mayor sea el primer valor propio λ_1 , más similares son todos los u_k , entre sí y con el correspondiente vector propio:

$$v_1 = [v_{1,1} \ v_{1,2} \ v_{1,3}]^T \quad \text{Ecuación 3.}$$

Por lo tanto, los valores relativos de los valores propios miden la homogeneidad dentro de la clase. Bao y Redish demuestran que, cuando λ_1 es suficientemente cercano a la unidad, la clase es bastante homogénea por lo que tiene sentido estimar la probabilidad de que el estudiante típico use el modelo M_i , como $P_i = \lambda_1 (v_{1,i})^2$. Establecen un valor empírico en torno a 0,65 como el umbral mínimo para λ_1 que permite usar este estimado. En consecuencia, cuando se está por encima de ese valor, el vector propio correspondiente se llama el estado primario de conocimiento del grupo-clase, y el valor relativo de sus elementos mide el grado de incoherencia promedio en el razonamiento de los estudiantes, el grado en que el estudiante típico utiliza varios modelos en diferentes contextos.

En general, el tercer elemento del estado primario de conocimiento del grupo-clase, asociado al "modelo nulo", es mucho más pequeño que los otros elementos. De lo contrario, las condiciones para aplicar MA no serían mantenidas. Cuando esas condiciones se cumplen, el estado de conocimiento de la clase puede ser representada por un punto en un gráfico 2-D, el "model plot", cuyas ordenada es P_1 y cuya abscisa es P_2 (este estado también podría estar representada por el punto (q_1, q_2, q_3) en un espacio probabilístico 3-D, cuyas coordenadas son los elementos de la diagonal de la matriz densidad de la clase, pero esta representación ignoraría

completamente la incoherencia de los estudiantes en la activación de sus modelos mentales, representada en los elementos no diagonales de la matriz densidad).

CAPITULO III: METODOLOGÍA

A continuación se explicita el tipo de investigación realizada, describiendo la población sobre la que se aplicó el estudio, así como los aspectos generales de la innovación.

EL CONTEXTO

El objetivo que subyace a la presente investigación es el de contribuir a la mejora de la práctica del profesor de física en relación con la enseñanza de la primera ley de Newton; por lo cual, con base en: Latorre, del Rincón, y Arnal, (1996), para el desarrollo del trabajo se hizo uso de la *investigación – acción práctica*, orientada por el supuesto que los estudiantes de décimo grado pueden sacar provecho de la lectura del libro *La transformación en la explicación y la comprensión del movimiento*, logrando una mejor comprensión de la primera ley de Newton, en comparación con estudiantes que siguen un programa de estudio regular. La investigación se desarrolló en una institución educativa del sur de Cali, de carácter privado, con más de 60 años de fundación y que de acuerdo al ICFES, en la fecha de intervención se encontraba en nivel muy superior en los resultados de las Pruebas Saber 11°. La institución alberga estudiantes de los estratos socioeconómicos tres y cuatro en su mayoría y unos casos aislados de niveles superiores.

El grado décimo constaba de cinco grupos de estudiantes con edades entre los 14 y los 16 años, que dentro de su asignación académica contaban con cuatro horas de clase de 50 minutos semanalmente para la asignatura de física, siendo ésta una asignatura impartida desde grado sexto.

De los cinco grupos se intervino en cuatro de ellos, aplicando la estrategia fundamentada en los elementos teóricos discutidos en el capítulo dos y concretada en el texto ya mencionado; en el otro grupo se siguió un programa regular para la asignatura, con el fin de contrastar los resultados; esta distinción tuvo lugar dado que: en los cuatro grupos donde se efectuó la intervención, el autor del presente trabajo orientaba la asignatura y en el quinto grupo la orientaba otro profesor; la investigación se desarrolló en el

primer periodo académico entre los meses de septiembre y noviembre de 2012.

DESCRIPCIÓN DE LA INTERVENCIÓN

En las primeras clases del año lectivo se aplicó a los grados decimo de la institución, el FCI, para identificar el modelo mental imperante en los estudiantes, dedicando para ello un tiempo promedio de 50 minutos, haciendo la salvedad de que los resultados de tal test, no iban a ser considerados como evaluación, es decir, no se ofreció una valoración a los estudiantes que afectara su desempeño académico. Los estudiantes fueron informados al inicio del desarrollo del estudio, sin embargo, siempre fueron tratados como estudiantes y no como individuos de observación, con lo que se mantienen las normas comportamentales y/o de convivencia establecidas por la institución.

Para la lectura del libro se realizó siguiendo dos dinámicas: la primera haciendo “lectura en voz alta”, con los estudiantes organizados en círculo ubicado en sus pupitres unipersonales y contando con una copia digital o impresa del libro; en ésta dinámica se permitió la intervención de los estudiantes para hacer preguntas y de manera conjunta buscar alternativas de solución, las respuestas no provenían directamente del profesor, sino que salían del consenso de los estudiantes con la guía del profesor; también se realizaron las prácticas o demostraciones planteadas en el libro, discutiendo las observaciones y/o conclusiones derivadas de tales actividades. Así también al finalizar cada clase se realizó una síntesis de la sección del libro leída. La otra dinámica usada fue la de la lectura individual en casa por parte de cada estudiante, dedicando las sesiones de clase a la discusión de las lecturas realizadas, dando lugar a preguntas o conclusiones de los estudiantes. Como parte del ejercicio de lectura, los estudiantes hicieron un resumen del capítulo uno y construyeron esquemas conceptuales para los capítulos dos y tres, aunque éste estudio se centra en los capítulos uno y dos.

Mientras tanto, los estudiantes del quinto grupo seguían un programa regular de física, consistente en clases de tipo magistral seguido con ejercicios típicos, donde se pone en juego los elementos matemáticos que modelan el movimiento de la partícula, es decir, la cinemática del movimiento. Los tópicos abordados por éste grupo comprenden en su orden: movimiento uniforme, movimiento acelerado, leyes de Newton y cantidad de movimiento, en un periodo de tiempo comprendido entre los meses de septiembre de 2012 y febrero de 2013.

Las sesiones de clase del quinto grupo, fueron dedicadas principalmente a la explicación de procedimientos matemáticos para resolver los ejercicios propuestos, dejando en un segundo plano la discusión conceptual de las ideas científicas que componen el estudio del movimiento.

Finalizando el segundo periodo académico se aplicó nuevamente el FCI, pero con la variación que si se dio un valor como evaluación de los estudiantes para sus desempeños académicos, esto con la intención de que los estudiantes desarrollaran la prueba de manera responsable.

En síntesis, el procedimiento consistió entonces en: determinar el modelo imperante en la mente del estudiante típico aplicando el FCI (pre – test), antes de la lectura del libro *La transformación en la explicación y la comprensión del movimiento* (Uribe, 2010), luego de la cual, se aplicó nuevamente el FCI (post – test) esta información se analizó mediante el MA. En el capítulo siguiente se muestran los resultados de los test con su respectivo análisis y las conclusiones a partir de los mismos.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se presentan los resultados con su respectiva discusión y conclusiones arrojadas por la investigación.

RESULTADOS

Se aplicó el FCI en el comienzo del año lectivo a los cinco cursos, como una prueba previa antes de la lectura y al culminar, como parte del examen final del segundo periodo académico. Las matrices densidad de clase se muestran en las tablas 3 y 4, con sus valores propios. El model plot en las figuras 15 y 16, presenta el progreso en el cambio conceptual generado en los estudiantes medido con los instrumentos ya reseñados.

