

**APRENDIZAJE DEL CONCEPTO FÍSICO FUERZA DE FRICCIÓN A  
PARTIR DE UNA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL SOPORTADA POR  
EL USO DEL COMPUTADOR**

**SONIA YANETH LÓPEZ RÍOS**

Trabajo presentado como requisito  
parcial para la obtención del título de  
Maestría en Educación con énfasis en  
Docencia de las Ciencias  
Experimentales

Orientador: Prof. Rodrigo Covaleda

**FACULTAD DE EDUCACIÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA  
MEDELLÍN  
2005**



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

FACULTAD DE EDUCACIÓN

DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN AVANZADA

**Acta de Aprobación de Tesis**

Entre presidente y jurados del Trabajo de Investigación “**Aprendizaje del Concepto Físico fuerza de fricción a partir de una actividad experimental soportada por el uso del computador**”, presentado por la estudiante **Sonia Yaneth López Ríos**, como requisito para optar al título de de la Maestría en Educación con énfasis en **Docencia de las Ciencias Experimentales**, hemos acordado calificar este, después de su presentación y sustentación como:

Aprobado:

No aprobado:

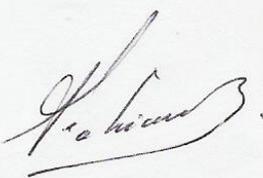
A los Trabajos de investigación que merecieren ser destacados, el jurado podrá recomendar las siguientes distinciones:

Sobresaliente:

Meritorio:

Medellín, 28 de julio de 2005

  
**Rodrigo Covaleda**  
Presidente

  
**Fabián Ríos Castrillón**  
Jurado

**Eliane Angela Veit**  
Jurado

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco

- A mi asesor, el profesor Rodrigo Covaleda por su dedicada orientación y ayuda.
- A la profesora Maria Victoria Alzate por sus pertinentes y acertadas sugerencias.
- A los profesores Carlos Alberto Duque y Nicolás Raigoza del instituto de Física de la Universidad de Antioquia, quienes me brindaron una valiosa y oportuna colaboración en la validación de los cuestionarios y de los respectivos modelos físicos construidos para este trabajo.
- A los estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, del grupo de laboratorio de Física I del semestre 2004/2, quienes colaboraron como sujetos en esta investigación.

## INDICE

<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>4. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
4.1 CORRIENTES PSICOLÓGICAS.....	7
4.2 TEORÍA DEL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DE DAVID AUSUBEL.....	8
4.2.1 Principio de Asimilación.....	9
4.2.2 Condiciones para un aprendizaje significativo.....	10
4.2.3 Diferenciación progresiva y reconciliación integradora.....	10
4.2.4 Tipos de Aprendizaje Significativo.....	11
4.3 MODELIZACIÓN ESQUEMÁTICA DE HALLOUN.....	11
4.3.1 Proceso de Modelización esquemática.....	17
4.3.1.1 Selección del modelo.....	18
4.3.1.2 Construcción del modelo.....	18
4.3.1.3 Validación del modelo.....	18
4.3.1.4 Análisis del modelo.....	18
4.3.1.5 Expansión del modelo.....	19
4.4 CONSIDERACIONES ACERCA DEL PAPEL QUE DESEMPEÑA LA EXPERIMENTACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS.....	19
4.5 ESTUDIOS REALIZADOS SOBRE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN CIENCIAS.....	21
4.5.1. Estudios que proponen el trabajo práctico de laboratorio como una actividad de investigación.....	22
4.5.2. Otras propuestas para la mejora de la actividad experimental en la clase de ciencias.....	23
4.5.3. Revisión bibliográfica de diferentes estudios donde se presentan las diversas opiniones con respecto a la actividad experimental y la forma de presentarla en el aula de ciencias.....	25

4.6 EL USO DEL COMPUTADOR EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA.....	27
4.7 REVISIÓN DE ESTUDIOS SOBRE LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE FUERZA Y FUERZA DE FRICCIÓN.....	31
<b>5. METODOLOGÍA.....</b>	<b>32</b>
5.1 ORIENTACIÓN METODOLÓGICA.....	32
5.2 ACTIVIDADES DE INTERVENCIÓN EN EL AULA.....	34
<b>6. RESULTADOS .....</b>	<b>37</b>
6.1 ESTABLECIMIENTO DE CATEGORÍAS.....	38
6.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	70
6.3 ANÁLISIS DE CASOS PARTICULARES.....	85
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>90</b>
<b>8. ANEXOS.....</b>	<b>93</b>
8.1 ORGANIZADORES PREVIOS.....	93
8.1.1 Organizador previo para el concepto de fuerza.....	93
8.1.2 Organizador previo para el concepto fuerza de fricción.....	101
8.2 CUESTIONARIOS.....	108
8.2.1 Cuestionario inicial de indagación .....	108
8.2.2 Cuestionario para el modelo de “caída libre” y “fuerzas sobre un cuerpo”..	115
8.2.3 Cuestionario para el modelo “fuerza de fricción en un plano horizontal”....	118
8.2.4 Cuestionario para el modelo “fuerza de fricción en un plano inclinado” .....	120
<b>9. REFERENCIAS.....</b>	<b>122</b>

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De acuerdo con estudios realizados por (Herrera Cabello, F y Carullon Paredes, A, 1987; Sebastia, J. M, 1985, 1987; Gil Pérez, D. y Valdés Castro, P, 1996; Jan Leysink y otros, 2002; Díaz, F y Medir, M, 1985; Tagliaferri, AA y otros, (1985); Hodson, 1994; Miguens, M y Garrett, R. M, 1991; González Eduardo, M, 1992; Barberá, O y Valdés, P, 1996) sobre la actividad experimental en la clase de física, es posible evidenciarse que esta actividad desde su orientación actual sólo permite promover la verificación y comprobación de leyes y conceptos físicos y difícilmente propende por la conceptualización. Pues el trabajo práctico de laboratorio actualmente, le ha concedido más importancia a procesos como el manejo de equipo de laboratorio, el desarrollo de habilidades en la escritura de informes y a la realización de cálculos numéricos, que a la adquisición y comprensión de conceptos físicos.

Como parte de la exploración inicial de este trabajo, se indaga tanto a profesores como a estudiantes de física acerca de la importancia de “la actividad experimental” en la enseñanza y aprendizaje de esta disciplina y la respuesta es siempre afirmativa; sin embargo, la opinión es mucho menos homogénea cuando se pregunta ¿qué se entiende por actividad experimental y qué papel desempeña en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la física? aquí no hay consenso, no lo hay siquiera sobre lo que se entiende por actividad experimental. Pues al indagar tanto a alumnos como a profesores acerca de su concepción sobre la actividad experimental en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la física, se les plantearon algunas preguntas como: ¿qué se entiende por actividad experimental?, ¿qué papel juega la actividad experimental en el proceso de enseñanza-aprendizaje?, ¿qué se pretende con la actividad experimental como está planteada actualmente?, etc. Con respecto a la primera pregunta sobre lo que se entiende por actividad experimental se obtuvieron algunas respuestas de los profesores como: “es una actividad por medio de la cual el alumno observa y

comprueba”, “es un proceso en el cual se observa y se formulan leyes y teorías”, “es la manipulación de elementos tangibles”, “es la actividad que ordena o dispone de un conjunto de elementos de tal modo que producen o reproducen un fenómeno”, entre otras. Algunas de las respuestas de los alumnos a esta misma pregunta son: “la actividad experimental son actividades para verificar y analizar las leyes y conceptos físicos”; “es una investigación”, “es una actividad que se hace por primera vez”, “es poner en práctica y verificar los conceptos teóricos”, “es utilizar las herramientas que ponen a disposición para obtener comportamientos físicos”; “es manejar los instrumentos correctamente para la toma de datos”, entre otras.

Claramente puede evidenciarse que no existe consenso con respecto a lo que se entiende por actividad experimental y mucho menos con relación al papel que dicha actividad desempeña en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la física; y estas concepciones nos permiten afirmar que la actividad experimental es llevada a cabo de una forma mecánica, mostrando más interés por el equipo de laboratorio y su manejo; y reduciendo toda posibilidad de lograr una conceptualización a través de la actividad experimental en ciencias.

La actividad experimental o trabajo de laboratorio se ha entendido como una actividad práctica de aula que pretende lograr algunos objetivos como: ilustrar el contenido de las clases teóricas, verificar leyes, ilustrar principios, enseñar técnicas experimentales y promover actitudes científicas. Ante estas concepciones, esta propuesta tiene como objetivo específico propiciar de manera explícita procesos de conceptualización. Pero tal parece que dicha actividad desde el planteamiento que se le da actualmente en nuestro contexto, poco o nada contribuye al proceso de conceptualización; y como indicio de ello, en la misma etapa de exploración inicial del presente trabajo, se hizo una indagación con 30 estudiantes de la facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia que recién aprobaban el curso de Física I y su respectivo laboratorio, por medio de un

cuestionario en el cual se presentaban situaciones físicas relacionadas con el concepto de Fuerza de fricción.

Los resultados obtenidos manifiestan que la gran mayoría de estudiantes no ha logrado un proceso de conceptualización, lo cual no les permite establecer relaciones entre el concepto fuerza de fricción con conceptos como velocidad, aceleración, equilibrio, fuerzas electromagnéticas y de contacto, fuerza normal y coeficiente de fricción; y sugieren la necesidad de reconsiderar el planteamiento actual de la actividad experimental en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias y contemplarla desde una perspectiva diferente, la conceptualización.

Con base en lo anterior, es posible plantear la siguiente pregunta como problema de investigación: **¿Cómo propiciar procesos de conceptualización de modo que los estudiantes comprendan y establezcan relaciones entre el concepto físico fuerza de fricción y los conceptos de velocidad, aceleración, equilibrio, fuerzas electromagnéticas y de contacto, fuerza normal y coeficiente de fricción, involucrados en una situación experimental soportada por el uso del computador?** Y se plantean además otras preguntas de investigación como: ¿Cuáles son las relaciones conceptuales que establecen los alumnos entre el concepto fuerza de fricción y los conceptos subyacentes a éste? Y ¿Es posible contribuir al proceso de conceptualización, estableciendo relaciones entre los conceptos físicos a través de una actividad experimental soportada por el uso del computador que involucre dichos conceptos?

## 2. OBJETIVOS

### GENERAL

Propiciar procesos de conceptualización en la clase de física, mediante el desarrollo de una propuesta de actividad experimental en el aula, soportada por el uso del programa Modellus 2.5; la cual involucra el concepto físico fuerza de fricción relacionado con conceptos subyacentes tales como velocidad, aceleración, equilibrio, fuerzas electromagnéticas y de contacto, fuerza normal y coeficiente de fricción.

### ESPECÍFICOS

- ❖ Identificar los conceptos previos pertinentes disponibles en la estructura de conocimiento de los alumnos que cursan Física I y Laboratorio de Física I, el grado de apropiación de estos conceptos y las relaciones que pueden establecer entre ellos con respecto al concepto físico “fuerza de fricción”; por medio de un cuestionario de indagación.
  
- ❖ Estimar el desarrollo del proceso de Aprendizaje Significativo y el grado de apropiación por parte de los estudiantes, de los conceptos físicos estudiados a partir de una actividad experimental soportada por el uso del computador, por medio de la cual se presenta un modelo físico como material potencialmente significativo para el estudio del concepto de fuerza de fricción.
  
- ❖ Diseñar e implementar una propuesta de intervención de aula para el aprendizaje de conceptos físicos por medio de la actividad experimental, haciendo uso del software Modellus 2.5.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Numerosas investigaciones sobre la actividad experimental en la clase de física, permiten evidenciar que dicha actividad desde su planteamiento actual, poco o nada contribuye a la conceptualización y está más orientada a promover la verificación y comprobación de leyes y conceptos físicos, concediéndole más importancia a procesos como el manejo de equipo de laboratorio, el desarrollo de habilidades en la escritura de informes y a la realización de cálculos numéricos, que a la adquisición y comprensión de conceptos físicos.

En una etapa preliminar de este proyecto, se aplicó a un grupo de estudiantes un cuestionario de indagación sobre el concepto de fuerza de fricción; en el cual se plantearon una serie de situaciones y preguntas relacionadas con el concepto; y cuyos resultados demuestran que la gran mayoría no ha logrado un proceso de conceptualización, de dicho concepto (fuerza de fricción), ni de conceptos relacionados con éste, como velocidad, aceleración, equilibrio, fuerzas electromagnéticas y de contacto, fuerza normal y coeficiente de fricción.

Estos resultados, al igual que otros que ofrece la literatura de educación en física, sugieren la necesidad de reconsiderar el planteamiento actual de la actividad experimental en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, que necesariamente va de la mano con una actividad teórica que busca contribuir al desarrollo de dicho proceso; y por ello es menester contemplar dicha actividad experimental desde una perspectiva diferente, la conceptualización, es decir, la comprensión e interpretación de teorías, leyes y conceptos físicos.

Con la realización de este trabajo, se pretende propiciar procesos de conceptualización a través del trabajo experimental; ejecutando una actividad complementaria de enseñanza en la que se hace uso de una herramienta computacional para el aprendizaje de conceptos físicos en el aula de clase y

visualizándola como otra de las tantas posibilidades de abordar la actividad experimental en la enseñanza de la física. Se espera además, poder extender los resultados obtenidos en este trabajo de investigación al desarrollo de un conjunto de actividades de este tipo no sólo para el curso experimental de física I sino para otros cursos de física tanto a nivel de bachillerato como a nivel universitario.

Además, otra de las expectativas que se puede vislumbrar a partir de la planeación, diseño y ejecución de esta propuesta de intervención en el aula, es la posibilidad de realizar futuras investigaciones que consideren la actividad experimental en la enseñanza de la física como un tema sobre el cual queda mucho por conocer e investigar con el fin de aprovechar al máximo su potencial como proceso fundamental en el aprendizaje de conceptos físicos.

#### **4. MARCO TEÓRICO**

El soporte teórico de este trabajo reside en la Teoría del Aprendizaje Significativo de David Ausubel; una teoría enmarcada en las teorías psicológicas cognitivas con un enfoque constructivista; basado en el supuesto de que los seres humanos construyen su propia concepción de la realidad y del mundo en que viven. Y en la teoría de la modelación esquemática de Halloun como un proceso cognitivo para la construcción y empleo del conocimiento científico. Y para hacer una breve descripción en relación con el estado actual del conocimiento del problema, se tienen en cuenta algunas consideraciones acerca del papel que desempeña la experimentación en la Enseñanza de las Ciencias, estudios realizados sobre la actividad experimental en ciencias, el uso del computador en la enseñanza de la física y la revisión de estudios sobre la enseñanza del concepto de fuerza y fuerza de fricción.

## 4.1 CORRIENTES PSICOLÓGICAS

A grandes rasgos, el siglo XX se caracterizó por el dominio de dos corrientes psicológicas de aprendizaje muy representativas, cuyas teorías son: el conductismo y la psicología cognitiva. La influencia inicial del conductismo en la psicología fue omitir el estudio de los procesos mentales, las emociones y los sentimientos, sustituyéndolo por el estudio objetivo de los comportamientos de los individuos en relación con el medio. La descripción y explicación de los estados y contenidos de la conciencia debían ser reemplazados por la predicción y eventualmente el control de la conducta.

En el conductismo se postularon los principios de condicionamiento y refuerzo para describir cómo se producía el aprendizaje. Los conceptos, por ejemplo, son adquiridos a través de cadenas asociativas simples entre un estímulo y una respuesta. Esta corriente psicológica se rige por principios como: el condicionamiento operante; es decir, mediante mecanismos de estímulo-respuesta-refuerzo, donde las acciones que obtienen un refuerzo positivo tienden a ser repetidas; el ensayo y error con refuerzos y repetición y el asociacionismo.

Para los conductistas, el aprendizaje se integra a nivel de los mecanismos de reacción; consideran que se aprende mediante el ensayo y error. Es decir, durante el aprendizaje el sujeto actúa de tal forma que descarta las respuestas que no permiten resolver el problema, por otra parte, fija las respuestas que son eficientes hasta dar con la solución adecuada.

El cognitivismo aparece en la década de los sesenta, y recogiendo algunas ideas del conductismo pretende dar una explicación más detallada de los procesos de aprendizaje. La psicología cognitiva considera al aprendizaje no como el establecimiento de vínculos o conexiones entre estímulos y respuestas, sino como la formación o modificación de estructuras cognoscitivas; es considerada como

una rama de la psicología que estudia los procesos centrales del ser humano, como la organización del conocimiento, el procesamiento de información, el pensamiento, entre otros.

Para los cognitivistas, el aprendizaje involucra las percepciones, los pensamientos y todos los procesos cognoscitivos. El aprendizaje ocurre en forma súbita y repentina; ante una situación problema el sujeto la percibe, la analiza y la reorganiza hasta que de pronto encuentra la solución adecuada.

Como una teoría psicológica cognitivista, con un enfoque constructivista que considera el aprendizaje como un proceso personal de construcción de nuevos conocimientos a partir de los saberes previos, surge la teoría del Aprendizaje significativo de David Ausubel; quien postula que el aprendizaje debe ser significativo, no memorístico, y para ello los nuevos conocimientos deben relacionarse con los conocimientos previos que posea el aprendiz.

#### 4.2 TEORÍA DEL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DE DAVID AUSUBEL

Ausubel (2000) en la formulación de su teoría, concibe el aprendizaje significativo como un proceso donde una nueva información (estructura de conocimiento organizada, clara y diferenciada) interactúa con aspectos relevantes de la estructura cognitiva del individuo que aprende; o sea con conceptos, ideas, proposiciones ya existentes en su estructura de conocimiento (o de significados) que se caracteriza por su grado de claridad, estabilidad y diferenciación. Esos aspectos relevantes de la estructura cognitiva que sirven de anclaje para la nueva información reciben el nombre de subsunores o subsumidores. Esto implica que, las nuevas ideas, conceptos y proposiciones pueden ser aprendidos significativamente en la medida en que otras ideas, conceptos o proposiciones relevantes estén adecuadamente claras y disponibles en la estructura cognitiva del

individuo y que funcionen como un punto de "anclaje" a las primeras. Ausubel resume este hecho en el epígrafe de su obra de la siguiente manera: "Si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, enunciaría este: el factor más importante que influye en el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe. Averígüese esto y enséñese consecuentemente".

Ausubel (2000) sostiene que el Aprendizaje Significativo es un proceso activo (contrariamente a quienes opinan que este tipo de aprendizaje es memorista o pasivo); y que su núcleo, su esencia es el principio de asimilación.

#### 4.2.1 Principio de Asimilación

El principio de asimilación consiste en que el nuevo conocimiento interacciona con el conocimiento previo y, en cierta forma, se ancla en él; originándose una reorganización de los nuevos y antiguos conocimientos y significados, para formar una estructura cognitiva diferenciada. Tal principio es el mecanismo humano, por excelencia, para adquirir la gran cantidad de información que constituye cualquier cuerpo de conocimiento.

El proceso de asimilación contempla dos etapas consecutivas; en la primera se da el proceso de aprendizaje significativo en el cual los nuevos significados son adquiridos a través de la interacción de los nuevos conocimientos con los conceptos o proposiciones previas, existentes en la estructura cognitiva del que aprende y en la segunda etapa se da la asimilación obliteradora u olvido que es un proceso inmediatamente posterior al proceso de aprendizaje significativo y que consiste en una pérdida espontánea y gradual de la disociabilidad de los nuevos significados (adquiridos mediante esta interacción) de sus ideas de anclaje.