GRUPO 1	PRE-TEST	POST-TEST
n	17	34
MATRIZ DENSIDAD	$\begin{bmatrix} 0.257 & 0.348 & 0.139 \\ 0.348 & 0.647 & 0.176 \\ 0.139 & 0.176 & 0.096 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.257 & 0.368 & 0.101 \\ 0.368 & 0.662 & 0.153 \\ 0.101 & 0.153 & 0.081 \end{bmatrix}$
MAYOR VALOR PROPIO	0.911	0.919
VECTOR PROPIO PRIMARIO	$\begin{pmatrix} 0.495 \\ 0.827 \\ 0.263 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0.499 \\ 0.839 \\ 0.213 \end{pmatrix}$
P_i	$P_1 = 0.223 \quad P_2 = 0.623$	$P_1 = 0.229 \quad P_2 = 0.647$
GRUPO 2	PRE-TEST	POST-TEST
n	30	34
MATRIZ DENSIDAD	$\begin{bmatrix} 0.192 & 0.297 & 0.090 \\ 0.297 & 0.700 & 0.192 \\ 0.090 & 0.192 & 0.108 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.221 & 0.311 & 0.117 \\ 0.311 & 0.669 & 0.212 \\ 0.117 & 0.212 & 0.110 \end{bmatrix}$
MAYOR VALOR PROPIO	0.894	0.902
VECTOR PROPIO PRIMARIO	$\begin{pmatrix} 0.404 \\ 0.876 \\ 0.260 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0.438 \\ 0.850 \\ 0.292 \end{pmatrix}$
P_i	$P_1 = 0.146 \quad P_2 = 0.686$	$P_1 = 0.173 \quad P_2 = 0.652$

GRUPO 3			PRE-TEST			POST-TEST		
n			29			31		
MATRIZ DENSIDAD			$\begin{bmatrix} 0.237 & 0.359 & 0.140 \\ 0.359 & 0.629 & 0.239 \\ 0.140 & 0.239 & 0.134 \end{bmatrix}$			$\begin{bmatrix} 0.262 & 0.336 & 0.122 \\ 0.336 & 0.605 & 0.234 \\ 0.122 & 0.234 & 0.133 \end{bmatrix}$		
MAYOR VALOR PROPIO			0.937			0.901		
VECTOR PROPIO PRIMARIO			$\begin{pmatrix} 0.481 \\ 0.813 \\ 0.326 \end{pmatrix}$			$\begin{pmatrix} 0.488 \\ 0.810 \\ 0.324 \end{pmatrix}$		
P_i			$P_1 = 0.217 \quad P_2 = 0.619$			$P_1 = 0.215 \quad P_2 = 0.591$		
GRUPO 4			PRE-TEST			POST-TEST		
n			15			29		
MATRIZ DENSIDAD			$\begin{bmatrix} 0.267 & 0.361 & 0.136 \\ 0.361 & 0.600 & 0.209 \\ 0.136 & 0.209 & 0.133 \end{bmatrix}$			$\begin{bmatrix} 0.289 & 0.380 & 0.081 \\ 0.380 & 0.647 & 0.144 \\ 0.081 & 0.144 & 0.065 \end{bmatrix}$		
MAYOR VALOR PROPIO			0.910			0.919		
VECTOR PROPIO PRIMARIO			$\begin{pmatrix} 0.514 \\ 0.802 \\ 0.305 \end{pmatrix}$			$\begin{pmatrix} 0.524 \\ 0.830 \\ 0.190 \end{pmatrix}$		
P_i			$P_1 = 0.240 \quad P_2 = 0.585$			$P_1 = 0.252 \quad P_2 = 0.633$		
GRUPO 5			PRE-TEST			POST-TEST		
n			30			34		
MATRIZ DENSIDAD			$\begin{bmatrix} 0.271 & 0.362 & 0.156 \\ 0.362 & 0.600 & 0.224 \\ 0.156 & 0.224 & 0.129 \end{bmatrix}$			$\begin{bmatrix} 0.202 & 0.308 & 0.065 \\ 0.308 & 0.724 & 0.163 \\ 0.065 & 0.163 & 0.074 \end{bmatrix}$		
MAYOR VALOR PROPIO			0.926			0.903		
VECTOR PROPIO PRIMARIO			$\begin{pmatrix} 0.515 \\ 0.794 \\ 0.324 \end{pmatrix}$			$\begin{pmatrix} 0.409 \\ 0.889 \\ 0.207 \end{pmatrix}$		
P_i			$P_1 = 0.246 \quad P_2 = 0.584$			$P_1 = 0.151 \quad P_2 = 0.714$		

GRUPO 6	PRE-TEST	POST-TEST
n	30	37
MATRIZ DENSIDAD	$\begin{bmatrix} 0.231 & 0.340 & 0.114 \\ 0.340 & 0.663 & 0.194 \\ 0.114 & 0.194 & 0.106 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.240 & 0.343 & 0.099 \\ 0.343 & 0.672 & 0.193 \\ 0.099 & 0.193 & 0.088 \end{bmatrix}$
MAYOR VALOR PROPIO	0.925	0.917
VECTOR PROPIO PRIMARIO	$\begin{pmatrix} 0.466 \\ 0.843 \\ 0.268 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0.466 \\ 0.847 \\ 0.252 \end{pmatrix}$
P_i	$P_1 = 0.201$ $P_2 = 0.657$	$P_1 = 0.199$ $P_2 = 0.658$

Tabla 2. Matriz densidad de cada grupo con su respectiva descomposición en valores propios, para el FCI.

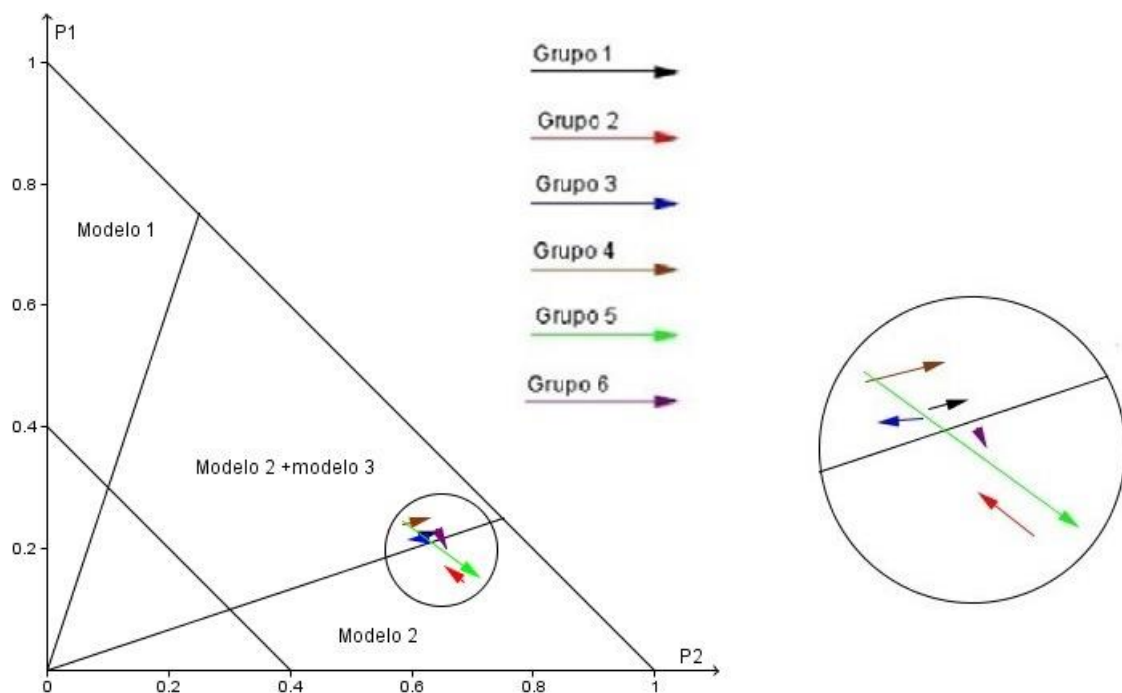


Figura 15. Model plot. Muestra los cambios representados por MA de los seis grupos, medido por el FCI. Las flechas apuntan desde el estado de conocimiento inicial hasta el estado final. A la derecha se amplían los vectores en escala 1:3.