#### 4.2.2 Condiciones para un aprendizaje significativo

Para que el aprendizaje sea significativo, éste requiere una disposición del alumno para relacionar sustancial y no arbitrariamente el nuevo material de aprendizaje presentado, con su estructura cognitiva preexistente y; además, requiere que el material de aprendizaje sea un material potencialmente significativo; el cual supone un significado lógico; es decir, que el material de aprendizaje pueda ser relacionado de manera no arbitraria y sustancial con alguna estructura cognoscitiva específica del alumno. Un material con significado lógico debe caracterizarse por una organización de acuerdo a la disciplina de conocimientos que reconozca los principios de diferenciación progresiva y reconciliación integradora.

La condición del material potencialmente significativo supone a la vez una disponibilidad de ideas de anclaje pertinentes en la estructura cognitiva del aprendiz con las que el material potencialmente significativo se pueda relacionar; y a partir de esta relación que Ausubel denomina interacción, el significado potencial del nuevo material de aprendizaje se convierte en contenido cognoscitivo nuevo como resultado del aprendizaje significativo; y en este preciso momento se puede afirmar que el material ha adquirido un significado psicológico; es decir, el nuevo material de aprendizaje se ha reformulado en función del vocabulario y del fondo intelectual idiosincrásico de la persona concreta que aprende.

#### 4.2.3 Diferenciación progresiva y reconciliación integradora

El aprendizaje significativo exige un tipo de enseñanza que reconozca los principios de diferenciación progresiva y de reconciliación integradora; entendiendo por diferenciación progresiva el proceso en el cual el aprendizaje, la retención y la organización de la materia es de naturaleza jerárquica, yendo de

arriba hacia abajo en función del nivel de abstracción, generalidad e inclusividad. El principio de reconciliación integradora, en cambio, consiste en encontrar diferencias y similitudes entre los conceptos y significados presentados al alumno y a partir de éstas, establecer relaciones e integrar (por así decirlo) tales conceptos y significados en ideas más generales e inclusivas que puedan establecerse en la estructura cognitiva del alumno. Finalmente, la diferenciación progresiva y la reconciliación integradora son procesos estrechamente relacionados que se dan a medida que el aprendizaje significativo ocurre.

#### 4.2.4 Tipos de Aprendizaje Significativo

Es claro que el aprendizaje significativo supone la adquisición de nuevos significados y éstos pueden ser palabras, conceptos o proposiciones que son adquiridos mediante el proceso de aprendizaje significativo. Ausubel distingue tres tipos de aprendizaje significativo a partir de los cuales se adquieren los diferentes significados: el aprendizaje representacional, el aprendizaje de conceptos y el aprendizaje proposicional.

Según la manera como se relacionan los nuevos significados (palabras, conceptos o proposiciones) con los significados ya pertinentes en la estructura cognitiva de quien aprende; Ausubel distingue tres tipos de aprendizaje; aprendizaje subordinado (derivativo y correlativo), aprendizaje superordenado o de orden superior y aprendizaje combinatorio.

#### 4.3 MODELACIÓN ESQUEMÁTICA DE HALLOUN

La modelación esquemática de Halloun es una teoría epistemológica evolucionando, enmarcada en una investigación cognitiva. En ella se admite que

los modelos son los mayores componentes del conocimiento de una persona, y que la modelación es un proceso cognitivo mayor para la construcción y empleo del conocimiento en el mundo real. La investigación de Ibrahim Halloun (1996) se centra en el principio de que, en Física, el aprendizaje del alumno será tanto más significativo cuanto mayor sea su capacidad de modelar. Este autor argumenta que la Física es una ciencia de modelos y la modelación es una actividad sistemática de los físicos para construir y aplicar el conocimiento científico. Aprender Física supone, entonces, aprender a jugar el “juego de la modelación”.

Según Halloun, cuando los científicos se proponen estudiar un sistema físico, se concentran sobre un número limitado de características que consideran primarias en la estructura y/o comportamiento de estos sistemas, es decir, pertinentes al propósito de su estudio. Ellos construyen un modelo conceptual (por ejemplo, uno matemático) y/o uno físico (un artefacto material). Analizan el modelo así construido y hacen inferencias acerca de los sistemas físicos representados por el modelo. El proceso completo es usualmente gobernado por alguna teoría de la física.

Los modelos científicos son esquemas en el sentido que, como otros esquemas científicos (conceptos, leyes y otras estructuras conceptuales compartidas por los científicos), son (a) reducidos a un número limitado de características primarias que son casi independientes de las idiosincrasias de científicos individuales y (b) desarrollados y aplicados siguiendo esquemas de modelación genéricos, es decir, planos sistemáticos de interacción con el mundo real que le permita a uno construir y emplear no solo algunos modelos de interés sino todas las clasificaciones de nuevos esquemas.

El conocimiento necesario para la comprensión real de un modelo conceptual científico puede ser resumido en cuatro dimensiones: dominio, composición, estructura y organización. La composición y estructura “definen” el

modelo. El dominio y la organización sitúan al modelo en la teoría a la cual pertenece.

*a) Dominio*

El dominio de un modelo consiste de un conjunto de sistemas físicos (llamados los referentes del modelo) los cuales comparten estructuras comunes y/o comportamientos característicos que el modelo puede ayudarnos a describir, explicar y/o predecir en algunos aspectos y a un cierto grado de aproximación y precisión. El modelo podría subsecuentemente permitirnos controlar estos referentes y diseñar unos nuevos.

*b) Composición*

Cuando se modela una situación física, los científicos tienden a agrupar los objetos involucrados en los sistemas finitos. Cada sistema incluiría una o más entidades físicas que exhiben propiedades de interés específico y que interactúan unas con otras, así como con algunas otras entidades físicas afuera del sistema delineado. Las entidades físicas dentro y fuera del sistema pueden ser representadas en el correspondiente modelo por entidades conceptuales que pertenecen al contenido y al ambiente del modelo, respectivamente, y que son caracterizadas por descriptores apropiados. El contenido y el ambiente junto con el respectivo descriptor de objeto y descriptor de interacción hacen la composición del modelo.

- Contenido: El contenido de un modelo consiste de objetos (más específicamente de objetos conceptuales) representando objetos físicos dentro de sus referentes. Un modelo o sistema físico puede ser (a) simple: si consiste de sólo un objeto o, (b) compuesto: si consiste de más de un objeto.

- Ambiente: El ambiente de un modelo consiste de agentes (objetos conceptuales) que representan entidades físicas fuera de sus referentes que interactúan con entidades dentro. Una entidad fuera de un sistema físico es representada por un agente en el correspondiente modelo sólo si ésta afecta significativamente lo que está siendo estudiado.
- Descriptor de objeto: un descriptor es una propiedad conceptual (una variable en un modelo matemático, por ejemplo) que representa una propiedad física específica de entidades dentro o fuera de los referentes de un modelo. Un descriptor de objeto es un atributo característico de un objeto en el contenido de un modelo. Este es una propiedad conceptual del objeto que representa en algunos aspectos una propiedad física intrínseca o de estado de entidades dentro de un sistema físico representado por el modelo.

Un descriptor de objeto puede de esta manera ser un descriptor intrínseco o un descriptor de estado. Un descriptor intrínseco o parámetro, representa una propiedad física que es asumida para ser constante (por ejemplo, masa o momento de inercia de un objeto rígido). Un descriptor de estado, o variable representa una propiedad física que puede variar en el tiempo (por ejemplo, posición o energía cinética de un objeto en movimiento)

- Descriptor de interacción: un descriptor de interacción es una característica mutua compartida por un objeto y un agente en el modelo. El representa una interacción física entre una entidad dentro de un referente del modelo y una fuera (por ejemplo, fuerza y energía potencial).

### *c) Estructura*

La estructura de un modelo está constituida por las relaciones existentes entre los descriptores que representan propiedades físicas de los referentes del modelo. Estas relaciones comprenden tres tipos de estructura: geométrica, interactiva y comportamental. La estructura geométrica se refiere a la configuración espacial de objetos y agentes. Tal estructura es a menudo expresada en términos de la posición de objetos individuales y agentes en un marco de referencia dado y/o de relaciones no temporales entre las posiciones relativas de las varias partes de entidades individuales.

La estructura interactiva se refiere a leyes no temporales expresadas en leyes de interacción entre un descriptor de interacción y un descriptor de objeto (por ejemplo, la ley universal de gravitación de Newton). La estructura comportamental se refiere a las relaciones espaciotemporales que describe o explica el comportamiento bajo condiciones específicas de objetos individuales en el contenido de un modelo. Estas relaciones son expresadas en dos tipos de leyes: leyes de estado y causales.

Las leyes de estado expresan relaciones entre propiedades de un determinado objeto y describen el cambio de estado del mismo (por ejemplo, las ecuaciones del movimiento). Las leyes causales expresan relaciones entre una propiedad de interacción y propiedades de estado de un objeto, y explican el cambio de estado de un objeto (por ejemplo, las leyes de Newton de dinámica y las leyes de conservación).

Un modelo es llamado descriptivo cuando no tiene una estructura interactiva y cuando su estructura comportamental es expresada sólo en términos de leyes de estado pero no leyes causales. El modelo es llamado explicativo cuando tiene una estructura interactiva y/o cuando su estructura comportamental

es expresada sólo en términos de leyes causales pero no leyes de estado. Un modelo comprensivo es uno que es tanto descriptivo como explicativo, es decir, que incluye todos los tipos de estructura. Un sistema puede ser representado por cualquiera de los tres tipos de modelo dependiendo del propósito del estudio.

#### *d) Organización*

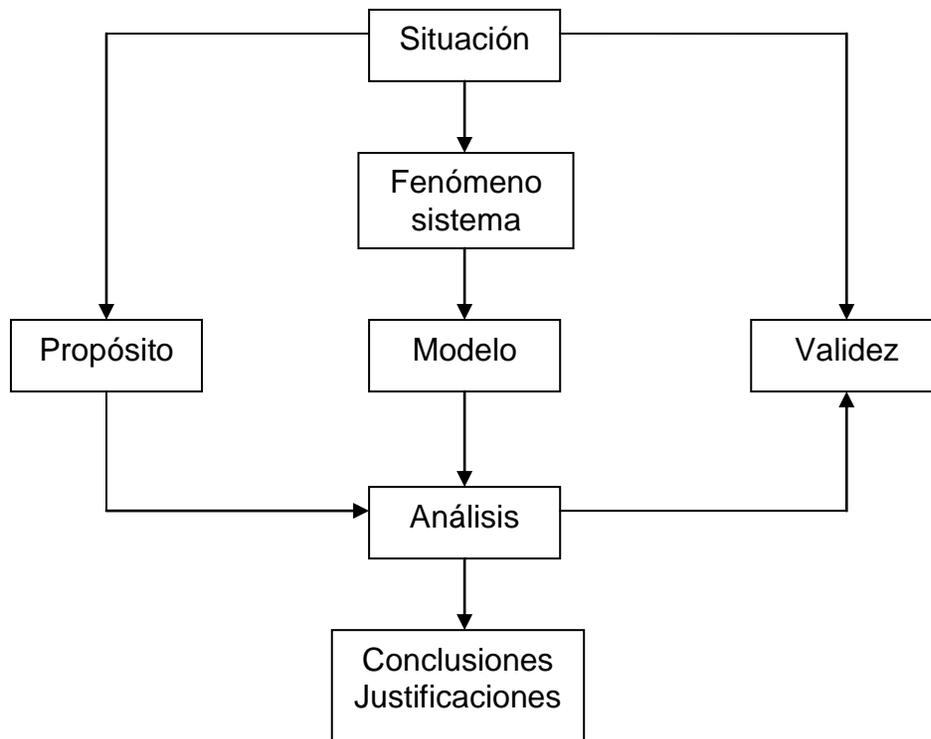
Modelos pertenecientes a la misma teoría pueden ser clasificados en grupos y subgrupos (o familias) de modelos siguiendo criterios convenientes. Cada grupo incluye una familia especial de modelos llamados modelos básicos. Un modelo básico es a menudo un simple pero comprensivo modelo que describe y explica un fenómeno físico elemental.

Los modelos básicos son indispensables para (a) un aprendizaje significativo de conceptos individuales y principios de una teoría científica dada y de reglas de modelación; y (b) el desarrollo más completo de modelos.

Además de criterios de clasificación, cada teoría contiene leyes y reglas de organización que especifican (a) como los modelos se relacionan dentro de una familia dada unos con otros y esos en otras familias, y consecuentemente (b) como combinar diferentes modelos para estudiar situaciones físicas que están fuera del dominio comprensivo de modelos disponibles.

#### 4.3.1 Proceso de Modelación esquemática

Cada profesor debería guiar a los estudiantes a desarrollar información contenida por preguntas de cuestiones específicas adaptadas al estado de conocimiento particular de los respectivos estudiantes.



**FIGURA 1.** Representación esquemática del proceso de Modelación (Hestenes citado en Halloun, 1996)

La figura 1 muestra el proceso de modelación esquemática que puede ser sistemáticamente aplicado en el contexto de una teoría conveniente para la construcción de nuevos modelos, refinándolos y empleándolos en situaciones específicas (situaciones del mundo real, experimentos de laboratorio o problemas de libros de texto). (Hestenes, 1995)

El primer paso en el proceso de modelación esquemática consiste en identificar y describir la composición de cada sistema físico en la situación y el respectivo fenómeno. Paralelamente se debe identificar también el propósito y la validez de los resultados esperados (incluyendo la precisión de los resultados). Siguiendo estos pasos importantes para escoger la teoría apropiada en el contexto que el modelo debe seguir, un modelo apropiado es seleccionado y construido. El modelo es entonces procesado y analizado, mientras está siendo continuamente validado. Siguiendo este análisis, las conclusiones apropiadas son inferidas sobre el sistema en cuestión y los resultados son justificados en función del propósito de modelación y de validez requerida (Halloun, 1995; Hestenes, 1995).

En la idea de “instrucción adecuada” entra la modelación esquemática, o proceso de modelación tal como lo propone Halloun, cuyos cinco estadios son:

4.3.1.1 *Selección del modelo:* (identificación y descripción de la composición de cada sistema físico de la situación física y del respectivo fenómeno);

4.3.1.2 *Construcción del modelo:* El modelador procura construir modelos (conceptual o físico; en el caso de la resolución de problemas, los alumnos son guiados en la construcción de un modelo conceptual matemático);

4.3.1.3 *Validación del modelo:* Este estadio puede ser simultáneo con la construcción del modelo considerando esencialmente la consistencia interna del modelo;

4.3.1.4 *Análisis del modelo:* Una vez que el modelo ha sido validado, un análisis puede ser hecho en el sentido de verificar si todos los propósitos están siendo contemplados en el modelo que está siendo construido. En el caso de la resolución de problemas, consiste principalmente en ejecutar

el modelo matemático, obtener respuestas a los problemas e interpretarlas.

4.3.1.5 *Expansión del modelo:* Una vez que un modelo fue analizado y completamente validado, algunas implicaciones pueden ser inferidas en relación al propósito original y a otros propósitos de validación. Esto ayuda al modelador a desarrollar sus habilidades de transferencia. Una expansión de modelos incluye:

- Uso de un modelo dado para describir, explicar y/o predecir nuevas situaciones físicas pertenecientes al sistema en estudio.
  
- Inferir implicaciones para otros sistemas físicos de referencia del modelo.
  
- Extrapolar el modelo para una construcción de otros nuevos modelos.

Una expansión de modelos también incluye actividades reflexivas, donde el modelador examina y refina su conocimiento en términos de la nueva experiencia de modelación.

#### 4.4 CONSIDERACIONES ACERCA DEL PAPEL QUE DESEMPEÑA LA EXPERIMENTACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Con respecto a las consideraciones acerca del papel de la experimentación en la enseñanza de las ciencias, según Hodson (1994), “La práctica de la ciencia es el único medio de aprender a hacer ciencia y de experimentar la ciencia como un acto de investigación”. Pero al respecto, existe la suposición general de que el trabajo práctico equivale necesariamente a trabajar sobre un banco de laboratorio y que este tipo de trabajo siempre incluye la experimentación (Hodson 1994). Es

de considerar que existe una amplia gama de posibilidades de abordar la actividad experimental, lo que hace que ésta haya sido objeto de investigación a lo largo de varios años.

La clase de ciencias nos posibilita embarcar al estudiante en una actividad que le permita poner a prueba sus predicciones, que le obligue a imaginar interpretaciones y explicaciones alternativas, que le de la oportunidad de ver derrotados sus supuestos ante el resultado de la experiencia. Sólo así, en la difícil tarea de controlar variables, de corregir montajes, de tener en cuenta los errores de medida y de reflexionar sobre lo mismo desde perspectivas diferentes, es posible adquirir un verdadero sentido de lo que es una ciencia natural.

Muchas de las dificultades que se dan en cuanto a la ejecución del trabajo práctico, son debidas a la manera irreflexiva en que los diseñadores de planes de estudio y los profesores hacen uso de éste. En pocas palabras, es sobreutilizado e infrautilizado. Es usado en demasía en el sentido de que los profesores presentan las prácticas como algo normal y no como algo extraordinario, con la idea de que servirá de ayuda para alcanzar todos los objetivos del aprendizaje. Es infrautilizado en el sentido de que solo en contadas ocasiones se explota completamente su auténtico potencial. Por el contrario, gran parte de las prácticas que se ofrecen están mal concebidas, son confusas y carecen de valor real (Hodson 1994)

“En resumidas cuentas, el trabajo práctico, tal como se lleva a cabo en la actualidad, plantea demasiadas barreras innecesarias que dificultan el aprendizaje” (Hodson 1994); estas barreras son lo que Hodson denomina interferencias y suelen manifestarse, por ejemplo, cuando se le pide a los estudiantes frecuentemente que comprendan la naturaleza del problema y el procedimiento experimental, que adopten la perspectiva teórica relacionada con el tema de estudio, que lean, asimilen y sigan las instrucciones del experimento, que manejen el aparato en cuestión, que recopilen los datos obtenidos, que

reconozcan la diferencia entre los resultados conseguidos y los resultados que “deberían haberse obtenido” entre otras. Y son precisamente estas barreras las que no posibilitan el aprendizaje de conceptos científicos a partir de la actividad experimental.

#### 4.5 ESTUDIOS REALIZADOS SOBRE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN CIENCIAS

A lo largo de varios años de investigación, la actividad experimental en física ha sido objeto de ésta. En este sentido, se llevó a cabo una revisión de literatura en algunas revistas referentes al área de Enseñanza de las ciencias en busca de estudios que involucraran el trabajo experimental en el aula de clase. Fueron consultadas algunas revistas como: International Journal Science Education, Science Education International, American Journal of Physics, Physics Education, Investigación y ciencia y Enseñanza de las Ciencias.

Varios estudios fueron encontrados acerca de la actividad experimental, de su papel en el proceso de Enseñanza-aprendizaje de la Física y de diferentes propuestas metodológicas diseñadas para contribuir a la optimización del trabajo práctico de laboratorio. Sin pretender abordar esta problemática en forma global, es posible hacer una contribución de la misma a partir de la revisión de algunos estudios hechos; y además me permito clasificar los trabajos realizados en tres categorías: la primera tiene relación con el tipo de estudios en los que se propone abordar el trabajo práctico de laboratorio como una actividad de investigación, en la segunda categoría, incluyo otros estudios en los que se presentan diferentes propuestas de intervención en la actividad experimental; y por último, en la tercera categoría presento los trabajos en los cuales se lleva a cabo una revisión bibliográfica de diferentes estudios donde se presentan las diversas opiniones con

respecto a la actividad experimental y la forma de presentarla en el aula de ciencias.

#### *4.5.1. Estudios que proponen el trabajo práctico de laboratorio como una actividad de investigación:*

Herrera Cabello, F y Carullon Paredes, A (1987) afirman que es muy común que los alumnos de las facultades de ciencias terminen con una pobre formación experimental en Física y bastante desligada de la realidad científica del momento, considerando una causa de esto, la infravaloración del laboratorio dentro de la actividad docente. En su estudio presentan una experiencia de laboratorio con material convencional, intentando poner a los alumnos en contacto con algunos aspectos de la investigación actual. A partir de esta experiencia obtuvieron como resultados: que los alumnos eran capaces de realizar medidas bastante aceptables, formular hipótesis y aprender a contrastarlas con los datos experimentales y proponer métodos de medida adecuados a los métodos de que disponían.