Para dar un significado estadístico a los resultados presentados en la tabla 2 y en la figura 15, se define como variable independiente: *el puntaje fuerza-movimiento*, derivada de la puntuación del FCI, considerando los ítems señalados en la Tabla 1; tomando como correctas las opciones que aparecen en la primera fila. Expresado como porcentaje sobre todos los elementos pertinentes m , esta puntuación es entonces el mismo que q_{1K} , la probabilidad de activación del modelo 1. El promedio de esta variable en un grupo es entonces el elemento en la primera fila y primera columna de la matriz de densidad respectiva. La figura 17 representa la distribución de la variable puntaje fuerza – movimiento, antes de la instrucción (pre – test), sobre los grupos del 1 al 6; en tanto que la figura 18 muestra la distribución después de la instrucción (post – test).

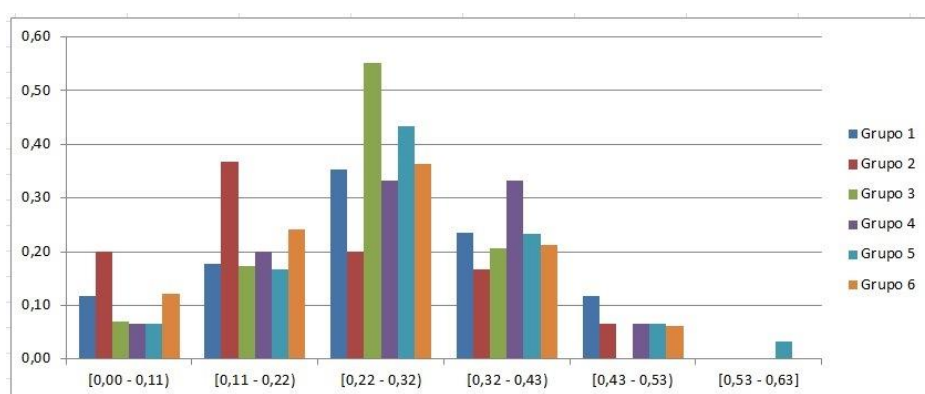


Figura 17. Distribución de los puntajes de fuerza y movimiento Pre – test.

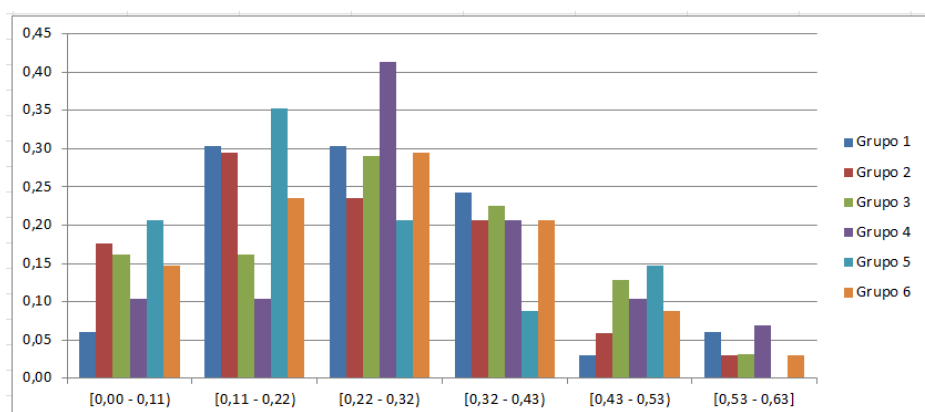


Figura 18. Distribución de los puntajes de fuerza y movimiento Post – test.

Para Uribe y Bonilla (2013), un aspecto clave de hacer física es leer y escribir la física, es decir, que el estudiante se exprese de manera escrita utilizando de manera coherente el vocabulario propio de la física; para lo cual en éste estudio los estudiantes, como ya se mencionó, realizaron resúmenes y esquemas, a continuación se presentan un para de ellos.

CAPÍTULO UNO. MODELO ARISTOTÉLICO DEL MOVIMIENTO.

COMPRENDIENDO EL MOVIMIENTO DE LOS OBJETOS EN EL ESPACIO.

Las teorías intuitivas e inconscientes que todos hemos tenido (cuando niños pequeños), sobre el movimiento, son sorprendentemente parecidas, tanto en su forma como en su contenido. Por esto no es extraño que sean parecidas a las teorías formales y conscientes sobre el movimiento que sostuvieron científicos anteriores a Newton, durante muchos siglos.

¿Cuál es la causa de que el disco realice su desplazamiento sobre la superficie después de que el palo lo puso en movimiento?

La respuesta más natural y obvia a la pregunta anterior es la siguiente: el golpe con el palo impartió o transmitió al disco una causa motriz, de "energía" o "fuerza", que continuó moviéndolo después de haber cesado el contacto entre ambos.

La teoría INTUITIVA sobre el movimiento puede formularse en palabras siguientes oraciones:

1. El movimiento es algo "absoluto": la "velocidad verdadera" de un cuerpo es una característica inherente (inseparablemente unida) al cuerpo en sí cada instante.
2. Estar en movimiento (la condición de un objeto fuera del reposo, cuya velocidad es nula), es siempre efecto o resultado de una causa motriz, la cual subsiste en el objeto: "lo que se mueve es movido por otro".
3. Tal causa motriz proviene del impulsor o propulsor, que puso al cuerpo en movimiento, mediante la cual prolonga su efecto a pesar de haber dejado de estar en contacto directo con el cuerpo.
4. La causa motriz es proporcional a la velocidad: Si aumenta la intensidad de la causa, aumenta la velocidad.
5. La causa motriz va gastándose o consumiéndose a medida que tiene lugar el movimiento, y por lo tanto la velocidad va disminuyendo.

Esta teoría es llamada "teoría aristotélica del movimiento" y la intuición espontánea sobre el movimiento ha demostrado sin duda que esta teoría todavía está viva en la mente de los alumnos de física.

Otra afirmación aristotélica que influye en el pensamiento intuitivo es la distinción entre lo que Aristóteles llamó "movimiento violento" y "movimiento natural". Son impuestos al objeto por un agente exterior (violento): por ejemplo, una flecha es disparada por un arco o una piedra es lanzada verticalmente hacia arriba. En cambio, es otro es la naturaleza del objeto (natural) y