Gil Pérez, D. y Valdés Castro, P. (1996) en su artículo “La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo” presentan de manera minuciosa un ejemplo de la transformación de un trabajo práctico en ciencias de la usual y simple receta a una situación problemática abierta capaz de favorecer la investigación en el alumno. La metodología propuesta por ellos es un modo de organizar el proceso de enseñanza-aprendizaje donde se aborda con los alumnos el estudio de situaciones problemáticas, favoreciendo la construcción de respuestas a los interrogantes formulados por éstos. Esta metodología de reorientación del trabajo práctico está relacionada con la realidad y esto favorece la motivación y la contextualización de los aprendizajes, a la vez que aumenta su funcionalidad y propicia su aplicación a otras situaciones distintas de las estudiadas en el aula.

#### 4.5.2. *Otras propuestas para la mejora de la actividad experimental en la clase de ciencias:*

Jan Leysink y otros (2002) en su artículo “Productive Confusion in the Laboratory” plantean que los experimentos llevados a cabo por los alumnos para la comprensión de la teoría requiere el establecimiento de un vínculo entre dos mundos: el de las ideas y las teorías y el mundo de las observaciones y las mediciones, a través del equipo de laboratorio. Sin embargo, concluyen que los estudiantes sólo manipulan el equipo de laboratorio y no consiguen manipular ideas. Y sobre la hipótesis de llevar al estudiante al mundo de las teorías, los conceptos y las ideas, presentan la actividad experimental por medio de la creación de alguna confusión, que puede ser creada a través de pequeños cambios en las instrucciones y el equipo para experimentos comunes.

Díaz, F y Medir, M (1985) en su artículo “Validez de los informes sobre trabajos prácticos de Física a nivel Universitario”, sabiendo que la enseñanza de la física se imparte normalmente mediante sesiones de explicación teórica, seminarios de problemas y trabajos prácticos; se proponen examinar los resultados de esta metodología en la adquisición de los diferentes conceptos físicos. Para ello, plantean una actividad metodológica con un grupo de alumnos, en la cual éstos reciben dos horas de exposición teórica sobre el concepto de “resonancia”, dos horas de seminario de problemas y un trabajo práctico. Según los resultados obtenidos afirman que el análisis de los informes no refleja la presencia de conceptualización basada en la racionalización de la observación cotidiana de fenómenos naturales y proponen incluir en el proceso docente una etapa previa a la exposición teórica del concepto, consistente en una visualización demostrativa del carácter natural del mismo.

En un reporte de investigación presentado por Tagliaferri, AA y otros (1995) en su artículo “Influencia del nivel cognoscitivo en el desempeño en el laboratorio”

da cuenta de la realización de una práctica de óptica con alumnos que cursaban tercer semestre de física básica. Primero se lleva a cabo un estudio cualitativo, luego la presentación de la teoría y por último el trabajo de laboratorio. Se pudo observar que un porcentaje más bien alto de alumnos no controla aún correctamente las variables que intervienen en el estudio del fenómeno, ni pueden describir correctamente lo observado en el laboratorio.

Sebastia, J. M (1985) en su artículo “las clases de laboratorio de Física: una propuesta para su mejora” expone la necesidad de revisar los propósitos de las clases de laboratorio y presenta una experiencia de diseño no tradicional, afirmando que el punto de partida es determinar con precisión los objetivos, las metas que pretenden alcanzarse en las clases de laboratorio. Sugiere además que las clases de laboratorio debieran estar orientadas a presentar la física como un proceso de indagación de la naturaleza, como una actividad de investigación.

El trabajo de Hodson (1994) expuesto en su artículo “Hacia un enfoque más crítico del trabajo de Laboratorio”, que es referido por la gran mayoría de autores que indagan acerca del planteamiento de la actividad experimental en la enseñanza de las ciencias; revisa la hipótesis que justifica los beneficios educativos del trabajo práctico y hace una inspección crítica de su uso y mal uso en la Educación en Ciencias. En su trabajo hace alusión a que muchas de las dificultades que presenta el trabajo práctico en la actualidad, se deben a la manera irreflexiva en que los diseñadores de planes de estudio y los profesores hacen uso de él. Hodson presenta como propuesta el uso de simulaciones con ordenador, afirmando que, a diferencia de los experimentos directos, permite al profesor adaptar la experiencia de aprendizaje precisamente a los objetivos de enseñanza/aprendizaje, en lugar de lo que es más habitual: adaptar los objetivos de aprendizaje a las complejidades de la realidad; y concluye afirmando que el trabajo de laboratorio y las investigaciones en el terreno tienen un importante

papel que desempeñar, pero sólo cuando tales actividades tengan una base teórica y sean bien entendidas por el estudiante.

*4.5.3. Revisión bibliográfica de diferentes estudios donde se presentan las diversas opiniones con respecto a la actividad experimental y la forma de presentarla en el aula de ciencias:*

Sebastia, J. M (1987) en su artículo “¿Qué se pretende en los laboratorios de Física universitaria?” muestra los resultados de un análisis global hecho sobre los puntos de vista de estudiantes y profesores sobre los objetivos del laboratorio de Física en la universidad que le permite concluir: los profesores opinan que el principal propósito del laboratorio es ilustrar el contenido de las clases de física, enseñando leyes y principios, sirviendo de ayuda en el aprendizaje de conceptos físicos, reforzando las explicaciones. Y sin embargo, es el que a su juicio menos se está logrando en la situación actual.

Miguens, M y Garrett, R. M (1991) en su artículo “Prácticas en la enseñanza de las ciencias: problemas y posibilidades” muestran que el amplio entendimiento que se tiene acerca de las prácticas de laboratorio requiere una clarificación del significado de los varios tipos de actividades prácticas, que son diferentes en naturaleza y pueden ser empleadas en distintas formas y utilizadas para lograr diversos objetivos. Miguens y Garrett hacen una revisión bibliográfica en la que presentan resultados de estudios como por ejemplo, el de Beatty y Woolnough (1982) quienes hallaron que el trabajo práctico de laboratorio es considerado por los profesores más como una actividad relacionada con el desarrollo de habilidades que por su naturaleza son específicamente prácticas; y menos como un método de ampliar el conocimiento teórico o de comprenderlo. Como conclusiones obtienen que: los alumnos necesitan unir las prácticas a su estructura conceptual, sino, las recordarán como una serie de experiencias

desconectadas (Driver, 1983). Además, concluyen que se necesita volver a pensar el papel, naturaleza y objetivos de las prácticas en nuestras clases.

González Eduardo, M. (1992) en su artículo “¿Qué hay que renovar en los trabajos prácticos?” presenta y analiza algunas orientaciones y aportaciones que se encuentran en las diferentes alternativas renovadoras de los trabajos prácticos. Entre las aportaciones críticas se tienen: Moreira (1980): “muchos estudiantes realizan un experimento sin tener una idea clara de lo que están haciendo; ellos no son capaces de identificar las cuestiones básicas, los conceptos y los fenómenos involucrados en el experimento, y además, no ven la experimentación como un proceso de construcción del conocimiento”. Buckmaster (1986), González y Frascino (1989) muestran que en algunas experiencias es posible constatar una combinación entre logros muy positivos; sobre todo en el aprendizaje de habilidades y en la motivación, y avances mucho más reducidos en los aspectos conceptuales y en los metodológicos.

Barberá, O y Valdés, P (1996) en su artículo “El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión” hacen un análisis sobre la eficacia del trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias y presentan una serie de opiniones con respecto a los objetivos que se persiguen con el trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias, a partir de las cuales Hodson (1994) clasifica en las siguientes categorías las respuestas específicamente relacionadas con la enseñanza de las ciencias que proporcionamos los profesores acerca de los objetivos de los trabajos prácticos: 1. Para motivar, ya que estimulan el interés y son entretenidas, 2. Para desarrollar actitudes científicas, 3. Para mejorar el aprendizaje del conocimiento científico, 4. Para adiestrarse en el método científico, 5. Para enseñar las técnicas de laboratorio, 6. Para desarrollar la capacidad de llevar a cabo investigaciones científicas y obtener experiencia de ello. Finalmente algunas soluciones plausibles al problema son sugeridas, tales como la

caracterización de los objetivos educativos de las prácticas y/o el uso de una metodología de evaluación cualitativa.

#### 4.6 EL USO DEL COMPUTADOR EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

En las últimas décadas el uso del computador ha tenido gran relevancia en la enseñanza de la física, principalmente en el desarrollo del trabajo práctico en el laboratorio; reflejo de ello son la cantidad de estudios que se han realizado sobre la influencia del uso del computador en el aprendizaje de conceptos físicos. La utilización de este instrumento como herramienta del laboratorio de física brinda varias posibilidades que van desde el tratamiento de cálculos, gráficas, como instrumento de medición, como instrumento de adquisición y procesamiento de datos, hasta la realización de simulaciones de fenómenos físicos.

Al respecto, Araujo & Veit (2004), en su artículo “Uma revisão da literatura sobre estudos relativos a tecnologias computacionais no ensino da Física”, realizan el análisis de 109 artículos sobre el uso de tecnologías computacionales en la enseñanza de la física en el nivel medio y universitario; agregando que a pesar de que los efectos de las tecnologías computacionales no han sido sentidos dentro del aula de clase, su importancia en la práctica científica es incuestionable.

Estos 109 artículos fueron publicados entre 1990 y 2003 en revistas tradicionales de investigación en enseñanza de la física como: American Journal of Physics, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Cognition and Instruction (de 1993-2003), Computers & Education, Enseñanza de las Ciencias, International Journal of Science Education, Journal of Research in Science Teaching, Science Education, Journal of Computer Assisted Learning (de 1997-2003), Journal of Interactive Learning Research, Research in Science & Technological Education (de 1996-2003), Research in Science Education (de 2001-2003), Revista Brasileira de

Enseño de Física y Revista Enseñanza de la Física. También fueron consultados el sistema ERIC (Education Resources Information Center) (ERIC, 2004) y las bases de datos disponibles en la red WEBOFSCIENCE (2004). Estos artículos fueron clasificados en siete categorías, basadas en las diferentes modalidades del uso del computador en la enseñanza de la física, así:

1. Instrucción y evaluación por el computador: en esta categoría, la aplicación del computador puede ser caracterizada por el uso de tutoriales que se adaptan a las dificultades individuales y a los sucesos de cada estudiante, aportando instrucciones personalizadas en sesiones de interacción con el individuo.

2. Modelación y simulación computacional: las simulaciones computacionales como objetivos pedagógicos dan soporte a actividades exploratorias caracterizadas por la observación, análisis e interacción del sujeto con modelos ya construidos. La modelación computacional aplicada a la enseñanza de la física es desarrollada en actividades expresivas, caracterizadas por el proceso de construcción del modelo desde su estructura matemática hasta el análisis de los resultados generados por él.

3. Recolección y análisis de datos en tiempo real: El computador puede ser utilizado como instrumento en la recolección y análisis de datos. El análisis puede incluir gráficos, tablas, cálculos estadísticos. La principal ventaja de este tipo de actividad sería librar al alumno del trabajo arduo de anotación, para que se concentre en la comprensión de conceptos físicos.

4. Recursos multimedia: Los recursos multimedia incluyen una gran variedad de elementos, como textos, sonidos, imágenes, animaciones, videos y simulaciones.

5. Comunicación a distancia: Esta categoría incluye artículos en que el computador es usado como una herramienta de comunicación involucrando el

intercambio de informaciones a través de mensajes electrónicos, foros de discusión, cambio de archivos, conferencias remotas, entre otras.

6. Resolución algebraica/numérica y visualización de soluciones matemáticas:

Esta categoría incluye artículos de investigaciones en enseñanza y/o propuestas pedagógicas involucrando la resolución numérica o algebraica de problemas de física, o una representación gráfica de las soluciones matemáticas.

7. Estudio de procesos cognitivos: en esta categoría se incluyen estudios correspondientes a la investigación de los procesos cognitivos del alumno en su interacción con el computador, con los demás alumnos o con el profesor.

Los artículos de investigación y los respectivos tópicos de la física abordados aparecen citados en el trabajo publicado por Araujo & Veit (2004).

Realmente un gran número de estudios acerca de la enseñanza y aprendizaje de conceptos físicos soportada en el uso del computador han sido publicados; pero sólo uno de ellos hace referencia al aprendizaje de conceptos físicos utilizando el software de simulación Modellus 2.5; y trato de centrarme específicamente en este estudio, ya que la propuesta de intervención en el aula que se presenta aquí, incluye como material potencialmente significativo una serie de modelos físicos diseñados a partir de esta herramienta computacional. Y esta propuesta bien puede enmarcarse en la modalidad de modelación y simulación computacional que presenta Araujo & Veit (2004).

Estas simulaciones tienen una gran importancia como herramienta en la enseñanza de las ciencias, ya que permiten dar cuenta de un fenómeno estudiado desde distintos puntos de vista, de modo más simple y directo que la experimentación convencional en un laboratorio; y además nos permite construir una idea, representación, imagen o modelo mental a partir de imágenes externas;

necesarias para la comprensión del mundo físico. Ives Solano Araujo (2002) en su tesis de maestría “Un estudio sobre el desempeño de los alumnos de física usuarios de la herramienta computacional Modellus en la interpretación de gráficos en cinemática” bajo la orientación del profesor Marco Antonio Moreira, pretende investigar el desempeño de los estudiantes expuestos a actividades complementarias de modelación computacional en el aprendizaje de la física utilizando el software Modellus; con una fundamentación teórica basada en la teoría de Halloun sobre modelación esquemática y la teoría de David Ausubel sobre Aprendizaje significativo.

Araujo plantea como metodología de intervención en el aula, el uso conjunto de actividades de modelación como un complemento instruccional, presentadas en forma de situaciones problema y desarrolladas con el software Modellus. Y a partir de los resultados obtenidos sugiere que es fuertemente ventajoso utilizar actividades complementarias de modelación con Modellus para promover un aprendizaje significativo en física, en el área de interpretación de gráficos de cinemática.

Sus resultados sugieren además, que la aplicación de actividades de modelación ejerce una influencia positiva en la predisposición del individuo para aprender Física. Esto ocurre en la medida en que la relevancia de determinadas relaciones matemáticas y conceptos es percibida por el alumno durante el proceso de interacción con los modelos conceptuales, permitiendo que el contenido visto anteriormente por éste, y que estaba muy abstracto, pase a tener un referencial más concreto.

Araujo (2002) concluye valorando la importancia de investigaciones científicas que se ocupen en investigar de qué forma el aprendiz relaciona y comprende los conceptos físicos trabajados con el uso del computador y cómo extrae un provecho máximo de este tipo de herramienta. Pues no se trata sólo de

presentar métodos y materiales innovadores, sino de cómo estos son asimilados por los alumnos.

#### 4.7 REVISIÓN DE ESTUDIOS SOBRE LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE FUERZA Y FUERZA DE FRICCIÓN

Con relación al concepto físico fuerza de fricción; y en general al concepto de fuerza, cuya enseñanza es motivo de preocupación para docentes del área, posiblemente por su nivel de abstracción; y se evidencia esto a partir de investigaciones como la de Watts, D. M y Zylbersztajn (1981), Sebastia, Jose M. (1984), Terry, C., Jones, G. y Hurford (1985), Hewson, P. W (1990) y Veit, E. A., Mors, P. M. y Teodoro, V. D. (2002); quienes presentan resultados de estudios acerca de las interpretaciones de los estudiantes sobre los conceptos de fuerza y movimiento, mostrando ampliamente que los alumnos llevan a la clase un conjunto diverso de ideas que en ocasiones les han sido enseñadas o son producto de sus propias experiencias; pero de cualquier forma difieren enormemente de la interpretación Newtoniana que es la que se aborda en esta propuesta de investigación. En particular, sobre el concepto de fuerza de fricción, Concari, Sonia; Pozzo, Roberto y Giorgi, Silvia (1999) analizan el contenido de 15 libros de física de nivel universitario con el objetivo de interpretar el modo en que son enunciadas las manifestaciones del fenómeno de rozamiento, los modelos explicativos, las leyes empíricas y los ejemplos. También estudios como los de Eötvös, R. (1994), Ringlein, J. y Robbins, M. (2004) y Carvalho, P. y Sampaio, A. (2005) discuten los problemas conceptuales que involucra el aprendizaje del concepto de fuerza de fricción y concluyen que en la enseñanza, este concepto ha sido abordado de una manera parcial e identifican gran inconsistencia en el tratamiento del tema.

Al respecto, Helena Caldas y Edith Saltiel en su artículo “Sentido das Forças de Atrito e Movimento - I” discuten el carácter usualmente atribuido al sentido de la fuerza de fricción estática y cinética, ejercidas sobre superficies en contacto secas y no lubricadas, a partir de las dificultades presentadas por los alumnos en el estudio de este fenómeno. Y en un segundo artículo llamado “Sentido das Forças de Atrito e Movimento – II, uma Análise dos Livros Utilizados no Ensino Superior Brasileiro”, a partir de la consideración de las dificultades y las ideas presentadas por los alumnos al estudiar las leyes de la fricción, hacen un análisis del contenido de los libros más utilizados en la enseñanza superior brasilera en lo que se refiere específicamente al sentido atribuido a la fuerza de fricción.

En relación también con el concepto fuerza de fricción varios trabajos recientes donde se estudia la fuerza de fricción a escala atómica, han sido publicados. Es el caso de Jacqueline Krim en sus artículos “Rozamiento a escala atómica” y “Friction at macroscopic and microscopic length scales” y James Ringlein en su artículo “understanding and illustrating the atomic origins of friction” quienes analizan la dependencia de la fuerza de fricción con el área de contacto a un nivel microscópico, contrario a lo que afirmaba Amontons en su descripción de las leyes de fricción.

## **5. METODOLOGÍA**

### **5.1 ORIENTACIÓN METODOLÓGICA**

Este trabajo se aborda desde una metodología cualitativa del tipo etnográfico, con una orientación descriptiva. Este tipo de metodología permite realizar una descripción minuciosa de los fenómenos observados, explicar los procesos en curso (Rodríguez, G y otros, 1996: 161) y reconstruir de forma sistemática y de

modo detallado el registro de los acontecimientos que se dan en el aula de clase. La investigación cualitativa etnográfica en educación, adopta un enfoque y paradigma científico pospositivista, haciendo énfasis en una perspectiva fenomenológica, que se refiere a una actitud exploratoria del investigador para conocer las realidades como existen y se presentan; y en un enfoque etnográfico consistente en la captación de los eventos con el significado que tienen para quienes están en el medio investigado, la descripción detallada de los resultados y el uso de un marco interpretativo para éstos (Martínez, 1999).

El interés de este trabajo en realizar un estudio cualitativo de tipo etnográfico, tiene como objeto conocer y describir ampliamente lo que acontece en el aula de clase y con cada uno de los miembros del grupo a medida que se desarrolla la propuesta de intervención para el aprendizaje del concepto físico fuerza de fricción a partir de una actividad experimental soportada por el uso del computador, con el fin de aportar datos significativos para luego interpretarlos y elaborar una síntesis estructural teórica que nos permita intervenir más adecuadamente en la complejidad de los procesos de aprendizaje.

En este proceso de investigación se hace uso de la observación participativa como instrumento y método interactivo de recogida de información, que requiere una implicación del observador (profesor investigador) en los acontecimientos que está observando, haciendo posible la orientación del proceso de aprendizaje de cada uno de los miembros del grupo y posibilitando la posterior descripción e interpretación de los resultados obtenidos a partir de las diferentes técnicas y procedimientos para recoger la información.

La descripción, análisis e interpretación de la información obtenida durante el proceso de la investigación se realiza a partir de la evolución conceptual de los alumnos; la que se ve plasmada en el establecimiento de categorías que surgen de sus respuestas al cuestionario inicial de indagación y a los posteriores

cuestionarios que hacen parte de la actividad de intervención, en las cuales se manifiestan los significados más relevantes en relación con el problema de investigación. Y esta evolución conceptual se da en términos del establecimiento de relaciones claras y pertinentes entre los conceptos de fuerza y fuerza de fricción con conceptos como velocidad, aceleración, equilibrio, fuerzas electromagnéticas y de contacto, fuerza normal y coeficiente de fricción. El análisis cualitativo de los resultados obtenidos se hace mediante descripción e interpretación de éstos; pero sin desconocer un aspecto puramente emotivo como son las reacciones y actitudes de los estudiantes frente a cada una de las actividades realizadas en el aula; que de alguna manera se convierten en un indicativo de su aceptación o rechazo.

La implementación de la propuesta de intervención en el aula fue realizada con un grupo de 27 alumnos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, de tercer nivel de su respectivo programa, quienes por primera vez cursaban la asignatura Laboratorio de Física I y a la par el curso teórico de Física I; y a quienes se les había expuesto previamente los objetivos de esta investigación de la cual serían partícipes. De estos 27 estudiantes fue seleccionada al azar una muestra representativa de 10 estudiantes; considerada un número pertinente de alumnos para analizar su proceso de evolución conceptual.

## 5.2 ACTIVIDADES DE INTERVENCIÓN EN EL AULA

En la primera sesión del curso y con el propósito de identificar los conceptos de fuerza y fuerza de fricción disponibles en las estructuras de conocimiento de los alumnos y en relación con conceptos como velocidad, aceleración, equilibrio, fuerzas electromagnéticas y de contacto, fuerza normal y coeficiente de fricción; se aplicó un cuestionario inicial de indagación en el que se plantearon una serie de situaciones problema y preguntas relacionadas con dichos conceptos. Este

cuestionario inicial nos sirvió para conocer el tipo de dificultades que presentaban los alumnos con respecto a la comprensión de estos conceptos; y con base a esto poder programar las actividades que harían parte de la intervención. Además, este cuestionario nos fue de gran utilidad a la hora de establecer una comparación con las actividades posteriores realizadas en el aula y así evidenciar la evolución conceptual de las estructuras de conocimiento de los alumnos.

Para efectos de validación de este cuestionario al igual que los cuestionarios aplicados posteriormente, fueron sometidos a la revisión de cuatro especialistas en el contenido, doctores en Física, adscritos al Instituto de Física de la Universidad de Antioquia, quienes nos aportaron valiosas sugerencias para la realización de cada una de las actividades.

Con el objetivo de presentar conceptos nuevos o ya obliterados relacionados con los conceptos de fuerza y fuerza de fricción y hacerlos pertinentes en la estructura cognitiva del alumno; se les presenta lo que Ausubel denomina organizadores previos (Moreira, 1983); consistentes en dos textos independientes, uno propiamente para el concepto de fuerza en el que se presentó una introducción sobre interacciones y fuerzas desde la perspectiva newtoniana, las fuerzas de contacto y a distancia, las fuerzas fundamentales de la naturaleza, cantidades escalares y vectoriales, y una síntesis de las tres leyes del movimiento de Newton; y para el concepto de fuerza de fricción, otro organizador previo es presentado para definir la fuerza de fricción como una fuerza que surge de una interacción electromagnética que se manifiesta al poner en contacto dos superficies, se explicita la magnitud de esta fuerza y los dos tipos de fuerza de fricción, la fuerza de fricción estática y la fuerza de fricción cinética. Además se muestra un diagrama de fuerzas para un cuerpo que se desplaza sobre un plano horizontal en presencia de fuerzas de fricción haciéndose un análisis de éste; y se representa gráficamente (fuerza externa aplicada contra fuerza de fricción) el

movimiento de un cuerpo bajo el efecto de fuerza de fricción estática y cinética. Estos organizadores previos se presentan en los anexos.

El objetivo de la presentación de estos organizadores previos es establecer un puente cognitivo entre aquello que el alumno ya sabe y lo que debe aprender. Por medio del organizador previo se presentan bien sea conceptos nuevos o conceptos ya obliterados (olvidados), con el fin de hacerlos pertinentes en la estructura cognitiva del alumno para que así sus subsunsores o conceptos previos sean claros, disponibles y coherentes para la introducción del nuevo material de aprendizaje.

Posteriormente se diseñaron una serie de actividades de modelación utilizando el software Modellus 2.5 a partir del cual se construyeron un conjunto de modelos físicos (modelo matemático y modelo físico) que constituyen el material potencialmente significativo. La construcción de un modelo de estas características implica inicialmente un análisis matemático de la situación física que se desea estudiar y la descripción de éste en un lenguaje matemático haciendo uso de ecuaciones, parámetros iniciales y condicionales (modelo matemático); fijando claramente aquellas variables físicas que pueden ser modificadas al interactuar con cada modelo. Posteriormente, se diseña una animación que consiste en utilizar las herramientas del programa Modellus para ubicar dentro de una ventana de animación, elementos gráficos que ilustren la situación física estudiada (modelo físico) y que se ajusten y sean consistentes con el modelo matemático previamente construido.

La ventaja de presentar al alumno un modelo con estas características es brindarle la posibilidad de que observe, analice e interactúe con una situación física determinada y perciba las relaciones entre esta situación y el modelo matemático que le subyace; además de comprender las relaciones existentes

entre las variables implicadas en una determinada situación física al manipularlas, modificarlas y observar los efectos de cada uno de estos cambios.

Cada uno de estos modelos presentados a los estudiantes va acompañado de una serie de preguntas que el alumno debe responder a partir de la interacción con el modelo; y esta interacción consiste básicamente en la variación de propiedades, la elección y modificación de parámetros y condiciones iniciales del modelo que permiten visualizar cambios y relaciones entre propiedades inherentes al modelo y hacer un análisis de sus implicaciones para las situaciones físicas estudiadas. A pesar de que la herramienta computacional es fácil de utilizar, los alumnos tuvieron un acompañamiento permanente por el profesor para eventuales dudas, bien en el manejo del programa Modellus o en algún aspecto puramente conceptual.

Las actividades propias de la intervención haciendo uso del programa Modellus constaron de cinco sesiones, cada una con una duración de dos horas y fueron realizadas en una sala de computación donde los alumnos trabajaron individualmente. Los cuestionarios para cada modelo son presentados en los anexos.

## **6. RESULTADOS**

Presentaremos primero los resultados obtenidos en el cuestionario de indagación consistente en nueve ítems, siete de ellos de selección múltiple con única respuesta y con justificación de la misma y los otros dos consistían en dos preguntas abiertas; además, el cuestionario incluía el planteamiento de cuatro situaciones problema relacionadas con el concepto de fuerza y fuerza de fricción. Este cuestionario fue aplicado con el propósito de identificar los conceptos de fuerza y fuerza de fricción disponibles en las estructuras de conocimiento de los

alumnos y en relación con conceptos como velocidad, aceleración, equilibrio, fuerzas electromagnéticas y de contacto, fuerza normal y coeficiente de fricción; y con base en la coherencia de sus respuestas, la aplicación de los diferentes conceptos y la relación entre ellos ante las situaciones propuestas, intentamos establecer el grado de conceptualización de los estudiantes.

## 6.1 ESTABLECIMIENTO DE CATEGORÍAS

El análisis de los resultados se realizó considerando las respuestas de los estudiantes, relacionadas tanto con el concepto de fuerza como con el concepto fuerza de fricción; y a partir de estas, se establecieron diferentes categorías de acuerdo a las diversas respuestas dadas por los estudiantes en relación al significado que le atribuyen a dichos conceptos. Con la pregunta número 1 del cuestionario de indagación se pretendía conocer el significado que los alumnos le atribuían al concepto de fuerza, bien como causa, efecto o ambas, causa y efecto en el estado del movimiento de un cuerpo. A partir de sus respuestas, para el concepto de fuerza se establecieron tres categorías; en la primera categoría prevalece la idea de fuerza como la causa del cambio en el estado del movimiento; esta categoría coincide con la idea de lo que normalmente se entiende por fuerza en los textos de física. De esta categoría surgen dos subcategorías; en la primera de ellas se ve la fuerza como generadora de cambios y en la segunda subcategoría se considera ésta como causante de la alteración de movimientos. En la categoría 2 se trata a la fuerza como la causa y a la vez el efecto del cambio en el estado del movimiento; y en la tercera categoría, se considera la fuerza como el efecto del cambio en el estado del movimiento. Estas categorías se muestran en la tabla 1.

Los símbolos A1 hasta A10 representan cada uno de los 10 estudiantes que se tomaron como muestra para el trabajo de investigación.

<b>Categoría 1:</b> La fuerza como la causa del cambio en el estado del movimiento.	<b>Subcategoría 1.1:</b> La fuerza como algo que se le aplica a un cuerpo y genera un cambio.
	<b>Subcategoría 1.2:</b> La fuerza como causa de la alteración del movimiento.
<b>Categoría 2:</b> La fuerza como la causa y el efecto del cambio en el estado del movimiento.	
<b>Categoría 3:</b> La fuerza como el efecto del cambio en el estado del movimiento.	

**Tabla 1. Categorías para el concepto de fuerza en el cuestionario inicial de indagación**

La mayor parte de los estudiantes se ubican en la categoría 1, interpretando el concepto de fuerza como la causa del cambio en el estado del movimiento; aunque las justificaciones de los estudiantes carecen de claridad. Un 50% de la muestra se ubica en esta categoría. Se presentan algunos de los enunciados de los alumnos que constituyen esta categoría:

En la subcategoría 1.1: La fuerza como la causa del cambio en el estado del movimiento; como algo que se le aplica a un cuerpo y genera un cambio. Algunos de los enunciados de los estudiantes son:

- *“Una fuerza se entiende como la causa del cambio en el estado del movimiento; porque es algo que se le aplica a un cuerpo y causa un cambio como un desplazamiento o cambio de posición que es un cambio en el estado del movimiento” (A1).*

- *“Una fuerza se entiende como la causa del cambio en el estado del movimiento; ya que la fuerza es lo que se ejerce sobre un cuerpo para que éste cambie de estado, posición o movimiento” (A8).*

En la subcategoría 1.2: La fuerza como la causa del cambio en el estado del movimiento; la fuerza como causa de la alteración del movimiento. Un enunciado que se ubica en esta subcategoría es:

- *“Una fuerza se entiende como la causa del cambio en el estado del movimiento; ya que el movimiento es alterado por una fuerza externa, sin ésta el cuerpo permanecería en equilibrio” (A7).*

En la categoría 2, la fuerza es entendida como la causa y el efecto del cambio en el estado del movimiento. Un enunciado que se ubica en esta categoría es:

- *“Una fuerza se entiende como la causa y el efecto del cambio en el estado del movimiento; porque cuando se ejerce una fuerza sobre un cuerpo se produce un cambio en el estado del movimiento, ya que el cuerpo posee determinada fuerza y al incrementarle más” (A2).*

En la categoría 3, la fuerza es entendida como el efecto del cambio en el estado del movimiento. Un enunciado que se ubica en esta categoría es:

- *“la fuerza es entendida como el efecto del cambio en el estado del movimiento. Es un efecto, una acción. Se agrega fuerza y la causa es lo que le ocurre al cuerpo” (A3).*
- *“la fuerza es entendida como el efecto del cambio en el estado del movimiento; porque cuando hay una fuerza hay un cambio en el movimiento” (A6).*

Quienes se ubican en las categorías 2 y 3, según sus respuestas, ni siquiera comprenden el significado de lo que es causa y efecto; y por lo tanto no logran establecer diferencias entre estos dos conceptos en relación con el concepto de fuerza. A las categorías 2 y 3 corresponden el 20% y 30% respectivamente.

Con respecto al concepto de fuerza de fricción se establecen cinco categorías con relación al significado que tienen los alumnos sobre el concepto de fuerza de fricción y su relación con otros conceptos. Estas categorías se construyen a partir de las preguntas 3, 6, 8 y 9; y las situaciones físicas 1, 2 y 3 planteadas en el cuestionario de indagación.

En la pregunta 3 del cuestionario de indagación se pedía a los alumnos considerar un cuerpo deslizándose sobre una superficie plana horizontal y enunciar aquellos elementos de los cuales la fuerza de fricción era independiente. En la pregunta 6 se presentaron cuatro situaciones diferentes (un bloque en reposo y en movimiento sobre una superficie plana horizontal y un bloque en reposo y en movimiento sobre una superficie con un cierto grado de inclinación) y se proponía a los alumnos analizar en cuál de esos casos la fuerza de fricción tenía mayor magnitud. Con la pregunta 8 del cuestionario de indagación se pretendía conocer la idea que tenían los estudiantes sobre el efecto que tiene la fuerza de fricción sobre un cuerpo en movimiento. Y en la pregunta 9 se plantea el siguiente enunciado: “Si usted empujara una pesada caja que está en reposo, necesitaría cierta fuerza **F** para que inicie su movimiento. Sin embargo, una vez en movimiento, sólo se necesitaría una fuerza ligeramente menor para mantener ese movimiento. ¿Por qué?”

En las situaciones 1, 2 y 3 del cuestionario de indagación se presentaban dos objetos sobre una superficie plana horizontal, cada uno sujeto a un dinamómetro y se proponía a los alumnos predecir lo que sucedería en términos de alargamiento del dinamómetro para cada una de las situaciones. En la

situación 1, para masas y áreas de superficie de contacto iguales y materiales de naturaleza diferente; en la situación 2, para materiales y área de superficie de contacto iguales y masas diferentes; y en la situación 3, para masas y materiales iguales y áreas de superficie de contacto diferentes. Con relación a estas tres preguntas y a las tres situaciones físicas propuestas en el cuestionario de indagación, se establecieron cinco categorías para el concepto fuerza de fricción.

La primera categoría hace referencia a la fuerza de fricción independiente de ciertos factores. Esta categoría se divide en tres subcategorías; donde la subcategoría 1.1 se refiere a la fuerza de fricción como independiente de la fuerza normal que actúa sobre el cuerpo. En la subcategoría 1.2 se considera la fuerza de fricción independiente del área de contacto y en la subcategoría 1.3 la fuerza de fricción es considerada independiente de la masa del cuerpo.

Se presentan algunos de los enunciados de los estudiantes que se ubican en la categoría 1 y sus respectivas subcategorías. En la subcategoría 1.1, la fuerza de fricción es independiente de la fuerza normal que actúa sobre el cuerpo. Algunos enunciados son:

- *“La fuerza de fricción es independiente de la fuerza normal que actúa sobre el cuerpo; porque la fuerza normal se da cuando el cuerpo se mantiene quieto y para que haya fuerza de fricción se necesita un cuerpo en movimiento” (A4).*
- *“la fuerza de fricción es independiente de la fuerza normal que actúa sobre el cuerpo; pues la fuerza de fricción depende de la masa, del área de contacto y de la rugosidad de la superficie” (A8).*

En la subcategoría 1.2, la fuerza de fricción es independiente del área de contacto. Un enunciado propio de esta categoría es:

- *“La fuerza de fricción es independiente del área de contacto. Cuando un cuerpo se encuentra sobre una superficie plana horizontal, la fuerza de fricción no depende del área en contacto ya que influye es la masa del cuerpo, la rugosidad de las superficies en contacto y la fuerza normal que actúa sobre el cuerpo” (A2).*

En la subcategoría 1.3, la fuerza de fricción no depende de la masa del cuerpo. Un enunciado que ilustra esta categoría es el siguiente:

- *“La fuerza de fricción no depende de la masa del cuerpo; porque mientras más área de contacto y mayor rugosidad mayor fuerza de fricción; y la fuerza normal contrarresta ese peso que ejerce el objeto sobre la superficie que es igual al peso” (A3).*

La categoría 2 se refiere a las ideas de los alumnos con respecto al efecto que tiene la fuerza de fricción sobre un cuerpo en movimiento. Esta categoría se divide en tres subcategorías; en la subcategoría 2.1, se considera que el efecto de la fuerza de fricción sobre un cuerpo en movimiento se manifiesta en disminución de velocidad hasta llevarlo al reposo. Algunos de los enunciados que ilustran esta subcategoría son:

- *“El efecto de la fuerza de fricción sobre un cuerpo en movimiento es detenerlo, frenar el cuerpo” (A3).*
- *“La fuerza de fricción sobre un cuerpo en movimiento hace que el movimiento cada vez disminuya hasta hacerlo nulo” (A7).*
- *“La fuerza de fricción tiene un efecto de fuerza opuesta al movimiento que en un determinado momento llega a detener el cuerpo” (A8).*

En la subcategoría 2.2 se considera que el efecto de la fuerza de fricción sobre un cuerpo en movimiento es hacer que el cuerpo se pegue (se adhiera) más a la superficie. Un enunciado característico de esta subcategoría es:

- *“El efecto que tiene la fuerza de fricción sobre un cuerpo en movimiento es hacer que el cuerpo se pegue más a la superficie” (A4).*

En la subcategoría 2.3 se considera que el efecto de la fuerza de fricción sobre un cuerpo en movimiento es que tiende a estabilizarlo. Un enunciado que ilustra esta subcategoría es el siguiente:

- *“El efecto de la fuerza de fricción sobre un cuerpo en movimiento es que tiende a estabilizarlo” (A6).*

La categoría 3 hace referencia a la magnitud de la fuerza de fricción para un bloque en superficies horizontales e inclinadas; y en estados de reposo y movimiento. Esta categoría se divide en cuatro subcategorías diferentes; en la subcategoría 3.1, se considera que la fuerza de fricción entre el bloque y la superficie tiene mayor magnitud cuando el bloque está en reposo sobre la superficie plana horizontal (sin fuerzas aplicadas en dirección horizontal). Algunos enunciados que ilustran esta subcategoría son:

- *“La fuerza de fricción entre el bloque y la superficie tiene mayor magnitud cuando el bloque está en reposo sobre la superficie plana horizontal (sin fuerzas aplicadas en dirección horizontal); porque en estas condiciones es más difícil de mover el objeto” (A6).*
- *“La fuerza de fricción entre un objeto y una superficie tiene mayor magnitud cuando el objeto está en reposo sobre una superficie plana horizontal (sin*

*fuerzas aplicadas en dirección horizontal); ya que hay una mayor superficie del cuerpo en contacto con la superficie” (A10).*

En la subcategoría 3.2, se considera que la fuerza de fricción entre el bloque y la superficie tiene mayor magnitud cuando el bloque se desliza sobre la superficie plana horizontal (A2).