Figura 19. Resumen: Capítulo 1 del TER

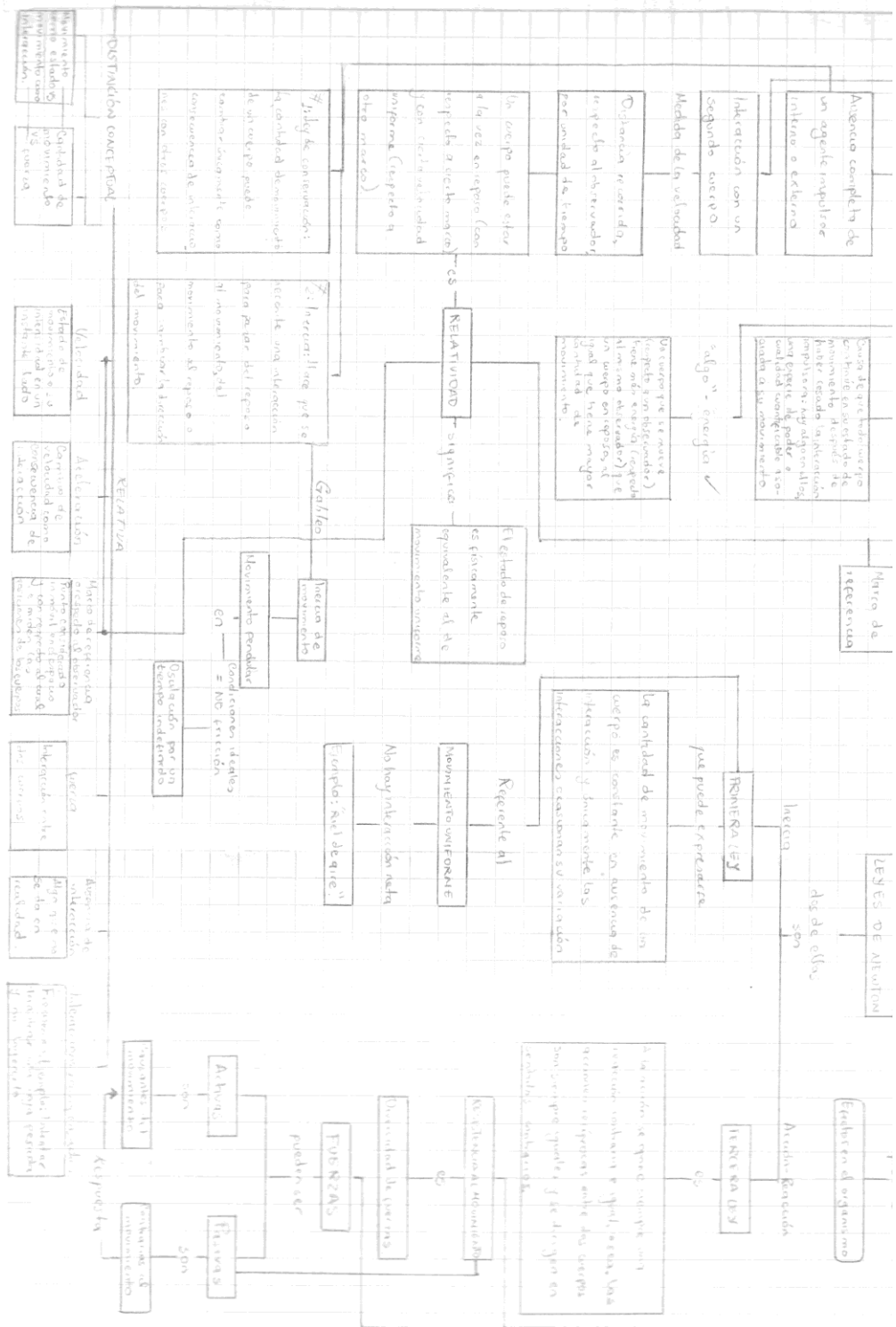
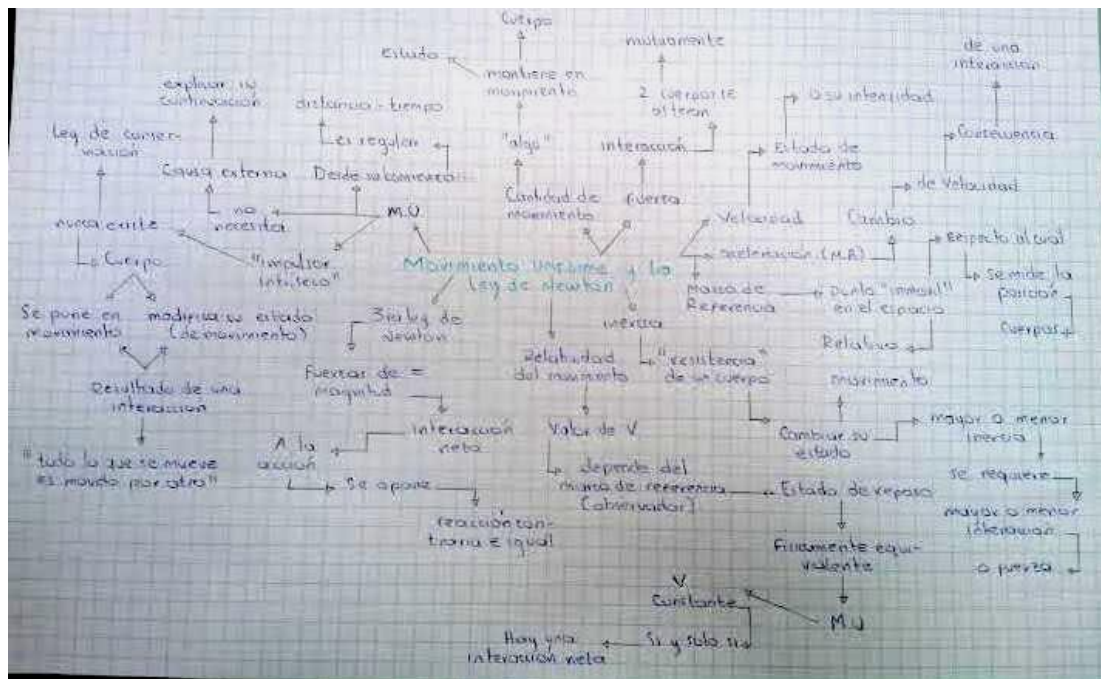


Figura 20. Esquema A: capítulo 2 del TER



El resumen mostrado en la figura 19, muestra mas bien una información fragmentada, una “mutilación” del texto original, con lo que no se evidencia un poder de síntesis del autor del resumen o una escasa interpretación del texto. En el esquema 1 se evidencia que el estudiante hace una relación entre los conceptos, agregando descripciones o definiciones de algunos de ellos, seria necesario simplificar el esquema la nivel de usar palabras claves para conectar los conceptos para facilitar su comprensión a través de sus relaciones (conectores). Para el esquema 2, se identifica que se repiten varios conceptos, lo que evidenciaría una dificultad para relacionar de manera mas eficiente los conceptos presentados en el texto, por ejemplo, si bien se relaciona el concepto de fuerza con el de interacción, el primero no se relaciona con el cambio de velocidad, lo que lleva a la complejidad del esquema realizado. Se aclara que no hubo una orientación específica sobre el tipo de esquema a utilizar.

Pasando de este análisis a las observaciones naturalistas del docente investigador, se constató que en efecto la mecánica newtoniana y en este caso la primera ley, reviste una gran dificultad para ser comprendida a plenitud, por los obstáculos generados por la física intuitiva arraigada en la

mente de cada ser humano y que va en contra del modelo científico aceptado. Cabe mencionar que varios estudiantes mostraron buena disposición para el desarrollo de las sesiones de clase, respondiendo positivamente al enfoque conceptual y en la implementación de la lectura como principal estrategia de enseñanza. Pero no se puede desconocer las dificultades fundadas a partir de que en la cultura de ésta población no se insiste en la importancia del desarrollo de las habilidades comunicativas. En muchos casos se encontró que los estudiantes no realizaban la lectura individual en casa o no se hacía con la disposición necesaria para alcanzar un nivel de comprensión apropiado, que tampoco puede desligarse del desarrollo cognitivo propio de la edad de estos estudiantes. Por ello una estrategia a considerar es realizar un trabajo interdisciplinario en colaboración con los docentes de lengua para fortalecer las habilidades de interpretación y de argumentación en los estudiantes con respecto a textos disciplinares.

Además, considerando que el referente fue el trabajo realizado por Uribe con estudiantes de nivel universitario, con una asignación que rara vez sobrepasa las ocho asignaturas por periodo académico, los estudiantes de la institución donde se realizó el estudio cuentan en su plan de estudios con un total de 14 asignaturas, con lo que argumentan el poco tiempo disponible para la lectura en casa o la poca motivación para realizar el ejercicio de lectura, relacionado también con su grado de responsabilidad.

Para finalizar, en el grupo cinco, como ya se mencionó, se orientó un plan de estudios tradicional, consistente en trabajo fuerte para la solución de problemas propios de la cinemática de la partícula en el primer periodo académico, y en el segundo periodo recién se presentaron las leyes de Newton, pero haciendo énfasis en la resolución de ejercicios, que requieren mas de lo matemático que de lo conceptual.

Retomando la hipótesis inicial que ha guiado esta investigación: *Los estudiantes de décimo grado pueden sacar provecho de la lectura del libro La transformación en la explicación y la comprensión del movimiento,*

logrando una mejor comprensión de la primera ley de Newton, en comparación con estudiantes que siguen un programa de estudio regular. Con los resultados cuantitativos poco significativos obtenidos al utilizar el FCI mediante el MA, no es posible aceptar o rechazar esta idea. Lo que se plantea es el interrogante para investigaciones posteriores, de como potenciar el uso del TER a través del desarrollo de las habilidades de lectura comprensiva que poseen los estudiantes en éste nivel, yendo más allá de la simple descodificación.