En la subcategoría 3.3, se considera que la fuerza de fricción entre el bloque y la superficie tiene mayor magnitud cuando el bloque está en reposo sobre la superficie inclinada. Algunos enunciados característicos de esta subcategoría son:

- *“La fuerza de fricción entre el bloque y la superficie tiene mayor magnitud cuando el bloque está en reposo sobre la superficie inclinada; ya que si está en reposo debe haber mucha fuerza de fricción para mantenerlo así” (A3).*
- *“La fuerza de fricción entre el bloque y la superficie tiene mayor magnitud cuando el bloque está en reposo sobre la superficie inclinada; porque para que pueda estar en reposo el bloque, la fuerza de fricción tiene que ser mayor que la del bloque, teniendo en cuenta que está en una superficie inclinada” (A5).*
- *“La fuerza de fricción entre el bloque y la superficie tiene mayor magnitud cuando el bloque está en reposo sobre la superficie inclinada. El bloque tiende a deslizarse debido a su peso y a la gravedad, pero la fricción se lo impide, lo que indica que la fricción es mayor” (A7).*

En la subcategoría 3.4, se considera que la fuerza de fricción entre el bloque y la superficie tiene mayor magnitud cuando el bloque se desliza sobre la superficie inclinada. Los siguientes enunciados representan esta subcategoría:

- *“La fuerza de fricción entre el bloque y la superficie tiene mayor magnitud cuando el bloque se desliza sobre la superficie inclinada; ya que cuando se desliza el cuerpo sobre un plano inclinado es cuando actúa la fuerza de la gravedad y hace que haya más fricción” (A4).*
- *“La fuerza de fricción entre el bloque y la superficie tiene mayor magnitud cuando el bloque se desliza sobre la superficie inclinada, debido a que la fuerza normal actúa de forma más directa (A9).*

La categoría 4 se refiere a la relación existente entre la fuerza de fricción con conceptos como la masa de los cuerpos, el área de superficie en contacto y con la naturaleza de los materiales en contacto. Esta categoría se divide en tres subcategorías; las que a su vez se subdividen en dos categorías cada una. En la subcategoría 4.1 se considera la relación de la fuerza de fricción con la naturaleza de los materiales; y ésta se subdivide en dos subcategorías; la subcategoría 4.1.1, la que hace referencia a la fuerza de fricción como independiente de la naturaleza de los materiales en contacto. Se presentan algunos enunciados alusivos a esta subcategoría:

- *“La fuerza de fricción es independiente de la naturaleza de los materiales en contacto. Pienso que como la única diferente es la naturaleza de los materiales y sus masas y áreas de superficie son iguales a medida que se aplique la misma fuerza, las lecturas en los dinamómetros serán iguales, pero creo que si la rigurosidad de los materiales es diferente puede afectar y es una característica de la que no se habla en la situación” (A1).*

- *“La fuerza de fricción es independiente de la naturaleza de los materiales en contacto. El dinamómetro se alargará igual en ambas situaciones por tener igual masa” (A8).*

En la subcategoría 4.1.2, se considera que la fuerza de fricción depende de la naturaleza de los materiales en contacto. Algunos casos relativos a esta subcategoría son:

- *“La fuerza de fricción depende de la naturaleza de los materiales en contacto. Uno de los dinamómetros tendría que halarse más que el otro” (A4).*
- *“La fuerza de fricción depende de la naturaleza de los materiales en contacto. La lectura del dinamómetro será diferente debido a que la naturaleza de los materiales es diferente, las fricciones también lo serán” (A7).*
- *“La fuerza de fricción depende de la naturaleza de los materiales en contacto. Los materiales diferentes tienden a tener texturas diferentes, por eso, si se hala el dinamómetro, habrá mayor tensión sobre aquel objeto que tenga un alto grado de rugosidad” (A9).*

En la subcategoría 4.2, se hace referencia a la relación entre la fuerza de fricción con la masa de los cuerpos; y ésta se subdivide en dos subcategorías; la subcategoría 4.2.1, en la que se considera que la fuerza de fricción es dependiente de la masa de los cuerpos. Algunos enunciados concernientes a esta subcategoría se presentan aquí:

- *“La fuerza de fricción depende de la masa de los cuerpos. El objeto que posee menor peso se mueve con mayor facilidad y el de mayor peso se mueve con menor facilidad” (A2).*
- *“La fuerza de fricción depende de la masa de los cuerpos. Al objeto de mayor masa hay que aplicarle más fuerza y además si se halan los dos objetos con fuerzas iguales uno se mueve más rápido que el otro” (A5).*
- *“La fuerza de fricción depende de la masa de los cuerpos. Las lecturas serán diferentes, la fuerza normal es proporcional al peso del cuerpo y esta fuerza (normal) afecta la fricción” (A7).*

En la subcategoría 4.2.2, se considera la fuerza de fricción independiente de la masa de los cuerpos. Se ilustra esta subcategoría con el siguiente enunciado:

- *“La fuerza de fricción no depende de la masa de los cuerpos. La fricción se dará igual, el dinamómetro marcará lo mismo” (A10).*

En la subcategoría 4.3, se muestra lo concerniente a la relación entre la fuerza de fricción con las áreas de las superficies en contacto. Esta subcategoría se subdivide en otras dos; la subcategoría 4.3.1, que se refiere a la dependencia de la fuerza de fricción con las áreas de las superficies en contacto. Mostraremos algunos enunciados alusivos a esta subcategoría:

- *“La fuerza de fricción depende de las áreas de las superficies en contacto. La fuerza de fricción depende de la rugosidad del área de las superficies en contacto y que el objeto cuya área se encuentra horizontalmente se moverá con mayor facilidad que el objeto cuya área se encuentra verticalmente” (A2).*

- *“La fuerza de fricción depende de las áreas de las superficies en contacto. El dinamómetro del objeto de menor superficie en contacto marcará menor cantidad de fuerza para moverlo (A10).*

En la subcategoría 4.3.2, se considera la fuerza de fricción independiente de las áreas de las superficies en contacto. Se ilustran algunos enunciados pertenecientes a esta subcategoría:

- *“La fuerza de fricción no depende de las áreas de las superficies en contacto. Creo que el alargamiento de los dinamómetros es igual; ya que en el primero, el peso se puede distribuir y la fuerza de fricción es mayor y en el segundo el peso no se distribuye sobre la mayor parte de la superficie pero la fuerza de fricción es menor. Igualmente se estira el resorte del dinamómetro” (A3).*
- *“La fuerza de fricción no depende de las áreas de las superficies en contacto. El estiramiento del resorte será igual para los dos objetos, la fricción es la misma al material y la normal también será igual porque las dos masas son iguales” (A7).*

Por último, la categoría 5 se enuncia de la siguiente manera: La fuerza que hay que aplicarle a un objeto en reposo para que inicie el movimiento es mayor que la fuerza que hay que aplicarle una vez está en movimiento; esto se debe a diferentes factores. Dependiendo de cada uno de los factores a los cuales se atribuye este fenómeno, se establecen cinco subcategorías. En la subcategoría 5.1 se hace referencia a la diferencia entre la magnitud de las fuerzas aplicadas a un objeto en reposo y en movimiento debido a que en movimiento sólo hay que contrarrestar la fuerza de fricción. Los siguientes enunciados ilustran esta subcategoría:

- *“La magnitud de la fuerza aplicada para el objeto en movimiento es menor porque ya en movimiento, tiene una fuerza aplicada y todo sería cuestión de contrarrestar la fuerza de fricción que hace que el cuerpo se detenga” (A4).*
- *“La magnitud de la fuerza aplicada para el objeto en movimiento es menor; ya que hay menos fricción y tenemos velocidad inicial; la fuerza que se ejerce después es sólo para contrarrestar fricción” (A10).*

La subcategoría 5.2 hace alusión a la diferencia entre la magnitud de las fuerzas aplicadas a un objeto en reposo y en movimiento porque el peso y la fuerza de fricción disminuyen si el objeto está en movimiento. Se presenta un enunciado relativo a esta subcategoría:

- *“La magnitud de la fuerza aplicada para el objeto en movimiento es menor; debido a que el objeto ejerce una fuerza hacia abajo (depende del peso) y hay una fuerza normal que lo contrarresta. Ambas fuerzas disminuyen si el objeto está en movimiento. Entonces es muy difícil vencerlas al comienzo (mientras el objeto está en reposo) pero cuando se empieza a mover no es necesario hacer tanta fuerza porque estas disminuyeron” (A3).*

La subcategoría 5.3 hace mención a la diferencia entre la magnitud de las fuerzas aplicadas a un objeto en reposo y en movimiento debido a que la fuerza de fricción de la superficie sobre el objeto es mayor cuando está en reposo. Un enunciado concerniente a esta subcategoría es:

- *“La magnitud de la fuerza aplicada para el objeto en movimiento es menor debido a que la fricción de la superficie sobre el objeto es mayor cuando éste está en reposo y por consiguiente es necesaria una fuerza mayor para*

*moverlo. Si logra empujarse, la fricción disminuye y por lo tanto la fuerza requerida para moverlo también” (A9).*

En la subcategoría 5.4 se hace referencia a la diferencia entre la magnitud de las fuerzas aplicadas a un objeto en reposo y en movimiento en términos de que el cuerpo ya venció la fuerza de arranque y lleva un impulso (A6).

La subcategoría 5.5 considera la diferencia entre la magnitud de las fuerzas aplicadas a un objeto en reposo y en movimiento debido a la existencia de una fuerza de fricción estática que se debe superar para iniciar el movimiento. El siguiente enunciado ilustra este hecho:

- *“La magnitud de la fuerza aplicada para el objeto en movimiento es menor ya que inicialmente, la caja está frenada por fuerza de fricción estática que le proporciona la superficie, una vez supera ésta, se inicia el movimiento” (A7).*

En la tabla 2 se presentan las categorías concernientes a los significados de los estudiantes para el concepto fuerza de fricción.

<p><b>Categoría 1:</b> La fuerza de fricción independiente de determinados factores.</p>	<p><b>Subcategoría 1.1:</b> La fuerza de fricción independiente de la fuerza normal que actúa sobre el cuerpo.</p>
	<p><b>Subcategoría 1.2:</b> La fuerza de fricción independiente del área de contacto.</p>
	<p><b>Subcategoría 1.3:</b> La fuerza de fricción independiente de la masa del cuerpo.</p>
<p><b>Categoría 2:</b> Acerca del efecto que tiene la fuerza de fricción sobre un cuerpo en movimiento.</p>	<p><b>Subcategoría 2.1:</b> El efecto de la fuerza de fricción sobre un cuerpo en movimiento se manifiesta en disminución de velocidad hasta llevarlo al reposo.</p>
	<p><b>Subcategoría 2.2:</b> El efecto de la fuerza de fricción sobre un cuerpo en movimiento es hacer que el cuerpo se pegue (adhiera) más a la superficie.</p>
	<p><b>Subcategoría 2.3:</b> El efecto de la fuerza de fricción sobre un cuerpo en movimiento es que tiende a estabilizarlo.</p>
<p><b>Categoría 3:</b> Magnitud de la fuerza de la fuerza de fricción para un bloque en una superficie horizontal e inclinada; y en estados de reposo y movimiento.</p>	<p><b>Subcategoría 3.1:</b> La fuerza de fricción entre el bloque y la superficie tiene mayor magnitud cuando el bloque está en reposo sobre la superficie plana horizontal (sin fuerzas aplicadas en dirección horizontal).</p>
	<p><b>Subcategoría 3.2:</b> La fuerza de fricción entre el bloque y la superficie tiene mayor magnitud cuando el bloque se desliza sobre la superficie plana horizontal.</p>
	<p><b>Subcategoría 3.3:</b> La fuerza de fricción entre el bloque y la superficie tiene mayor magnitud cuando el bloque está en reposo sobre la superficie inclinada.</p>
	<p><b>Subcategoría 3.4:</b> La fuerza de fricción entre el bloque y la superficie tiene mayor magnitud cuando el bloque se desliza sobre la superficie inclinada.</p>

<p><b>Categoría 4:</b> Relación de la fuerza de fricción con la masa del cuerpo, el área de superficie en contacto y con la naturaleza de los materiales en contacto.</p>	<p><b>Subcategoría 4.1:</b> Relación de la fuerza de fricción con la naturaleza de los materiales.</p> <p><b>Subcategoría 4.1.1:</b> La fuerza de fricción independiente de la naturaleza de los materiales.</p> <p><b>Subcategoría 4.1.2:</b> La fuerza de fricción dependiente de la naturaleza de los materiales.</p>
	<p><b>Subcategoría 4.2:</b> Relación de la fuerza de fricción con la masa de los cuerpos.</p> <p><b>Subcategoría 4.2.1:</b> La fuerza de fricción dependiente de la masa de los cuerpos.</p> <p><b>Subcategoría 4.2.2:</b> La fuerza de fricción independiente de la masa de los cuerpos.</p>
	<p><b>Subcategoría 4.3:</b> Relación de la fuerza de fricción con las áreas de las superficies en contacto.</p> <p><b>Subcategoría 4.3.1:</b> La fuerza de fricción dependiente de las áreas de las superficies en contacto.</p> <p><b>Subcategoría 4.3.2:</b> La fuerza de fricción independiente de las áreas de las superficies en contacto.</p>
<p><b>Categoría 5:</b> La fuerza que hay que aplicarle a un objeto en reposo para que inicie el movimiento es mayor que la fuerza que hay que aplicarle una vez está en movimiento; esto se debe a diferentes factores.</p>	<p><b>Subcategoría 5.1:</b> En movimiento sólo hay que contrarrestar la fuerza de fricción.</p>
	<p><b>Subcategoría 5.2:</b> Porque el peso y la fuerza de fricción que lo contrarresta disminuyen si el objeto está en movimiento.</p>
	<p><b>Subcategoría 5.3:</b> La fuerza de fricción de la superficie sobre el objeto es mayor cuando está en reposo.</p>
	<p><b>Subcategoría 5.4:</b> Porque el cuerpo ya venció la fuerza de arranque y lleva un impulso.</p>
	<p><b>Subcategoría 5.5:</b> porque existe una fuerza de fricción estática que se debe superar para iniciar el movimiento.</p>

**Tabla 2. Categorías para el concepto de fuerza de fricción en el cuestionario inicial de indagación.**

Como se mencionó ya en la sesión correspondiente a la metodología, las actividades de intervención en el aula consistieron en la presentación de diferentes modelos físicos con los que los alumnos interactuaban a partir de la variación de propiedades, la elección y modificación de parámetros y condiciones iniciales; y cada uno de estos modelos estaba acompañado de una serie de preguntas que el alumno debía responder a partir de la interacción con cada modelo. Cuatro modelos fueron diseñados para trabajar durante cinco sesiones, cada una con una intensidad de dos horas.

En la primera sesión se presentó a los estudiantes un modelo que llamamos “caída libre”; en este modelo se pretendía que el alumno reconociera la fuerza gravitacional como la fuerza que hace que un objeto caiga una vez se ha soltado desde determinada altura y que su velocidad va aumentando a una razón constante, la aceleración debida a la gravedad que tiene un valor de 9.8 m/s. Las respuestas de los estudiantes, obtenidas en esta primera sesión fueron bien interesantes; pero no hicimos uso de ellas para el análisis de resultados, ya que con este primer modelo quisimos hacer una introducción tanto para el manejo del software como para el estudio del concepto de fuerza que trabajaríamos más adelante.

Un segundo modelo, que se trabajó en la segunda sesión correspondiente a la intervención, tiene por nombre “Fuerzas sobre un cuerpo”; en este modelo presentamos un objeto que se desliza sobre una superficie plana horizontal sin presencia de fuerzas de fricción. Para el objeto, se elaboró un diagrama de fuerzas donde teníamos la fuerza normal (**N<sub>y</sub>**), el peso (**P<sub>y</sub>**) y la fuerza externa aplicada (**F<sub>x</sub>**); y en la interacción con este modelo el alumno tenía la posibilidad de variar condiciones iniciales tales como: la masa del objeto (**m**), la velocidad inicial (**V<sub>o</sub>**), la posición inicial (**X<sub>o</sub>**) y la fuerza externa aplicada (**F<sub>x</sub>**); además, este modelo muestra las gráficas de posición, velocidad y aceleración contra tiempo; lo cual permite un mejor análisis de la situación física propuesta.

En el cuestionario que acompañaba este modelo se pretendía que el alumno reconociera cada una de las fuerzas representadas en el diagrama para el objeto en movimiento; además, se le pedía analizar lo que sucedía con los vectores **N<sub>y</sub>** y **P<sub>y</sub>** cuando se modificaba el valor de **m**, definir la causa del movimiento del objeto sobre el eje horizontal y analizar los efectos en la aceleración debidos al cambio de la fuerza **F<sub>x</sub>** y la masa **m**.

En relación con el concepto de fuerza, ya que no se considera la fuerza de fricción en este modelo, es posible establecer dos categorías a partir de las respuestas a dos de las preguntas propuestas en el cuestionario; la categoría 1 se crea con base en las repuestas a la pregunta 3, la cual buscaba indagar a los alumnos sobre la causa del movimiento del objeto sobre el eje horizontal **X**. Y la categoría 2 se establece a partir de las respuestas a la pregunta 4, en la que se pedía a los alumnos analizar por qué el movimiento del objeto sólo se daba en el eje **X**, considerando la existencia de fuerzas como **N<sub>y</sub>** y **P<sub>y</sub>** en el eje vertical.

Las respuestas a las otras preguntas se encontraron interesantes pero no hacen parte de nuestro análisis.

La primera categoría se refiere a los factores que permiten el movimiento del cuerpo sobre el eje **X**. Esta categoría se divide en dos subcategorías; la subcategoría 1.1, en la que se reconoce que la causa del movimiento del cuerpo sobre el eje horizontal es debido a la aplicación de una fuerza horizontal paralela a ese eje. Algunos enunciados para ilustrar esta afirmación son:

- *“El movimiento del cuerpo sobre el plano horizontal se debe a la fuerza ejercida horizontalmente que se da sobre dicho cuerpo” (A2).*
- *“El movimiento del objeto sobre el eje **X** se debe a una fuerza que se le aplica en esa dirección que en este caso es **F<sub>x</sub>**” (A5).*

En la subcategoría 1.2, se considera que el movimiento del cuerpo sobre el eje horizontal se debe a que es un objeto que tiene una aceleración; es decir, un cambio de velocidad que hace que éste se mueva. Y es evidente que esta aceleración sólo puede deberse a la acción de una fuerza aplicada en esa dirección. Un enunciado alusivo a esta subcategoría es:

- *“El movimiento del cuerpo sobre el eje horizontal **X** se debe a que es un objeto que tiene una aceleración que hace que éste se mueva” (A3).*

La categoría 2 es alusiva al movimiento del objeto en la dirección **X** y no en la dirección **Y**; considerando que en esta dirección (**Y**) también hay fuerzas aplicadas. Esta categoría se divide en dos subcategorías; donde la subcategoría 2.1 hace referencia a que el movimiento sólo se da en la dirección **X** porque en la dirección **Y**, una fuerza (**N**) contrarresta a la otra (**mg**). La sumatoria de fuerzas en **Y** es cero ya que tienen la misma magnitud y dirección y sentido diferente. Algunos enunciados concernientes a esta subcategoría son:

- *“En el eje **Y** no hay movimiento debido a que las fuerzas **N<sub>y</sub>** y **P<sub>y</sub>** se encargan de mantener el cuerpo en un punto determinado, con respecto a la vertical, es como pensar que el objeto está en la posición cero con respecto a **Y**, en cambio en la horizontal la posición va aumentando” (A3).*
- *“En el eje **Y** no hay movimiento porque las fuerzas en **Y** se anulan ya que tienen igual magnitud pero sentido opuesto, en cambio en **X** la fuerza que se aplica también tendría una contrafuerza pero en este caso es más fácil vencer la inercia y hacer que el auto se mueva” (A5).*
- *“En el eje **Y** no hay movimiento porque las fuerzas en **Y** tienen sentidos opuestos e iguales magnitudes lo que hace que se conserve el equilibrio en **Y**” (A7).*

En la subcategoría 2.2 se ubica una respuesta dada que no tiene relación alguna con la pregunta planteada. Las categorías relacionadas con el concepto de fuerza, establecidas a partir del modelo “fuerzas sobre un cuerpo” se muestran en la tabla 3.

<b>Categoría 1:</b> El movimiento del cuerpo (del respectivo modelo) sobre el eje horizontal <b>X</b> se debe a factores como:	<b>Subcategoría 1.1:</b> El movimiento del cuerpo sobre el eje horizontal es debido a la aplicación de una fuerza horizontal paralela a ese eje.
	<b>Subcategoría 1.2:</b> El movimiento del cuerpo sobre el eje horizontal se debe a que es un objeto que tiene una aceleración; es decir, un cambio de velocidad que hace que éste se mueva.
<b>Categoría 2:</b> El objeto presentado en el modelo sólo se mueve en la dirección <b>X</b> y no en la dirección <b>Y</b> ; considerando que en esta dirección ( <b>Y</b> ) también hay fuerzas aplicadas.	<b>Subcategoría 2.1:</b> Porque en la dirección <b>Y</b> , una fuerza ( <b>N</b> ) contrarresta a la otra ( <b>mg</b> ). La sumatoria de fuerzas en <b>Y</b> es cero ya que tienen la misma magnitud y dirección y sentido diferente.
	<b>Subcategoría 2.2:</b> No da respuesta a la pregunta planteada.

**Tabla 3. Categorías para el concepto de fuerza en el modelo “Fuerzas sobre un cuerpo”**

En las sesiones 3, 4 y 5 correspondientes a la intervención en el aula, se trabajó con dos modelos presentados a los estudiantes; uno de ellos llamado “Fuerza de fricción en un plano horizontal” y un segundo modelo al que se le da el nombre de “Fuerza de fricción en un plano inclinado”.

En el modelo de “Fuerza de fricción en un plano horizontal” presentamos una situación en la que se tiene un objeto sobre un plano horizontal, al cual se le grafica su respectivo diagrama de fuerzas (la fuerza normal (**N<sub>y</sub>**), el peso (**P<sub>y</sub>**), la fuerza externa aplicada (**F<sub>x</sub>**) y la fuerza de fricción (**F<sub>fx</sub>**)). La interacción con este modelo le permite al alumno variar condiciones iniciales como la masa del objeto

( $m$ ), el coeficiente de fricción de las superficies en contacto ( $\mu$ ) y la fuerza externa aplicada ( $F_x$ ). Además, este modelo muestra las gráficas de posición, velocidad y aceleración contra tiempo; con el fin de posibilitar un mejor análisis de la situación física propuesta.

Con el cuestionario respectivo a este modelo pretendíamos lograr los siguientes objetivos: que los alumnos establecieran diferencias entre la fuerza de fricción que experimenta un cuerpo en estado de reposo bajo la acción de una fuerza aplicada en la dirección horizontal y la fuerza de fricción del mismo cuerpo en movimiento; que hicieran un análisis acerca de la magnitud de la fuerza de fricción  $F_f = \mu N$  que experimenta un cuerpo al moverse sobre una superficie plana horizontal y sobre una superficie con un cierto ángulo de inclinación; que diferenciaron la fuerza de fricción estática de la fuerza de fricción cinética; entre otros.

En el trabajo con este modelo (“Fuerza de fricción en un plano horizontal”), se introduce ya el concepto de fuerza de fricción; lo que nos permite establecer algunas categorías de acuerdo a las respuestas de los alumnos a cuestiones como las citadas en el párrafo anterior. Aunque todas las respuestas aportan una valiosa información; sólo algunas de ellas son consideradas para el establecimiento de categorías. La categoría 1 se construye con base en las respuestas a la pregunta 1, la cual indaga acerca de la diferencia que pueden establecer los alumnos entre la fuerza de fricción que experimenta un cuerpo en estado de reposo bajo la acción de una fuerza aplicada en la dirección del movimiento y la fuerza de fricción del mismo cuerpo en movimiento. La categoría 1, referente a la fuerza de fricción que experimenta un cuerpo en reposo comparada con la fuerza de fricción que experimenta un cuerpo en movimiento se divide en dos subcategorías; donde la subcategoría 1.1 está relacionada con el reconocimiento de la existencia de una fuerza de fricción estática para un cuerpo

que se encuentra en reposo y una fuerza de fricción cinética para un cuerpo en movimiento. Algunos enunciados de los estudiantes ilustran esta subcategoría:

- *“Las fuerzas de fricción son diferentes tanto en reposo (estática) como en movimiento (cinética), ya que en reposo la fuerza de fricción es igual a la fuerza aplicada hasta el límite de empezar el movimiento, y cuando éste se inicia se presenta la fuerza de fricción cinética que suele disminuir a diferencia de la fuerza de fricción estática máxima, ya que el objeto está en movimiento y necesita una fuerza más pequeña para mantener el movimiento” (A1).*
- 
- *“La fuerza de fricción estática tiene una magnitud diferente a la magnitud de la fuerza de fricción cinética, en el momento del movimiento. Un ejemplo muy común es un carro varado en reposo, es necesario emplear mucha fuerza para lograr que se comience a mover (o sea que la fuerza de fricción estática llegue a su valor máximo) pero ya es más fácil mantenerlo en movimiento, ya que “las fuerzas de fricción que operan sobre la superficie suelen disminuir” (A3).*

La subcategoría 1.2 está conformada por una respuesta un tanto confusa (A4).

La categoría 2, es concerniente a la relación de la fuerza de fricción con una fuerza externa aplicada  $\mathbf{F}$ . Esta categoría se divide en dos subcategorías; en la subcategoría 2.1, se considera que la aplicación de una fuerza externa  $\mathbf{F}$  aumenta la fuerza de fricción estática hasta un límite máximo ( $\mathbf{F}_{f_e, \text{máx}}$ ); hasta poner el cuerpo en movimiento, donde actúa la fuerza de fricción cinética. Algunos enunciados de los estudiantes relacionados con esta subcategoría son:

- *“La fuerza de fricción se divide en dos tipos, entonces, cuando el cuerpo está en reposo hay una fuerza llamada fricción estática actuando sobre*

*dicho cuerpo, al comenzar el movimiento la fuerza de fricción estática se convierte en una nueva fuerza de fricción llamada cinética. La fuerza de fricción se convierte, cambia, se transforma” (A3).*

- *“Si un cuerpo está en reposo y se le va incrementando fuerza  $F$  hasta que comienza un movimiento, la fuerza de fricción en este cuerpo es estática e incrementa hasta su punto máximo en donde comienza el movimiento y la fuerza de fricción se vuelve cinética. Nota: se ha demostrado que se necesita más fuerza para comenzar el movimiento que para mantenerlo por lo que la fuerza de fricción disminuye un poco después de comenzado el movimiento” (A8).*
- *“La fuerza de fricción al iniciarse el movimiento cambia de estática a cinética y puede disminuir conforme al movimiento continúe, si es acelerado la fuerza siempre será mayor a la fricción cinética, pero si es uniforme, la fuerza será igual a la fricción cinética” (A9).*

En la subcategoría 2.2, se considera que la fuerza de fricción llega a su estado máximo hasta que el cuerpo empieza a tomar un movimiento. Solamente una respuesta está incluida en esta subcategoría; y es evidente que este estudiante considera que una vez iniciado el movimiento la fuerza de fricción desaparece.

En la categoría 3, se hace referencia a la magnitud de la fuerza de fricción sobre una superficie plana horizontal y sobre un plano inclinado. Esta categoría se divide en dos subcategorías; en la subcategoría 3.1, se considera que la fuerza de fricción en una superficie plana es mayor que en un plano inclinado; pues la fuerza de fricción es proporcional a la fuerza normal  $\mathbf{N}$  y en el plano horizontal  $\mathbf{N} = m\mathbf{g}$ , mientras que en el plano inclinado  $\mathbf{N} = m\mathbf{g}\cos\theta$ . Los siguientes son enunciados que ilustran este hecho:

- “Como la fuerza de fricción es proporcional a la normal; es decir, que si la normal aumenta la fricción aumentará, si la normal disminuye la fricción disminuirá. La normal siempre está relacionada con el  $mg\cos\theta$  y como el  $\cos\theta$  va disminuyendo a medida que el ángulo aumenta, es decir, que se inclina el plano, la fuerza de fricción para un objeto que se desliza sobre una superficie plana horizontal es mayor que la fuerza de fricción sobre la misma superficie con un cierto ángulo de inclinación” (A2).
- “En el plano inclinado la magnitud de  $F_f$  es menor que en una superficie horizontal ya que la  $F_f$  depende de la normal y la normal en el plano inclinado es menor en magnitud ya que es igual a una componente del peso” (A5).
- “La fuerza de fricción en un plano horizontal es  $F_{fc} = \mu N$  y la normal es igual al peso; pero en un plano inclinado la normal sólo es una componente del peso  $F_{fc} = \mu N\cos\theta$ . Lo que hace que la fuerza de fricción en el plano inclinado sea menor a la presente en el plano horizontal” (A10).

En la subcategoría 3.2 ubicamos múltiples respuestas que aunque no responden a la pregunta planteada, evidencian el establecimiento de algunas relaciones interesantes; por ejemplo:

- “En el plano horizontal: la fuerza de fricción se mantiene igual a la fuerza externa hasta un punto donde el objeto comienza el movimiento. Al momento de éste iniciarse, la fricción disminuye porque se necesita una fuerza menor para mantener el movimiento y se puede dar en el movimiento, que la fuerza de fricción sea igual a la fuerza resultante si el movimiento es con velocidad constante o que la fricción sea menor pero con un valor constante cuando es un movimiento acelerado. En el plano inclinado: cuando se tiene un plano inclinado aparece una componente del

*peso equilibrada por la fricción, si aumentamos gradualmente la inclinación llegará la componente del peso a sobrepasar la fricción y en este punto comenzará el movimiento y la fricción se tornará cinética” (A1).*

La categoría 4, hace referencia a la fuerza de fricción y la aceleración de un objeto debido al aumento de su masa. Esta categoría se divide en dos subcategorías; la subcategoría 4.1, establece que al aumentar la masa del objeto, la fuerza de fricción aumenta por ser ésta proporcional a la normal **N** y la normal ser dependiente de la masa; y la aceleración disminuye por la relación **a = F/m**. Algunos enunciados alusivos a este punto son:

- *“Si aumenta la masa la fuerza de fricción aumenta porque esta depende de la normal y en un plano horizontal, esta es igual en magnitud al peso y la aceleración es menor teniendo en cuenta que **F = ma**” (A5).*
- *“Cuando aumenta la masa de un objeto aumenta la fuerza normal y por consiguiente aumenta la fuerza de fricción y la aceleración disminuye porque hay más resistencia al movimiento” (A8).*
- *“La fricción aumenta cuando se aumenta peso **F<sub>fc</sub> = μN**, **N = peso**. Y la aceleración se disminuye **F = m.a**, **a = F/m**” (A10).*

La subcategoría 4.2 está constituida por otras respuestas sin referencia a la pregunta planteada.

En la categoría 5, se muestra el reconocimiento de la existencia de fuerza de fricción estática para el modelo presentado cuando no hay movimiento; es decir, cuando la fuerza aplicada **F** es menor o igual que la fuerza de fricción estática **F<sub>f<sub>e</sub></sub>**. Se presentan algunos enunciados que ilustran esta categoría:

- *“Para el modelo, se puede afirmar que la fuerza de fricción es estática cuando la fuerza de fricción es mayor que la fuerza para mover el objeto ya que el objeto no se mueve” (A6).*
- *“Para el modelo, se puede afirmar que la fuerza de fricción es estática en el momento en el que la velocidad es cero, es decir que no hay movimiento” (A8).*

La categoría 6, se establece para el efecto atribuido a la fuerza de fricción y su relación con la velocidad y la aceleración. Esta categoría se divide en dos subcategorías; en la subcategoría 6.1, se considera que un objeto en movimiento se detiene debido a la fuerza de fricción; de lo contrario seguiría moviéndose. El objeto sufre una desaceleración que se manifiesta en disminución de la velocidad. Los siguientes enunciados son alusivos a esta subcategoría:

- *“El bloque se detiene porque la única fuerza que lleva fue la que le aplicamos, además sobre él está actuando una fuerza contraria al movimiento, además la velocidad del bloque va a disminuir por la fricción y éste va a desacelerar hasta que la  $\mathbf{a} = \mathbf{0}$ ” (A2).*
- *“Se detiene porque como no se le está aplicando una fuerza constante; la fricción va venciendo la fuerza que lleva el objeto. Para este caso a medida que la fricción hace efecto hay una disminución en la velocidad; y hay una desaceleración” (A6).*
- *“Se detiene porque en un plano horizontal la aceleración disminuye con el tiempo hasta detenerse “lo anterior si no se le aplica una fuerza externa constante”, en cuanto a la velocidad al haber una desaceleración la velocidad disminuye” (A10).*

En la subcategoría 6.2 se incluye una respuesta poco acertada con relación a la pregunta planteada.

Y por último en la categoría 7, se hace referencia al motivo por el cual la fuerza de fricción en el modelo presentado aparece graficada en la misma dirección y en sentido opuesto a la fuerza externa aplicada  $F$ . Esta categoría se divide en dos subcategorías; en la subcategoría 7.1, se considera que la fuerza de fricción es una fuerza que se opone al movimiento, es paralela a la fuerza aplicada  $F$  y en sentido opuesto a ella. Como enunciados correspondientes a esta subcategoría se citan los siguientes:

- *“La fuerza de fricción en el modelo presentado aparece graficada en la misma dirección y en sentido opuesto a la fuerza externa aplicada  $F$ . Pues la fuerza  $F$  se aplica con el fin de mover el objeto, por lo que se aplica en dirección del movimiento, la fuerza de fricción es opuesta al movimiento debido a que lo contrarresta, por eso es de sentido contrario a la fuerza aplicada” (A7).*
- *“La fuerza de fricción en el modelo presentado aparece graficada en la misma dirección y en sentido opuesto a la fuerza externa aplicada  $F$  porque la fuerza de fricción ejerce una función opuesta a la fuerza aplicada (hala el cuerpo en sentido opuesto) y así como la fuerza aplicada (en este caso) (no siempre la fuerza aplicada es paralela al plano) es paralela a la superficie. **Nota:** La  $F_f$  si es siempre paralela a la superficie” (A8).*
- *“La fuerza de fricción en el modelo presentado aparece graficada en la misma dirección y en sentido opuesto a la fuerza externa aplicada  $F$  debido a que la fricción siempre será una fuerza que se opone al movimiento y ya que el movimiento se da en la dirección en que se aplique la fuerza, entonces la fricción también será opuesta a la fuerza” (A9).*

Y en la subcategoría 7.2 se presenta una respuesta un poco confusa con respecto a la pregunta formulada. Las categorías relacionadas con el concepto de fuerza de fricción, establecidas a partir del modelo “fuerza de fricción en un plano horizontal” se muestran en la tabla 4.

<b>Categoría 1:</b> La fuerza de fricción que experimenta un cuerpo en reposo comparada con la fuerza de fricción que experimenta un cuerpo en movimiento.	<b>Subcategoría 1.1:</b> Para un cuerpo en reposo, la fuerza de fricción es estática; y para un cuerpo en movimiento, la fuerza de fricción es cinética.
	<b>Subcategoría 1.2:</b> La fuerza de fricción es la misma.
<b>Categoría 2:</b> Relación de la fuerza de fricción con una fuerza externa aplicada <b>F</b>	<b>Subcategoría 2.1:</b> La aplicación de <b>F</b> aumenta la fuerza de fricción estática hasta un límite máximo ( $F_{f_e,máx}$ ) hasta poner el cuerpo en movimiento, donde actúa la fuerza de fricción cinética.
	<b>Subcategoría 2.2:</b> La fuerza de fricción llega a su estado máximo hasta que el cuerpo empieza a tomar un movimiento.
<b>Categoría 3:</b> Acerca de la magnitud de la fuerza de fricción sobre una superficie horizontal y sobre un plano inclinado.	<b>Subcategoría 3.1:</b> La fuerza de fricción en una superficie plana es mayor que en un plano inclinado; pues la fuerza de fricción es proporcional a la fuerza normal <b>N</b> y en el plano horizontal $N = mg$ , mientras que en el plano inclinado $N = mg\cos\theta$
	<b>Subcategoría 3.2:</b> Múltiples respuestas que no responden a la pregunta pero evidencian el establecimiento de relaciones interesantes.
<b>Categoría 4:</b> Fuerza de fricción y aceleración de un objeto debido al aumento de su masa	<b>Subcategoría 4.1:</b> Al aumentar la masa del objeto, la fuerza de fricción aumenta por ser ésta proporcional a la normal <b>N</b> y la normal ser dependiente de la masa. La aceleración

	disminuye por la relación $a = F/m$
	<b>Subcategoría 4.2:</b> Otras respuestas.
<b>Categoría 5:</b> Reconocimiento de la existencia de fuerza de fricción estática para el modelo presentado cuando no hay movimiento; es decir, cuando la fuerza aplicada $F$ es menor o igual que la fuerza de fricción estática $F_f$ .	
<b>Categoría 6:</b> Efecto de la fuerza de fricción y su relación con la velocidad y la aceleración.	<b>Subcategoría 6.1:</b> Un objeto en movimiento se detiene debido a la fuerza de fricción; de lo contrario seguiría moviéndose. El objeto sufre una desaceleración que se manifiesta en disminución de la velocidad.
	<b>Subcategoría 6.2:</b> Otras respuestas.
<b>Categoría 7:</b> La fuerza de fricción graficada en la misma dirección y en sentido opuesto a la fuerza externa aplicada $F$ .	<b>Subcategoría 7.1:</b> La fuerza de fricción es una fuerza que se opone al movimiento, es paralela a la fuerza aplicada $F$ y en sentido opuesto a ella.
	<b>Subcategoría 7.2:</b> Otras respuestas.

**Tabla 4. Categorías para el concepto de fuerza de fricción en el modelo “Fuerza de fricción en un plano horizontal”**

El último modelo presentado a los alumnos es el llamado “Fuerza de fricción en un plano inclinado”. En este modelo se presenta una situación en la que se tiene un objeto sobre un plano inclinado; para este objeto, se presenta su respectivo diagrama de fuerzas (la fuerza normal ( $N_y$ ), las componentes del peso en  $X$  y en  $Y$ ; y la fuerza de fricción ( $F_{fx}$ )). Al interactuar con este modelo, el alumno tiene la posibilidad de variar condiciones iniciales como la masa del objeto ( $m$ ), el coeficiente de fricción de las superficies en contacto ( $\mu$ ) y el ángulo de inclinación del plano ( $\theta$ ). Y en este modelo, al igual que en los anteriores, se muestran las gráficas de posición, velocidad y aceleración contra tiempo; con el fin de posibilitar un mejor análisis de la situación física propuesta.

Con este modelo y su correspondiente cuestionario, pretendíamos principalmente que los alumnos reconocieran y nombraran cada uno de las fuerzas que hacían parte del diagrama; que expresaran la fuerza de fricción en términos del peso del objeto; que establecieran una relación entre la fuerza de fricción con la velocidad y la aceleración para un coeficiente de fricción igual a cero ( $\mu = 0$ ) y para un coeficiente de fricción mayor que cero ( $\mu > 0$ ), para el cual hay movimiento. Otras respuestas fueron encontradas con respecto a otras situaciones propuestas, pero no las consideraremos para nuestro análisis.

Para el modelo de “Fuerza de fricción en un plano inclinado” se establecieron tres categorías concernientes al concepto fuerza de fricción a partir de algunas de las respuestas de los alumnos al cuestionario correspondiente a este modelo. En la categoría 1, consideramos el reconocimiento de la fuerza de fricción y de las demás fuerzas (normal, y componentes rectangulares del peso) en un diagrama de fuerzas para un cuerpo que se desliza sobre un plano inclinado.

En la categoría 2, se hace referencia a la proporcionalidad de la fuerza de fricción con el peso, para un plano horizontal y un plano inclinado. Esta categoría se divide en dos subcategorías, considerando en la subcategoría 2.1, que la fuerza de fricción es proporcional al peso (**mg**) en un plano horizontal; y proporcional a una de las componentes rectangulares del peso (**mgcos $\theta$** ) en un plano inclinado. Algunos enunciados ilustran este hecho:

- *“La fuerza de fricción en el plano inclinado es proporcional a la componente del peso **mgcos $\theta$**  porque la normal sería igual a ésta; en comparación con el plano horizontal que sería proporcional directamente al peso y no a sus componentes. En el plano inclinado **Ff =  $\mu$ mgcos $\theta$ ” (A5)***

- *“En el plano horizontal, la fuerza normal tiene la misma magnitud que el peso pero sentido opuesto. La fuerza de fricción es  $F_f = \mu N$ ; por lo que en términos del peso la  $F_f$  es proporcional al peso. En el plano inclinado, la fuerza normal tiene la misma magnitud de la componente  $w \cos \theta$  del peso, pero sentido opuesto. La fuerza de fricción es  $F_f = \mu N$ ; por lo que en términos del peso la  $F_f$  es proporcional a la componente  $w \cos \theta$  del peso” (A8).*

En la subcategoría 2.2, se ubican otras respuestas que son poco pertinentes en relación con la pregunta planteada.