A nivel personal, la realización de este trabajo de grado me hizo consciente de la necesidad de transformar las practicas profesionales en cuanto a las estrategias de enseñanza y en especial de evaluación, donde el llamado es a trascender de lo numérico y buscar estrategias para interpretar lo que sucede en la mente del estudiante, considerando como una rica fuente de información los errores en las respuestas de evaluaciones que indaguen por los conceptos de la física, pasando de ser profesor a estar en una continua investigación de sus practicas, siempre en aras del progreso en la comprensión de las ideas físicas por parte de los estudiantes.

CONCLUSIÓN

De acuerdo a lo expuesto en el marco teórico, al observar los resultados aquí plasmados, se tiene que en general los grupos donde se intervino, no tuvieron un cambio conceptual significativo; sin embargo, se puede apreciar que conforme a los valores de λ_1 , los grupos son homogéneos; de la misma manera se asume que en los grupos uno y cuatro, se presentó un progreso simultaneo en la probabilidad de activación tanto de los modelos mentales M1 y M2, también se distingue que en el grupo tres, de acuerdo a la tabla 2 hay un avance en la probabilidad P_1 , sin embargo, en la figura 15 no se evidencia, esto se debe a que el grado de homogeneidad del grupo disminuyó entre el pre-test y el post-test.

En contraste, para el grupo cinco se reconoce un cierto retroceso en los resultados, lo que sugiere que con la metodología tradicional es muy escaso

el cambio conceptual que se logra en los estudiantes. En este mismo sentido se tiene el grupo seis, sin embargo en una menor escala.

En cambio el grupo dos muestra un cambio en el sentido en que lo señala el referente teórico, sin embargo, se encuentra en un estado M2.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bao, L., & Redish, E. F. (2006). Model analysis: Representing and assessing the dynamics of student learning. *Physical review topics - Physics education research* 2 .
- Brunner, J. (1997). Pedagogía popular. En J. Brunner, *La educación, puerta de la cultura* (págs. 63 - 83). Barcelona: Visor.
- Davies, P. (1998). Introducción. En R. Feynman, *Seis piezas fáciles* (págs. 9 - 18). Barcelona: Drakontos.
- Hestenes , D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The physics teacher*, 30, 141 - 158.
- Hynd, C., McWhorter, J., Phares, V., & Suttles , C. (1994). The role of instructional variables in conceptual change in high school physics topics. *Journal of research in science teaching*, 31(9), 933 - 946.
- ICFES. (20 de Junio de 2012). Obtenido de ICFES, MEJOR SABER: http://www.icfes.gov.co/index.php?option=com_content&task=view&id=419&Itemid=992
- ICFES. (31 de marzo de 2013). Obtenido de ICFES, MEJOR SABER: <http://www.icfes.gov.co/examenes/saber-11o/que-se-evalua>
- Joshua, S., & Dupin, J.-J. (1993). Introducción a la didáctica de las ciencias y las matemáticas. *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*, 1 - 10. (G. Castrillón Castro, & M. Vega Restrepo, Trads.) Santiago de Cali.
- Latorre, A., del Rincón, D., & Arnal, J. (1996). *Bases metodológicas de la investigación educativa*. Barcelona: GR92.

- Limón, M., & Carretero, M. (1997). Las ideas previas de los alumnos. ¿Qué aporta este enfoque a la enseñanza de las ciencias? En M. Carretero, *Construir y enseñar las ciencias experimentales* (págs. 4 -16). Buenos Aires: Aique.
- MEN. (2004). Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales. *Formar en ciencias: ¡el desafío! Lo que necesitamos saber y saber hacer*. Santa fé de Bogotá.
- MEN. (2006). Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales. *Formar en ciencias: ¡el desafío! Lo que necesitamos saber y saber hacer*. Santa fé de Bogotá.
- Mora, C., & Herrera , D. (5 de Junio de 2009). Una revision sobre ideas previas del concepto de fuerza. *Revista latinoamericana de fisica educativa*, 77 - 86.
- Osborne, R., & Freyberg, P. (1995). *El aprendizaje de las ciencias: Influencia de las "ideas previas" de los alumnos*. Madrid: narcea.
- Peduzzy, L., & Zylberstajn, A. (1997). La física de la fuerza impresa y sus implicaciones para la enseñanza de la dinámica. *Enseñanza de las ciencias*, 15(3), 351 - 359.
- Pozo, J. I., & Gómez, M. Á. (1998). *Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Ediciones Morata.
- Sebastiá, J. (1984). Fuerza y movimiento: la interpretación del movimiento. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 2(3), 161 - 169.

Thornton, R. K., Khul, D., Cummings, K., & Marx, J. (2009). Comparing the force and motion conceptual evaluation and the force concept inventory. *Physical review special topics - Physics education research*.

Uribe Gartner, C. J. (2003). Investigación sobre dificultades conceptuales en el aprendizaje de las ciencias. En A. C. Zambrano, *Educación y formación del pensamiento científico* (págs. 81 - 93). Santiago de Cali: Universidad del Valle.

Uribe Gartner, C. J. (2010). *La transformación en la explicación y la comprensión del movimiento*. Santiago de Cali: Programa Editorial Universidad del Valle.

ANEXOS

Anexo 1: Prueba FCI

La pruebas FCI es propiedad intelectual de los autores, que lo han puesto a disposición de los investigadores con el compromiso de mantener su integridad y validez como instrumento de investigación, lo que implica que no debe quedar a disposición de los estudiantes, según la siguiente advertencia:

Please do not allow students to keep copies of any of these tests. It takes years of development effort to create and validate a reliable assessment instrument. If it is released to the public domain, students will locate it and all that work will be for naught. In fact, you might not want to use the formal name of the test on the versions you have students take. None of these tests are to be incorporated into a web-based question delivery system without adequate security to prevent printing or other unauthorized access by students. Contact the authors for more details. (ver <http://www.ncsu.edu/per/TestInfo.html>).

Cuestionario Sobre el Concepto de Fuerza

Force Concept Inventory

Originally published in *The Physics Teacher*, March 1992

by

David Hestenes, Malcolm Wells, and Gregg Swackhamer

Revised August 1995 by

Ibrahim Halloun, Richard Hake, and Eugene Mosca

Translated to Spanish by

Enrique Macia-Barber & M^a Victoria Hernandez

Instituto de Estudios Interdisciplinarios Spain

José Menendez

Arizona State University USA

Cuestionario Sobre el Concepto de Fuerza

Por favor:

No escriba nada en este cuestionario.

Marque sus respuestas en la hoja para computadora ParSCORE.

Marque sólo una respuesta por pregunta.

No deje ninguna pregunta sin contestar.

Evite adivinar. Sus respuestas deben reflejar lo que usted personalmente piensa.

En la hoja para computadora ParSCORE: Use sólo un lápiz No. 2, y siga las instrucciones para marcar sus respuestas.

Escriba su número de identificación (ID), que es el número que le da su escuela o su profesor.

Marque "A " en el espacio "Test Form ". Escriba el "Exam No. " que le da su profesor.

Calcule terminar este cuestionario en 30 minutos.

Gracias por su colaboración.

Forcé Concept Inventory

The *Forcé Concept Inventory* (FCI) is a multiple-choice "test" designed to assess student understanding of the *most basic* concepts in Newtonian mechanics. The FCI can be used for several different purposes, but the most important one is to evaluate the effectiveness of instruction. For a full understanding of what has gone into the development of this instrument and of how it can be used, the FCI papers^{1,2} should be consulted, as well as: (a) the papers on the Mechanics Diagnostic Test^{3,4}, the FCI predecessor, (b) the paper on the Mechanics Baseline Test⁵ which is recommended as an FCI companion test for assessing quantitative problem solving skills, and (c) Richard Hake's⁶ data collection on university and high school physics taught by many different teachers and methods across the USA.

References

1. David Hestenes, Malcolm Wells, & Gregg Swackhamer (1992). Forcé Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30 (3), 141-151.
2. David Hestenes & Ibrahim Halloun (1995). Interpreting the Forcé Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 33 (8), 502, 504-506.
3. Ibrahim Halloun & David Hestenes (1985). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53 (11), 1043-1055.
4. Ibrahim Halloun & David Hestenes (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53 (11), 1056-1065.
5. David Hestenes & Malcolm Wells (1992). A Mechanics Baseline Test. *The Physics Teacher*, 30 (3), 159-166.
6. Richard Hake (1994, August). Survey of Test Data for Introductory Mechanics Courses. *AAPT Announcer*, 24 (2), 55.