La categoría 3, es alusiva a la relación existente (en el modelo presentado) entre la fuerza de fricción con la velocidad y la aceleración para un coeficiente de fricción igual a cero ( $\mu = 0$ ) y para un coeficiente de fricción mayor que cero ( $\mu > 0$ ) para el cual hay movimiento. Esta categoría es dividida en dos subcategorías; en la subcategoría 3.1, se considera que para un coeficiente de fricción igual a cero, la aceleración es constante y mayor que para el caso en el que el coeficiente es mayor que cero; y esto hace que la velocidad aumente más rápido. Los siguientes enunciados de los estudiantes corresponden a esta subcategoría:

- *“ a. Cuando  $\mu = 0$ ; la aceleración permanece constante; a un valor mayor que cuando el coeficiente de fricción es mayor que cero, haciendo que la velocidad aumente de una forma más rápida. b. Cuando  $\mu > 0$ ; por ser  $\mu$  mayor que cero, éste contrarresta a medida de su valor la aceleración, siendo esta siempre constante pero a un menor valor, haciendo que el cambio o el valor de la velocidad a través del tiempo sea menor y cada vez menor ese cambio cuando aumentamos  $\mu$ ” (A1).*

- “Cuando el coeficiente de fricción es cero entonces  $F_f = 0$  y existiría una sola fuerza y la aceleración sería mayor al igual que la velocidad y la distancia recorrida, a diferencia de si tenemos un coeficiente de fricción, entonces la aceleración, la velocidad y la distancia dependerían del coeficiente de fricción” (A4).
- “En la situación planteada, cuando no hay fuerza de fricción la velocidad y la aceleración son mayores que cuando hay fricción” (A5).

La subcategoría 3.2, está conformada por una respuesta un tanto confusa en relación con lo que se pregunta. Las categorías relacionadas con el concepto de fuerza de fricción, establecidas a partir del modelo “fuerza de fricción en un plano inclinado” se muestran en la tabla 5.

<b>Categoría 1:</b> Reconocimiento de la fuerza de fricción y de las demás fuerzas (normal y componentes rectangulares del peso) en un diagrama de fuerzas para un cuerpo que se desliza sobre un plano inclinado.	
<b>Categoría 2:</b> Proporcionalidad de la fuerza de fricción con el peso, para un plano horizontal y un plano inclinado.	<b>Subcategoría 2.1:</b> La fuerza de fricción es proporcional al peso $mg$ en un plano horizontal; y proporcional a una de las componentes rectangulares del peso $mg\cos\theta$ en un plano inclinado.
	<b>Subcategoría 2.2:</b> Otras respuestas
<b>Categoría 3:</b> Para el modelo presentado, relación de la fuerza de fricción con la velocidad y la aceleración para un coeficiente de fricción igual a cero ( $\mu = 0$ ) y para un coeficiente de fricción mayor que cero ( $\mu > 0$ ) para el cual hay movimiento.	<b>Subcategoría 3.1:</b> Para un coeficiente de fricción igual a cero, la aceleración es constante y mayor que para el caso en el que el coeficiente es mayor que cero. Esto hace que la velocidad aumente más rápido.
	<b>Subcategoría 3.2:</b> Otras respuestas.

**Tabla 5. Categorías para el concepto de fuerza de fricción en el modelo “Fuerza de fricción en un plano inclinado”**

## 6.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para realizar el análisis de los datos obtenidos a partir de las respuestas de los alumnos se hizo una comparación entre las categorías iniciales establecidas con base en el cuestionario de indagación, para los conceptos de fuerza y fuerza de fricción y las categorías finales emergentes de las respuestas dadas a los cuestionarios respectivos a cada modelo para los mismos conceptos y su relación con otros conceptos subyacentes.

En la realización de este análisis se establecieron algunas relaciones entre los conceptos de fuerza y fuerza de fricción con otros conceptos como movimiento, fuerza de fricción estática y cinética, fuerza normal, masa, velocidad y aceleración. La primera de las relaciones es la que se da entre los conceptos de fuerza y movimiento. Al respecto, citamos las categorías 1, 2 y 3 para el concepto de fuerza, correspondientes al cuestionario inicial de indagación donde los alumnos daban respuesta acerca de lo que entendían por fuerza en relación con la idea de movimiento; un grupo de estudiantes definieron la fuerza como la causa del cambio en el estado del movimiento; entendiendo la fuerza como una acción ejercida sobre un objeto, la cual produce un cambio en su estado de movimiento. Este grupo de alumnos corresponde a un 50% de la muestra total; y aunque su respuesta se asemeja a la respuesta de la física con respecto al concepto de fuerza; o por lo menos al que nos referimos aquí considerando la fuerza como la acción que hace que un objeto cambie su estado de movimiento; ninguno de ellos justifica su respuesta en términos de su comprensión.

Otro grupo de estudiantes define la fuerza como la causa y al mismo tiempo como el efecto del cambio en el estado del movimiento; esta parte del grupo corresponde a un 30% de la muestra total; y un tercer grupo se refiere a la fuerza como el efecto del cambio en el estado del movimiento. Es claro identificar, a partir de las respuestas de estos dos últimos grupos, que ni siquiera comprenden

el significado de las palabras causa y efecto; y por lo tanto no les es posible establecer diferencia entre ellas; y mucho menos referirse a un concepto como el de fuerza en términos de otros conceptos incomprensibles. Estos dos últimos grupos corresponden al 30% y 20% respectivamente de la muestra total.

Para la misma relación entre movimiento y fuerza, revisamos las respuestas de los alumnos para las categorías 1 y 2 establecidas a partir del cuestionario para el modelo de “fuerzas sobre un cuerpo”. La categoría 1 se estableció a partir de las respuestas de los alumnos acerca de la causa que producía el movimiento del cuerpo sobre el plano horizontal mostrado en el respectivo modelo y nos encontramos con que la mayor parte del grupo reconoció que la causa de dicho movimiento se debe a la existencia de una fuerza neta aplicada en la dirección del movimiento; un 80% de la muestra total coincide con esta respuesta. Un 20% restante, se refiere a la existencia de movimiento atribuyendo al cuerpo una aceleración que permite que éste se mueva; sin embargo, no hace alusión a que la aceleración que adquiere este cuerpo es debido precisamente a la aplicación de una fuerza.

En la categoría 2 correspondiente al mismo cuestionario de “fuerzas sobre un cuerpo” para el concepto de fuerza se manifiesta la comprensión de los estudiantes sobre la relación entre fuerza y movimiento; y las magnitudes, direcciones y sentidos en que actúan las fuerzas; pues ellos afirman para el modelo de fuerzas que se les presenta, que en el eje  $Y$ ; aunque existen dos fuerzas, la normal y el peso, no hay ningún tipo de movimiento debido a que son fuerzas de igual magnitud y dirección pero en sentido opuesto; y que la sumatoria de estas fuerzas es cero, garantizando un equilibrio en el eje vertical. Esta afirmación corresponde a un 90% de los estudiantes y el 10% restante no responde a la pregunta.

La segunda relación que establecemos es con respecto al reconocimiento de la fuerza de fricción estática y fuerza de fricción cinética en estados de reposo y de movimiento respectivamente y su relación con una fuerza externa aplicada. En una de las preguntas planteadas a los estudiantes en el cuestionario inicial de indagación, a partir de la cual se establece la categoría 5 correspondiente a las categorías iniciales para el concepto de fuerza de fricción; observamos una gran diversidad de respuestas que van desde la idea de que el peso de un objeto disminuye cuando está en movimiento hasta concebir la existencia de una fuerza de fricción mayor cuando el objeto se encuentra en reposo (obviamente en presencia de una fuerza externa aplicada); sin embargo, aunque en esta última respuesta no se reconoce la existencia de fuerza de fricción estática y cinética y su relación con los estados de reposo y movimiento; por lo menos ya se menciona que la fuerza de fricción es mayor cuando está en reposo, aunque no se hace la salvedad de que sería la fuerza de fricción estática máxima la que sería mayor a la cinética. Esto significa que no se descarta la existencia de fuerza de fricción para un objeto en movimiento.

Por lo menos un 90% del grupo total estudiado no establece diferencia entre fuerza de fricción estática y cinética; es más ni siquiera hacen referencia a la existencia de estos dos tipos de fuerza; y por esta razón no logran relacionar la fuerza de fricción estática con un estado de reposo y la fuerza de fricción cinética con un estado de movimiento.

En una de las subcategorías correspondientes a esta categoría 5, se hace alusión a la fuerza de fricción estática como aquella que se debe superar para iniciar el movimiento. Esta respuesta se acerca más al reconocimiento de los tipos de fuerza de fricción y el estado en que actúan; pues se logra por lo menos establecer una relación entre fuerza de fricción estática con un estado de reposo; esta relación logra establecerla el 20% del grupo.

En búsqueda de la comprensión de estos conceptos se diseñó un material de aprendizaje llamado organizador previo consistente en un texto escrito donde se hacía explícita la diferencia entre los dos tipos de fuerza de fricción, su relación con estados de reposo y de movimiento y con otros conceptos subyacentes. A este organizador previo ya hicimos alusión en la sesión correspondiente a la metodología. Posteriormente se presentó a los alumnos un modelo en el que se estudiaban estos conceptos y le dimos el nombre de “fuerza de fricción en plano horizontal”.

Luego del trabajo con este modelo, de interactuar con él y de solucionar las preguntas y situaciones planteadas en el cuestionario correspondiente, la claridad conceptual que logran los alumnos acerca de estos conceptos, es tal que expresan manifiestamente que la fuerza de fricción que experimenta un cuerpo en reposo es llamada fuerza de fricción estática y es diferente de la fuerza de fricción cinética que se presenta para los cuerpos en movimiento. Esta relación se establece en la subcategoría 1.1 correspondiente a las categorías para el concepto de fuerza de fricción en el modelo “fuerza de fricción en un plano horizontal”; en esta subcategoría se sitúa el 90% de los estudiantes y el porcentaje restante correspondiente a la subcategoría 1.2, todavía no logra establecer diferencia entre los tipos de fuerza de fricción y manifiesta que en general la fuerza de fricción que actúa en estados de reposo o de movimiento es la misma.

La categoría 2 correspondiente a las categorías para el modelo de “fuerza de fricción en un plano horizontal” y que hace referencia a la relación de la fuerza de fricción con una fuerza externa aplicada nos permite evidenciar la comprensión de los estudiantes en el establecimiento de dicha relación. Ellos manifiestan que a medida que se aplica una fuerza externa  $F$ , la fuerza de fricción estática aumenta desde cero hasta un límite máximo (fuerza de fricción estática máxima) donde se inicia el movimiento y ya la fuerza de fricción es cinética. Con respecto a esta relación se presenta un caso específico en el cual un estudiante (A9) reconoce

que si el movimiento es acelerado es porque la fuerza externa aplicada  $F$  es mayor que la fuerza de fricción cinética; pero si el movimiento es uniforme entonces la fuerza externa aplicada es igual a la fuerza de fricción cinética. Aquí se hace evidente ya una relación de los conceptos de fuerza y fuerza de fricción con conceptos como velocidad y aceleración.

Los estudiantes que logran establecer estas relaciones corresponden al 90% del total de la muestra y se ubican en la subcategoría 2.1; y el 10% restante perteneciente a la subcategoría 2.2 afirma: “la fuerza de fricción llega a su estado máximo hasta que el cuerpo empieza a tomar un movimiento”. Es claro que este estudiante no reconoce entre fuerza de fricción estática y cinética; es más, considera que cuando hay movimiento ni siquiera existe fuerza de fricción.

La categoría 5 perteneciente a las categorías para el concepto de fuerza de fricción en el modelo “fuerza de fricción en un plano horizontal” también nos aporta información relevante para el reconocimiento de los dos tipos de fuerza de fricción. Al respecto, para el modelo presentado, la totalidad de los estudiantes concuerda en que se puede afirmar que para una fuerza externa aplicada  $F$ , la fuerza de fricción es estática sólo en el caso en que no hay movimiento; es decir, cuando el valor asignado a la fuerza externa aplicada es menor o igual que el que se le asigna en el modelo a la fuerza de fricción. Incluso, el alumno que en la categoría 2 consideraba que en movimiento no existía fuerza de fricción; ahora expresa lo siguiente: “la fuerza de fricción es estática cuando la fuerza que se le aplica al cuerpo es igual o menor que la fuerza de fricción, porque se necesitaría una fuerza mayor que la de fricción para que hubiese movimiento”. A partir de esta respuesta es posible interpretar que este alumno ya no descarta la existencia de fuerza de fricción para el caso en el que hay movimiento, expresando claramente que para que se dé el movimiento la fuerza externa aplicada debe ser mayor que la fuerza de fricción y no que deje de existir fuerza de fricción al iniciarse el movimiento como lo expresaba anteriormente.

Una tercera relación que encontramos es la que se da entre la fuerza de fricción con la fuerza normal  $\mathbf{N}$ , la masa  $\mathbf{m}$  y el peso  $\mathbf{mg}$  del cuerpo; y la evolución conceptual de los estudiantes la analizamos a partir de la comparación entre categorías iniciales y finales, que en este caso corresponden a la categoría 1 establecida con base en el cuestionario inicial de indagación para el concepto fuerza de fricción y las categorías finales corresponden a la categoría 4 del cuestionario “fuerza de fricción en un plano horizontal” y la categoría 2 del cuestionario “fuerza de fricción en un plano inclinado”.

En el cuestionario de indagación para el concepto de fuerza de fricción, el establecimiento de la categoría 1 se hizo con base en las respuestas de los alumnos a una situación planteada en la que se consideraba un cuerpo sobre una superficie plana horizontal y se preguntaba de qué factores era independiente la fuerza de fricción. Las respuestas encontradas fueron diversas; aunque se detectó cierta generalidad con respecto a la independencia de la fuerza de fricción con la fuerza normal que actúa sobre el cuerpo, donde una de las justificaciones era por ejemplo que la fuerza normal depende del peso del cuerpo sobre la superficie. Y por tal razón no encontraban ninguna relación entre ésta y la fuerza de fricción, posiblemente por las direcciones contrarias en las que estas fuerzas están aplicadas. Un 70% de los estudiantes consideran esta independencia.

Otro grupo de estudiantes consideraba la fuerza de fricción como independiente del área de contacto de los cuerpos; sin embargo uno de los estudiantes al justificar esta afirmación expresa lo siguiente: “cuando un cuerpo se encuentra sobre una superficie plana horizontal, la fuerza de fricción no depende de la rugosidad del área en contacto ya que influye es la masa del cuerpo, la rugosidad de las superficies en contacto y la fuerza normal que actúa sobre el cuerpo”. Es evidente que este estudiante presenta una confusión en lo relacionado con la rugosidad de las superficies en contacto que tiene que ver con la naturaleza de los cuerpos en contacto; es decir, con el coeficiente de fricción (el

cual si tiene una relación directa con la fuerza de fricción). Cuando expresa que la fuerza de fricción no depende de la rugosidad del área de contacto pero si de la rugosidad de las superficies en contacto, es indiscutible que se encuentra en una gran contradicción. Este grupo pertenece al 20% de los estudiantes; y el porcentaje restante afirma que la fuerza de fricción no depende de la masa del cuerpo, lo que implica de manera implícita que este estudiante tampoco encuentra relación alguna de la fuerza de fricción con la fuerza normal, ni de la fuerza normal con la masa del objeto.

Después del trabajo realizado con el modelo para “fuerza de fricción en un plano horizontal” se plantea a los alumnos una situación que da origen a la categoría 4 establecida para este modelo. En la situación se propone a los alumnos aumentar la masa del objeto que se desplaza en una superficie plana horizontal y observar lo que sucede con la fuerza de fricción y con la aceleración del mismo. La respuesta generalizada a esta pregunta es que al aumentar la masa del objeto, la fuerza de fricción aumenta por ser proporcional a la fuerza normal  $N$ ; y la fuerza normal ser dependiente de la masa del cuerpo.

Al interactuar con el modelo y modificar la variable masa, la variación en la magnitud de los vectores que representan el peso y la fuerza normal, permite visualizar claramente la relación existente entre la masa de un cuerpo y la fuerza normal que la superficie ejerce sobre éste. Además, al modificar el valor de la masa del cuerpo también varía considerablemente el vector correspondiente a la fuerza de fricción lo que permite a los alumnos establecer las relaciones de proporcionalidad que no lograron establecer en la etapa inicial de indagación. Los alumnos que logran establecer estas relaciones corresponden al 100% de la muestra; aunque con respecto a la aceleración del objeto (como lo veremos más adelante), sólo el 80% logra comprender la relación de ésta con la masa del cuerpo.

La categoría 2 correspondiente a las categorías para el concepto de fuerza de fricción en el cuestionario “fuerza de fricción en un plano inclinado” nos aporta información relevante acerca de la proporcionalidad de la fuerza de fricción con el peso de un cuerpo, tanto en un plano horizontal como en un plano inclinado. Los alumnos, a partir de la interacción con el modelo de fuerza de fricción en un plano horizontal lograron un buen nivel de claridad conceptual acerca de la relación de proporcionalidad entre la fuerza normal, la masa y el peso de un objeto. Ahora, cuando se les propone a partir de la interacción con el modelo de “fuerza de fricción en un plano inclinado”, expresar la fuerza de fricción en términos del peso y explicar su respuesta haciendo una comparación con el modelo para fuerza de fricción en un plano horizontal; los estudiantes manifiestan claramente que la fuerza de fricción es proporcional a la fuerza normal y que ésta en un plano horizontal es exactamente igual al peso  $mg$ ; por lo tanto la fuerza de fricción en este plano es proporcional al peso  $mg$ . Mientras en un plano inclinado, la fuerza de fricción sigue siendo proporcional a la fuerza normal, pero ahora esta fuerza es igual a una de las componentes rectangulares del peso; por lo tanto la fuerza de fricción para un objeto que se desliza sobre un plano con un cierto ángulo de inclinación ( $\theta$ ), es proporcional a  $mg\cos\theta$ .

El grupo estudiantes que logra establecer claramente esta relación corresponde a un 70% del grupo total. Los demás estudiantes presentan una dificultad que radica principalmente en diferenciar a cual de las dos componentes rectangulares del peso es proporcional la fuerza de fricción. Estos alumnos corresponden al 30% de la muestra estudiada.

Una cuarta relación detectada entre el concepto fuerza de fricción con otros conceptos hace referencia al efecto que tiene la fuerza de fricción y su relación con la velocidad y aceleración de un cuerpo. Para este análisis se consideró la categoría 2 correspondiente al concepto fuerza de fricción en el cuestionario de

indagación, las categorías 6 y 7 del cuestionario de “fricción en un plano horizontal” y las categorías 1 y 3 del cuestionario “fricción en un plano inclinado”.