1. Dos bolas de metal tienen el mismo tamaño, pero una pesa el doble que la otra. Se dejan caer estas bolas desde el techo de un edificio de un solo piso en el mismo instante de tiempo. El tiempo que tardan las bolas en llegar al suelo es :
 - (A) aproximadamente la mitad para la bola más pesada que para la bola más liviana.
 - (B) aproximadamente la mitad para la bola más liviana que para la bola más pesada.
 - (C) aproximadamente el mismo para ambas bolas.
 - (D) considerablemente menor para la bola más pesada, pero no necesariamente la mitad.
 - (E) considerablemente menor para la bola más liviana, pero no necesariamente la mitad.

2. Las dos bolas de metal del problema anterior ruedan sobre una mesa horizontal con la misma velocidad y caen al suelo al llegar al borde de la mesa. En esta situación:
 - (A) ambas bolas golpean el suelo aproximadamente a la misma distancia horizontal de la base de la mesa.
 - (B) la bola más pesada golpea el suelo aproximadamente a la mitad de la distancia horizontal de la base de la mesa que la bola más liviana.
 - (C) la bola más liviana golpea el suelo aproximadamente a la mitad de la distancia horizontal de la base de la mesa que la bola más pesada.
 - (D) la bola más pesada golpea el suelo considerablemente más cerca de la base de la mesa que la bola más liviana, pero no necesariamente a la mitad de la distancia horizontal.
 - (E) la bola más liviana golpea el suelo considerablemente más cerca de la base de la mesa que la bola más pesada, pero no necesariamente a la mitad de la distancia horizontal.

3. Una piedra que se deja caer desde el techo de un edificio de un solo piso hasta la superficie de la tierra:
 - (A) alcanza un máximo de velocidad muy pronto después de ser soltada y desde entonces cae con una velocidad constante.
 - (B) aumenta su velocidad mientras cae porque la atracción gravitatoria se hace considerablemente mayor cuanto más se acerca la piedra a la tierra.
 - (C) aumenta su velocidad porque una fuerza de gravedad casi constante actúa sobre ella.
 - (D) cae debido a la tendencia natural de todos los objetos a descansar sobre la superficie de la tierra.
 - (E) cae debido a los efectos combinados de la fuerza de la gravedad, empujándola hacia abajo, y la fuerza del aire, también empujándola hacia abajo.

4. Un camión grande choca frontalmente con un pequeño automóvil. Durante la colisión:
- (A) la intensidad de la fuerza que el camión ejerce sobre el automóvil es mayor que la de la fuerza que el auto ejerce sobre el camión.
 - (B) la intensidad de la fuerza que el automóvil ejerce sobre el camión es mayor que la de la fuerza que el camión ejerce sobre el auto.
 - (C) ninguno ejerce una fuerza sobre el otro, el auto es aplastado simplemente porque se interpone en el camino del camión.
 - (D) el camión ejerce una fuerza sobre el automóvil pero el auto no ejerce ninguna fuerza sobre el camión.
 - (E) el camión ejerce una fuerza de la misma intensidad sobre el auto que la que el auto ejerce sobre el camión.

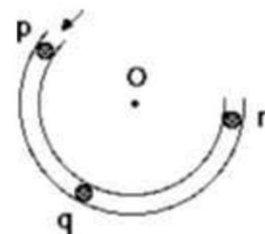
USE LA DESCRIPCIÓN Y LA FIGURA ADJUNTAS PARA CONTESTAR LAS DOS PREGUNTAS SIGUIENTES (5 y 6).

La figura adjunta muestra un canal sin fricción en forma de segmento circular con centro en "O". El canal se halla anclado sobre la superficie horizontal de una mesa sin rozamiento. Usted está mirando la mesa desde arriba. Las fuerzas ejercidas por el aire son despreciables. Una bola es disparada a gran velocidad hacia el interior del canal por "p" y sale por "r".

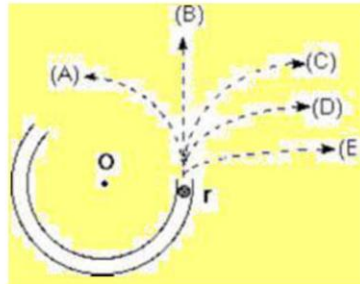
5. Considérense las diferentes fuerzas siguientes:
- 1. Una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
 - 2. Una fuerza ejercida por el canal y dirigida de q hacia O.
 - 3. Una fuerza en la dirección del movimiento.
 - 4. Una fuerza en la dirección de O hacia q.

¿Cuál(es) de dichas fuerzas actúa(n) sobre la bola cuando ésta se halla dentro del canal sin fricción en la posición "q"?

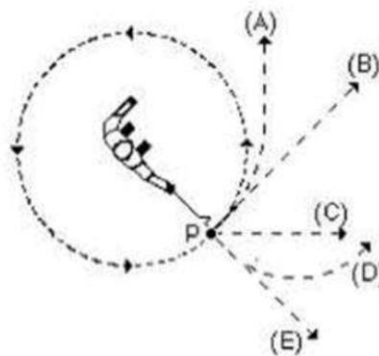
- (A) sólo la 1.
- (B) 1 y 2.
- (C) 1 y 3.
- (D) 1, 2 y 3.
- (E) 1, 3 y 4.



6. ¿Cuál de los caminos indicados en la siguiente figura seguirá de forma más aproximada la bola después de salir del canal por "r" si continúa moviéndose sin rozamiento sobre la superficie de la mesa?



7. Una bola de acero está atada a una cuerda y sigue una trayectoria circular en un plano horizontal como se muestra en la figura adjunta. En el punto P indicado en la figura, la cuerda se rompe de repente en un punto muy cercano a la bola. Si estos hechos se observan directamente desde arriba, como se indica en la figura, ¿qué camino seguirá de forma más aproximada la bola tras la ruptura de la cuerda?

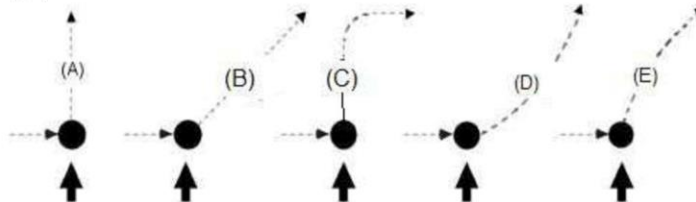


USE LA DESCRIPCIÓN Y LA FIGURA ADJUNTAS PARA CONTESTAR LAS CUATRO PREGUNTAS SIGUIENTES (8 a 11).

La figura muestra un disco de hockey desplazándose con velocidad constante v_0 en línea recta desde el punto "a" al punto "b" sobre una superficie horizontal sin fricción. Las fuerzas ejercidas por el aire son despreciables. Usted está mirando el disco desde arriba. Cuando el disco llega al punto "b", recibe un repentino golpe horizontal en la dirección de la flecha gruesa. Si el disco hubiera estado en reposo en el punto "b", el golpe habría puesto el disco en movimiento horizontal con una velocidad v_k en la dirección del golpe.



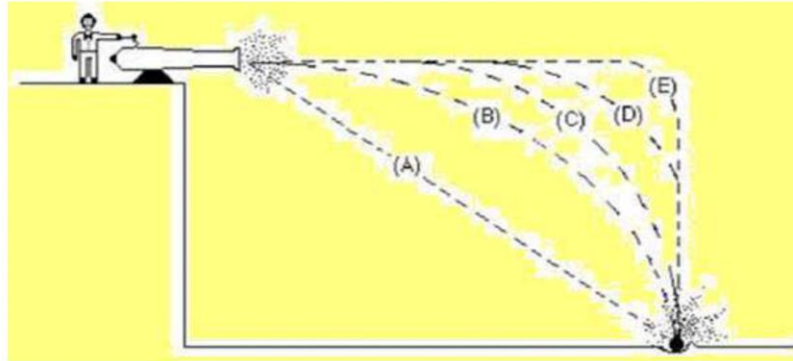
8. ¿Cuál de los caminos siguientes seguirá de forma más aproximada el disco después de recibir el golpe?



9. La velocidad del disco inmediatamente después de recibir el golpe es:
- (A) igual a la velocidad " v_0 " que tenía antes de recibir el golpe.
 - (B) igual a la velocidad " v_k " resultante del golpe e independiente de la velocidad " v_0 ".
 - (C) igual a la suma aritmética de las velocidades " v_0 " y " v_k ".
 - (D) menor que cualquiera de las velocidades " v_0 " o " v_k ".
 - (E) mayor que cualquiera de las velocidades " v_0 " o " v_k ", pero menor que la suma aritmética de estas dos velocidades.
10. A lo largo del camino sin fricción que usted ha elegido en la pregunta 8, la velocidad del disco después de recibir el golpe:
- (A) es constante.
 - (B) aumenta continuamente.
 - (C) disminuye continuamente.
 - (D) aumenta durante un rato y después disminuye.
 - (E) es constante durante un rato y después disminuye.
11. A lo largo del camino sin fricción que usted ha elegido en la pregunta 8, la(s) principal(es) fuerza(s) que actúa(n) sobre el disco después de recibir el golpe es (son):
- (A) una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
 - (B) una fuerza hacia abajo debida a la gravedad y una fuerza horizontal en la dirección del movimiento.
 - (C) una fuerza hacia abajo debida a la gravedad, una fuerza hacia arriba ejercida por la superficie y una fuerza horizontal en la dirección del movimiento.

- (D) una fuerza hacia abajo debida a la gravedad y una fuerza hacia arriba ejercida por la superficie.
- (E) ninguna. (No actúa ninguna fuerza sobre el disco).

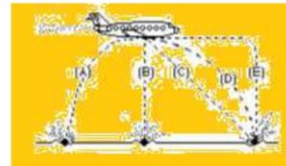
12. Con un cañón se dispara una bola desde el filo de un barranco como se muestra en la figura adjunta. ¿Cuál de los caminos seguirá de forma más aproximada dicha bola?



13. Un chico lanza hacia arriba una bola de acero. Considere el movimiento de la bola durante el intervalo comprendido entre el momento en que ésta deja de estar en contacto con la mano del chico hasta un instante anterior al impacto con el suelo. Suponga que las fuerzas ejercidas por el aire son despreciables. En estas condiciones, la(s) fuerza(s) que actúa(n) sobre la bola es (son):
- (A) una fuerza hacia abajo debida a la gravedad junto con una fuerza hacia arriba que disminuye continuamente.
 - (B) una fuerza hacia arriba que disminuye continuamente desde el momento en que la bola abandona la mano del chico hasta que alcanza su punto más alto; en el camino de descenso hay una fuerza hacia abajo debida a la gravedad que aumenta continuamente a medida que el objeto se acerca progresivamente a la tierra.
 - (C) una fuerza hacia abajo prácticamente constante debida a la gravedad junto con una fuerza hacia arriba que disminuye continuamente hasta que la bola alcanza su punto más alto; en el camino de descenso sólo hay una fuerza constante hacia abajo debida a la gravedad.
 - (D) sólo una fuerza hacia abajo, prácticamente constante, debida a la gravedad.
 - (E) ninguna de las anteriores. La bola cae al suelo por su tendencia natural a descansar sobre la superficie de la tierra.

14. Una bola se escapa accidentalmente de la bodega de carga de un avión que vuela en una dirección horizontal.

Tal como lo observaría una persona de pie sobre el suelo que ve el avión como se muestra en la figura de la derecha, ¿qué camino seguiría de forma más aproximada dicha bola tras caer del avión?



USE LA DESCRIPCIÓN Y LA FIGURA ADJUNTAS PARA CONTESTAR LAS DOS PREGUNTAS SIGUIENTES (15 y 16).

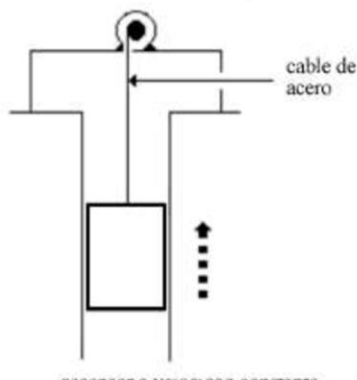
Un camión grande se avería en la carretera y un pequeño automóvil lo empuja de regreso a la ciudad tal como se muestra en la figura adjunta.



15. Mientras el automóvil que empuja al camión acelera para alcanzar la velocidad de marcha:
- (A) la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es igual a la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.
 - (B) la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es menor que la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.
 - (C) la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es mayor que la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.
 - (D) dado que el motor del automóvil está en marcha, éste puede empujar al camión, pero el motor del camión no está funcionando, de modo que el camión no puede empujar al auto. El camión es empujado hacia adelante simplemente porque está en el camino del automóvil.
 - (E) ni el camión ni el automóvil ejercen fuerza alguna sobre el otro. El camión es empujado hacia adelante simplemente porque está en el camino del automóvil.
16. Después de que el automóvil alcanza la velocidad constante de marcha a la que el conductor quiere empujar el camión:

- (A) la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es igual a la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.
- (B) la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es menor que la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.
- (C) la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es mayor que la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.
- (D) dado que el motor del automóvil está en marcha, éste puede empujar al camión, pero el motor del camión no está funcionando, de modo que el camión no puede empujar al auto. El camión es empujado hacia adelante simplemente porque está en el camino del automóvil.
- (E) ni el camión ni el automóvil ejercen fuerza alguna sobre el otro. El camión es empujado hacia adelante simplemente porque está en el camino del automóvil.

17. Un ascensor sube por su hueco a velocidad constante por medio de un cable de acero tal como se muestra en la figura adjunta. Todos los efectos debidos a la fricción son despreciables. En esta situación, las fuerzas que actúan sobre el ascensor son tales que:



Ascensor a velocidad constante

- (A) la fuerza hacia arriba ejercida por el cable es mayor que la fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
- (B) la fuerza hacia arriba ejercida por el cable es igual a la fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
- (C) la fuerza hacia arriba ejercida por el cable es menor que la fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
- (D) la fuerza hacia arriba ejercida por el cable es mayor que la suma de la fuerza hacia abajo debida a la gravedad y una fuerza hacia abajo debida al aire.
- (E) ninguna de las anteriores. (El ascensor sube porque el cable se está acortando, no porque el cable ejerza una fuerza hacia arriba sobre el ascensor).

18. La figura adjunta muestra a un chico columpiándose en una cuerda, comenzando en un punto más alto que A. Considérense las siguientes fuerzas:

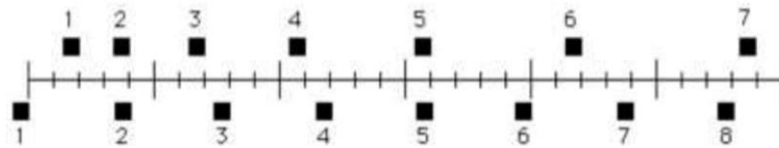
1. Una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
2. Una fuerza ejercida por la cuerda dirigida de A hacia O.
3. Una fuerza en la dirección del movimiento del chico.
4. Una fuerza en la dirección de O hacia A.

¿Cuál(es) de dichas fuerzas actúa(n) sobre el chico en la posición A?

- (A) sólo la 1.
- (B) 1 y 2.
- (C) 1 y 3.
- (D) 1, 2 y 3.
- (E) 1, 3 y 4.



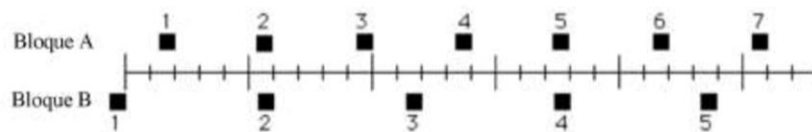
19. Las posiciones de dos bloques en intervalos de tiempo sucesivos de 0.20 segundos se hallan representadas por los cuadrados numerados de la figura adjunta. Los bloques se mueven hacia la derecha.



¿Tienen los bloques en algún momento la misma velocidad?

- (A) no.
- (B) sí, en el instante 2.
- (C) sí, en el instante 5.
- (D) sí, en los instantes 2 y 5.
- (E) sí, en algún momento durante el intervalo de 3 a 4.

20. Las posiciones de dos bloques en intervalos sucesivos de 0.20 segundos se hallan representadas por los cuadrados numerados de la figura adjunta. Los bloques se mueven hacia la derecha.



Las aceleraciones de los bloques están relacionadas de la forma siguiente:

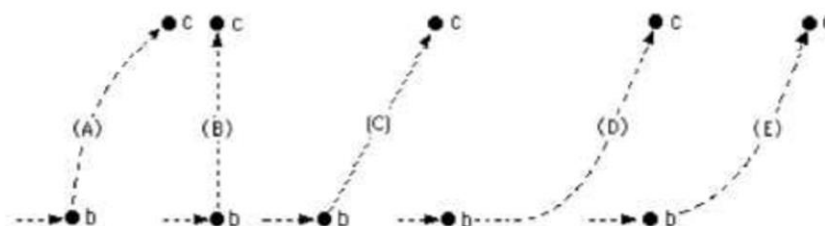
- (A) la aceleración de "a" es mayor que la aceleración de "b".
- (B) la aceleración de "a" es igual a la aceleración de "b". Ambas aceleraciones son mayores que cero.
- (C) la aceleración de "b" es mayor que la aceleración de "a".
- (D) la aceleración de "a" es igual a la aceleración de "b". Ambas aceleraciones son cero.
- (E) no se da suficiente información para contestar la pregunta.

USE LA DESCRIPCIÓN Y LA FIGURA ADJUNTAS PARA CONTESTAR LAS CUATRO PREGUNTAS SIGUIENTES (21 a 24).

Un cohete flota a la deriva en el espacio exterior desde el punto "a" hasta el punto "b", como se muestra en la figura adjunta. El cohete no está sujeto a la acción de ninguna fuerza externa. En la posición "b", el motor del cohete se enciende y produce un empuje constante (fuerza sobre el cohete) en un ángulo recto con respecto a la línea "ab". El empuje constante se mantiene hasta que el cohete alcanza un punto "c" en el espacio.



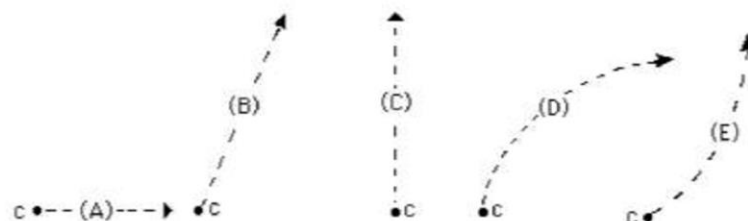
21. ¿Cuál de los siguientes caminos representa mejor la trayectoria del cohete entre los puntos "b" y "c"?



22. Mientras el cohete se mueve desde la posición "b" hasta la posición "c" la magnitud de su velocidad es:

- (A) constante.
- (B) continuamente creciente.
- (C) continuamente decreciente.
- (D) creciente durante un rato y después constante.
- (E) constante durante un rato y después decreciente.

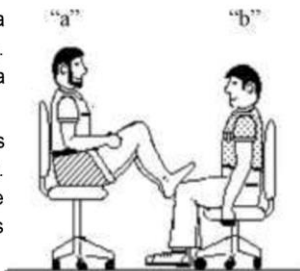
23. En el punto "c" el motor del cohete se para y el empuje se anula inmediatamente. ¿Cuál de los siguientes caminos seguirá el cohete después del punto "c"?



24. A partir de la posición "c" la velocidad del cohete es:
- (A) constante.
 - (B) continuamente creciente.
 - (C) continuamente decreciente.
 - (D) creciente durante un rato y después constante.
 - (E) constante durante un rato y después decreciente.
25. Una mujer ejerce una fuerza horizontal constante sobre una caja grande. Como resultado, la caja se mueve sobre un piso horizontal a velocidad constante " v_0 ". La fuerza horizontal constante aplicada por la mujer:
- (A) tiene la misma magnitud que el peso de la caja.
 - (B) es mayor que el peso de la caja.
 - (C) tiene la misma magnitud que la fuerza total que se opone al movimiento de la caja.
 - (D) es mayor que la fuerza total que se opone al movimiento de la caja.
 - (E) es mayor que el peso de la caja y también que la fuerza total que se opone a su movimiento.
26. Si la mujer de la pregunta anterior duplica la fuerza horizontal constante que ejerce sobre la caja para empujarla sobre el mismo piso horizontal, la caja se moverá:
- (A) con una velocidad constante que es el doble de la velocidad " v_0 " de la pregunta anterior.
 - (B) con una velocidad constante que es mayor que la velocidad " v_0 " de la pregunta anterior, pero no necesariamente el doble.
 - (C) con una velocidad que es constante y mayor que la velocidad " v_0 " de la pregunta anterior durante un rato, y después con una velocidad que aumenta progresivamente.
 - (D) con una velocidad creciente durante un rato, y después con una velocidad constante.
 - (E) con una velocidad continuamente creciente.
27. Si la mujer de la pregunta 25 deja de aplicar de repente la fuerza horizontal sobre la caja, ésta:
- (A) se parará inmediatamente.
 - (B) continuará moviéndose a una velocidad constante durante un rato y después frenará hasta pararse.
 - (C) comenzará inmediatamente a frenar hasta pararse.
 - (D) continuará a velocidad constante.
 - (E) aumentará su velocidad durante un rato y después comenzará a frenar hasta pararse.

28. En la figura adjunta, el estudiante "a" tiene una masa de 95 Kg y el estudiante "b" tiene una masa de 77 Kg. Ambos se sientan en idénticas sillas de oficina cara a cara.

El estudiante "a" coloca sus pies descalzos sobre las rodillas del estudiante "b", tal como se muestra. Seguidamente el estudiante "a" empuja súbitamente con sus pies hacia adelante, haciendo que ambas sillas se muevan.



Durante el empuje, mientras los estudiantes están aún en contacto:

- (A) ninguno de los estudiantes ejerce una fuerza sobre el otro.
 - (B) el estudiante "a" ejerce una fuerza sobre el estudiante "b", pero "b" no ejerce ninguna fuerza sobre "a".
 - (C) ambos estudiantes ejercen una fuerza sobre el otro, pero "b" ejerce una fuerza mayor.
 - (D) ambos estudiantes ejercen una fuerza sobre el otro, pero "a" ejerce una fuerza mayor.
 - (E) ambos estudiantes ejercen la misma cantidad de fuerza sobre el otro.
29. Una silla de oficina vacía está en reposo sobre el suelo. Considérense las siguientes fuerzas:
- 1. Una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
 - 2. Una fuerza hacia arriba ejercida por el suelo.
 - 3. Una fuerza neta hacia abajo ejercida por el aire.
- ¿Cuál(es) de estas fuerzas actúa(n) sobre la silla de oficina?
- (A) sólo la 1.
 - (B) 1 y 2.
 - (C) 2 y 3.
 - (D) 1, 2 y 3.
 - (E) ninguna de las fuerzas. (Puesto que la silla está en reposo no hay ninguna fuerza actuando sobre ella).
30. A pesar de que hace un viento muy fuerte, una tenista consigue golpear una pelota de tenis con su raqueta de modo que la pelota pasa por encima de la red y cae sobre el campo de su oponente. Considérense las siguientes fuerzas:
- 1. Una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
 - 2. Una fuerza por el "golpe".
 - 3. Una fuerza ejercida por el aire.

¿Cuál(es) de estas fuerzas actúa(n) sobre la pelota después de que ésta deja de estar en contacto con la raqueta y antes de que toque el suelo?

- (A) sólo la 1.
- (B) 1 y 2.
- (C) 1 y 3.
- (D) 2 y 3.
- (E) 1, 2 y 3.