Con respecto al efecto que tiene la fuerza de fricción sobre un cuerpo en movimiento, se estableció la categoría 2 para el cuestionario de indagación. En esta categoría es posible observar cierta diversidad conceptual acerca de la acción que realiza la fuerza de fricción sobre un cuerpo que se encuentra en movimiento. Poco más de la mitad de los estudiantes concuerdan en que el efecto de la fuerza de fricción sobre un cuerpo en movimiento se manifiesta en disminución de la velocidad hasta llevar al cuerpo al reposo. Esta respuesta es la que realmente más se acerca a la respuesta de la física para esta situación; considerando que en ausencia de fricción un cuerpo se movería indefinidamente; pues es precisamente la fuerza de fricción la que hace que los cuerpos que se encuentran en movimiento se detengan siempre y cuando no se aplique ninguna otra fuerza sobre ellos. Esta respuesta corresponde al 60% de los alumnos. Una segunda respuesta tiene que ver con el efecto de la fuerza de fricción en términos de adherencia a la superficie; lo cual es un efecto relacionado propiamente con la naturaleza de las superficies en contacto que obviamente tiene como efecto secundario hacer que un cuerpo que se desliza sobre otro se detenga. 10% de la muestra pertenece a esta segunda respuesta.

Una tercera respuesta se refiere a que el efecto de la fuerza de fricción sobre un cuerpo en movimiento es que ésta tiende a estabilizarlo. Sin embargo, esta respuesta no es clara; pues la estabilidad puede interpretarse bien, en términos de un estado de reposo o de velocidad constante. Un 10% del grupo pertenece a esta tercera respuesta y el 20% restante no responde.

Contrario a la diversidad de respuestas encontradas en la etapa inicial de indagación, encontramos solamente dos tipos de respuestas en la categoría 6 del cuestionario “fuerza de fricción en un plano horizontal” con respecto al efecto de la fuerza de fricción y su relación con conceptos como velocidad y aceleración. En

una primera respuesta, los estudiantes expresan con suficiente claridad que un objeto en movimiento se detiene por la existencia de una fuerza de fricción, que de lo contrario el objeto seguiría moviéndose; además, enuncian de manera explícita que debido a esa fuerza de fricción, el objeto que se mueve experimenta una desaceleración que se manifiesta en disminución de su velocidad. Esta respuesta es evidentemente una muestra de su evolución conceptual en términos del establecimiento de relaciones entre el concepto de fuerza de fricción con conceptos como velocidad y aceleración y corresponde al 90% del total del grupo estudiado. Y sólo uno de los estudiantes sin hacer mención alguna de la fuerza de fricción se refiere a que el cuerpo en movimiento se detiene por la ley de Newton que dice que todo cuerpo con movimiento uniforme tiende al reposo; una ley que por cierto no es enunciada de manera correcta, pues no hace claridad en que un objeto tiende a conservar su estado de reposo o de movimiento en línea recta con rapidez constante, a menos que se le aplique una fuerza externa neta que lo obligue a cambiar dicho estado.

La categoría 7 correspondiente a este mismo cuestionario, complementa de alguna manera la comprensión de los alumnos con respecto al efecto de la fuerza de fricción sobre un cuerpo en movimiento; pues al preguntársele a los alumnos acerca del significado que tiene el hecho de que en el modelo presentado la fuerza de fricción aparezca graficada en la misma dirección y en sentido opuesto a la fuerza aplicada, la generalidad de las respuestas se refiere a que la fuerza de fricción es una fuerza que se opone al movimiento y que es paralela a la fuerza externa aplicada  $\mathbf{F}$  y en sentido opuesto a ella. Esta es la respuesta de un 90% de los estudiantes y el 10% restante da una respuesta poco relacionada con lo que se le pregunta.

La categoría 1 establecida a partir del cuestionario “fuerza de fricción en un plano inclinado” nos da cuenta del reconocimiento que logra la totalidad del grupo de la fuerza de fricción, la fuerza normal y las componentes rectangulares del peso

en un diagrama de fuerzas para un cuerpo que se desliza sobre una superficie inclinada; donde una vez más aciertan en que la fuerza de fricción es aquella fuerza que se encuentra graficada en la misma dirección y en sentido opuesto al movimiento del cuerpo sobre el plano inclinado. También la categoría 3 correspondiente a este mismo cuestionario, nos permite evidenciar la relación que logran establecer los estudiantes del concepto fuerza de fricción con conceptos como velocidad y aceleración; pero esta vez relacionando estos conceptos con el coeficiente de fricción.

Esta categoría 3, surge de las respuestas de los alumnos a la siguiente situación planteada para el modelo físico estudiado: “para un valor constante de la masa y del ángulo de inclinación del plano, compare la relación entre fuerza de fricción con la velocidad y la aceleración del cuerpo: en un primer caso cuando el coeficiente de fricción sea igual a cero y en un segundo caso cuando este coeficiente sea mayor que cero (para el cual hay movimiento)”. La mayor parte de los alumnos concuerdan en que para un coeficiente de fricción igual a cero, la aceleración del cuerpo en este modelo es constante y además mayor que para el caso en que el coeficiente de fricción es mayor que cero; y el hecho de que la aceleración sea mayor cuando el coeficiente de fricción es igual a cero, hace que la velocidad aumente más rápido; es decir, que la velocidad para un coeficiente de fricción igual a cero sea mayor que la velocidad cuando el coeficiente de fricción es mayor que cero.

A esta relación que en cierta forma nos permite visualizar un avance conceptual de los estudiantes con respecto a la comprensión del concepto fuerza de fricción en relación con conceptos como velocidad, aceleración y coeficiente de fricción, hace alusión un 90% del total de la muestra y el 10% restante, en cambio, considera que para un coeficiente de fricción igual a cero, la velocidad y la aceleración (en este modelo) serían cero. Lo que se puede concluir es que este alumno dio respuesta a la situación planteada a partir de su intuición y no con

base en el modelo físico planteado; pues éste permitía visualizar claramente tales relaciones.

En una última relación establecida se hace referencia a la magnitud de la fuerza de fricción y su dependencia con la fuerza normal. Para realizar este análisis se hace una comparación entre dos categorías, una categoría inicial correspondiente a las establecidas a partir del cuestionario inicial para el concepto de fuerza de fricción y una categoría final que se establece con base en el cuestionario para el modelo de “fuerza de fricción sobre un plano horizontal”

Para el establecimiento de la categoría 3 del cuestionario inicial de indagación se considera una situación planteada en este cuestionario; donde se pregunta a los alumnos acerca del caso en que la magnitud de la fuerza de fricción es mayor; para estados de reposo y de movimiento de un bloque en una superficie horizontal e inclinada. Las respuestas son muy diversas y cubren todas las posibilidades que podrían darse; es decir, un primer grupo de alumnos considera que la fuerza de fricción entre el bloque y la superficie tiene mayor magnitud cuando el bloque está en reposo sobre la superficie plana horizontal (sin fuerzas aplicadas en dirección horizontal); desde luego, si se tiene el bloque en reposo sobre la superficie plana horizontal y no se le está aplicando ninguna fuerza, no podemos afirmar que existe fuerza de fricción, lo que significa que no sería este el caso en el que esta fuerza tuviera su mayor magnitud. A este grupo de alumnos pertenece el 30% de la muestra total.

Un segundo grupo afirma que la fuerza de fricción tiene mayor magnitud cuando el bloque se desliza sobre la superficie plana horizontal. Y es precisamente esta respuesta la que consideramos más cercana a la explicación física de este fenómeno; pues para el bloque que se desliza sobre la superficie plana horizontal, la fuerza de fricción es proporcional exactamente a su peso  $mg$ ; lo cual la haría de mayor magnitud que cuando es proporcional a la componente  $mg \cos \theta$  o cuando está en reposo sobre la superficie plana horizontal donde no

hay fuerzas externas aplicadas; pues en este caso, como ya lo expresamos en el párrafo anterior, no existe fuerza de fricción. Con esta respuesta concuerda sólo el 10% del grupo participante.

Un tercer grupo de alumnos expresa que la fuerza de fricción entre el bloque y la superficie tiene mayor magnitud cuando el bloque está en reposo sobre la superficie inclinada. En este caso es posible hablar de la existencia de fuerza de fricción ya que aunque no hay movimiento, hay una fuerza que actúa sobre el bloque y que podría generar movimiento, que es la componente  $mg\sin\theta$ ; pero la fuerza normal a la cual es proporcional la fuerza de fricción es igual a la componente del peso  $mg\cos\theta$  y para toda superficie con un cierto ángulo de inclinación, esta componente es menor que el peso  $mg$ . Un 40% de los alumnos se ubican en este grupo. Y un último grupo establece que la fuerza de fricción entre el bloque y la superficie es mayor cuando el bloque se desliza sobre la superficie inclinada. Al respecto, ya habíamos expresado que la fuerza de fricción (para el mismo bloque y la misma superficie), es proporcional a la fuerza normal  $N$  que es menor en la superficie inclinada ( $N = mg\cos\theta$ ) que en la superficie horizontal ( $N = mg$ ); por lo tanto esta respuesta tampoco es acertada para la situación planteada. Esta respuesta corresponde al 20% del grupo participante.

En búsqueda de la comprensión de la magnitud de la fuerza de fricción y su relación con el peso, sus componentes y la fuerza normal, se pide a los alumnos a partir de la interacción con el modelo correspondiente para el estudio de la fuerza de fricción en un plano horizontal, hacer un análisis sobre la magnitud de la fuerza de fricción que experimenta un cuerpo al moverse sobre una superficie plana horizontal y sobre una superficie con un cierto ángulo de inclinación. Un buen número de alumnos logra hacer explícita la dependencia directa de la fuerza de fricción con respecto a la fuerza normal; además, de identificar la mayor magnitud de la fuerza de fricción en el plano horizontal con respecto a su magnitud en el plano inclinado; expresándolo de la siguiente manera: En el plano horizontal e

inclinado, la fuerza de fricción es igual al coeficiente de fricción por la fuerza normal ( $F_f = \mu N$ ); pero en el plano horizontal,  $N = mg$ ; mientras que en el plano inclinado,  $N = mg \cos \theta$ ; es decir menor que el peso. Por lo tanto reconocen que para este caso la magnitud de la fuerza de fricción es mayor para un objeto que se desliza sobre un plano horizontal que para aquel que se desliza sobre el plano inclinado. Por lo menos un 50% de los alumnos logra comprender esta relación.

El resto de los alumnos, dan múltiples respuestas que poca relación tienen con el objetivo que se pretendía lograr al plantear esta situación. Por ejemplo uno de los alumnos presenta la siguiente confusión: " $F_f = \mu N$  en una superficie plana; si aumentamos  $N$  se va a mover el objeto con mayor facilidad; o sea que la magnitud de la fuerza será más grande; pero si aumentamos su  $\mu$  la magnitud de la fuerza disminuirá, aumentando el valor de la fricción". Para empezar, sabemos que si se aumenta la fuerza normal  $N$  es porque se aumenta el peso, lo que significa que será más difícil lograr que el objeto se mueva; pues obviamente la fuerza de fricción será mayor. Con respecto a este punto, la mitad del grupo todavía continúa presentando dificultades en la comprensión de estas relaciones.

En la tabla 6 se hace una síntesis de las relaciones establecidas entre los conceptos de fuerza y fuerza de fricción con otros conceptos y se muestran las categorías correspondientes a cada cuestionario, que aportan de manera significativa al establecimiento de tales relaciones; y que son comparadas con el fin de detectar procesos de evolución conceptual en los estudiantes.

RELACIONES DETECTADAS ENTRE CONCEPTOS	CATEGORÍAS INICIALES		CATEGORÍAS FINALES	
	Cuestionario	Categoría	Cuestionario	Categoría
<b>FUERZA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Relación entre movimiento y fuerza.</li> </ul>	Indagación F	1, 2, 3	Fuerzas sobre un cuerpo.	1, 2
<b>FUERZA DE FRICCIÓN</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuerza de fricción estática y cinética y su relación con estados de reposo y movimiento.</li> <li>• Fuerza de fricción relacionada con la fuerza normal, la masa y el peso del cuerpo.</li> <li>• Efecto de la fuerza de fricción y su relación con velocidad y aceleración.</li> <li>• Magnitud de la fuerza de fricción y su relación con la fuerza normal y el peso.</li> </ul>	Indagación Ff	5	Ff en un plano horizontal	1, 2, 5
	Indagación Ff	1	Ff en un plano horizontal	4
			Ff en un plano inclinado	2
	Indagación Ff	2	Ff en un plano horizontal	6, 7
			Ff en un plano inclinado	1, 3
	Indagación Ff	3	Ff en un plano horizontal	3

**Tabla 6. Relaciones detectadas entre los conceptos de fuerza y fuerza de fricción con otros conceptos**

### 6.3 ANÁLISIS DE CASOS PARTICULARES

Analizaremos de una manera sintetizada algunos casos particulares de evolución conceptual teniendo como criterio la coherencia y pertinencia de las respuestas de los alumnos con respecto a los conceptos estudiados y las relaciones establecidas entre ellos.

Por ejemplo, tenemos el caso del estudiante A2 quien en la etapa inicial de indagación acerca del concepto de fuerza, entiende ésta como la causa y al mismo tiempo el efecto del cambio en el estado del movimiento de un cuerpo; donde es evidente que el alumno no logra comprender el significado de las palabras causa y efecto; y por lo tanto no le es posible definir el concepto de fuerza en términos de éstas. Posteriormente, en la actividad de intervención en el aula, el alumno establece una clara relación entre el movimiento como efecto de la aplicación de una fuerza; y para el modelo con el cual interactúa lo expresa de la siguiente manera: *“el movimiento del cuerpo sobre el plano horizontal se debe a la fuerza ejercida horizontalmente que se da sobre dicho cuerpo”*

En la etapa de indagación se les plantea una situación para saber si reconocen los dos tipos de fuerza de fricción estática y cinética y si establecen diferencias entre ellas; pregunta a la cual el estudiante A2 se abstiene de responder. Sin embargo, en el trabajo con el modelo de “fuerza de fricción en un plano horizontal”, reconoce la existencia de fuerza de fricción estática para un cuerpo en reposo y fuerza de fricción cinética para un cuerpo en movimiento y hace referencia a este hecho expresando: *“la fuerza de fricción sobre un cuerpo en reposo y otro cuerpo en movimiento son diferentes, pues los coeficientes de fricción estáticos y cinéticos son diferentes. Cuando un cuerpo está en reposo y se le aplica una fuerza, la fuerza de fricción estática aumenta hasta un valor máximo e impide que el cuerpo se deslice y cuando está en movimiento la fuerza de fricción cinética es menor que la estática máxima”*.

El estudiante reconoce de manera apropiada que la fuerza de fricción estática máxima es mayor que la fuerza de fricción cinética.

El estudiante A2, tampoco da ninguna respuesta en el cuestionario de indagación, acerca del efecto que tiene la fuerza de fricción sobre un objeto que se encuentra en movimiento; y a partir de la interacción con los modelos físicos presentados en el aula, este estudiante reconoce claramente que un objeto en movimiento se detiene debido a la existencia de la fuerza de fricción; que de lo contrario, éste seguiría moviéndose. Así lo expresa: “Un objeto en movimiento se detiene debido a la existencia de la fuerza de fricción, de lo contrario éste seguiría moviéndose. El objeto se detiene porque la única fuerza que lleva fue la que le aplicamos, además sobre él está actuando una fuerza contraria al movimiento, además la velocidad del objeto va a disminuir por la fricción y éste va a desacelerar”; considerando además, que en la situación estudiada, la fuerza de fricción es una fuerza que se opone al movimiento, que es paralela a la fuerza externa aplicada  $\mathbf{F}$  y actúa en sentido opuesto a ella. Este estudiante reconoce también en un diagrama de fuerzas para un cuerpo que se desliza sobre un plano inclinado, las diferentes fuerzas que actúan sobre él; es decir, reconoce la fuerza de fricción y el sentido en que esta actúa, la fuerza normal, el peso y sus componentes.

Con respecto a la magnitud de la fuerza de fricción y su relación con la fuerza normal  $\mathbf{N}$ , en el cuestionario inicial, donde se indaga a los alumnos acerca de la magnitud de la fuerza de fricción en superficies horizontales e inclinadas y para estados de reposo y movimiento, el alumno A2 afirma que la fuerza de fricción tiene mayor magnitud cuando el bloque se desliza sobre la superficie plana horizontal; y aunque esta respuesta se acerca a la explicación física para estos fenómenos de fuerza de fricción, el alumno no da ninguna justificación para tal afirmación. Sin embargo, en el cuestionario posterior correspondiente al modelo de “fuerza de fricción en un plano horizontal”, este estudiante reconoce claramente

esta relación y lo expresa así: “Para la situación propuesta: “La fuerza de fricción tiene mayor magnitud cuando el objeto se desliza sobre una superficie plana horizontal porque la fuerza de fricción es proporcional a  $\mathbf{N}$  y  $\mathbf{N} = \mathbf{mg}$ . La fuerza de fricción es proporcional a la normal, es decir, que si la normal aumenta, la fricción aumentará, si la normal disminuye la fricción disminuirá. En una superficie inclinada, la normal siempre está relacionada con la componente del peso  $\mathbf{mg}\cos\theta$  y como el  $\cos\theta$  va disminuyendo a medida que el ángulo aumenta, es decir, que se inclina el plano, la fricción en una superficie plana horizontal es mayor que la fricción sobre una superficie con un cierto ángulo de inclinación”.

Un segundo caso de evolución que podemos analizar es el caso del estudiante A9. Este estudiante en la etapa de indagación, cuando se les plantea una situación para saber si reconocen los dos tipos de fuerza de fricción estática y cinética y si establecen diferencias entre ellas; posiblemente desde su intuición responde diciendo que la fuerza de fricción entre el bloque y la superficie es mayor cuando el bloque está en reposo; sin embargo, aunque considera la existencia de fuerza de fricción en los estados de reposo y de movimiento y además que la fuerza de fricción en reposo es mayor que cuando el cuerpo se mueve; él no se expresa para referirse a la fuerza de fricción, en términos de fricción estática y cinética y tampoco considera que la fuerza de fricción estática es mayor que la cinética pero cuando la fricción estática ha tomado su máximo valor. Este enunciado ilustra su respuesta: “*La fricción de la superficie sobre el objeto es mayor cuando éste está en reposo y por consiguiente es necesaria una fuerza mayor para moverlo. Si logra empujarse, la fricción disminuye y por lo tanto la fuerza requerida para moverlo también*”.

A partir del trabajo de aula con el modelo de fuerza de fricción en un plano horizontal, este estudiante reconoce la existencia de fuerza de fricción estática para un cuerpo que se encuentra en reposo y fuerza de fricción cinética para un cuerpo que se mueve y lo expresa como sigue: “*la fuerza de fricción para un*

*cuerpo en reposo y en movimiento, no es la misma fuerza porque en estado de reposo se presenta una fuerza de fricción estática que es igual a la fuerza que se aplica en dirección del movimiento, en cambio el cuerpo en movimiento, experimenta una fuerza de fricción cinética, y siendo la fuerza aplicada en dirección del movimiento mayor a ésta (fricción cinética) entonces el cuerpo no permanece en reposo, sino que se acelera*". Es claro el reconocimiento que hace el alumno de la existencia de estos dos tipos de fuerza de fricción y los estados en que actúan; sin embargo, no hace claridad acerca de que también hay movimiento si la fuerza aplicada es igual en magnitud a la fuerza de fricción cinética, pero en este caso el movimiento sería uniforme y por lo tanto la aceleración sería igual a cero.

No obstante, en otra situación planteada para el mismo modelo, el estudiante A9 expresa su comprensión con respecto a la relación entre la fuerza de fricción y una fuerza externa aplicada de la siguiente manera: *"la fuerza de fricción al iniciarse el movimiento cambia de estática a cinética y puede disminuir conforme el movimiento continúe, si es acelerado la fuerza aplicada siempre será mayor a la fricción cinética, pero si es uniforme, la fuerza aplicada será igual a la fricción cinética"*. Esto es una muestra de que este alumno está logrando una evolución en la comprensión de los conceptos y de las relaciones entre ellos; y cada que se le presenta una situación nueva, se vale de situaciones y conceptos previos que relaciona con la nueva situación para lograr dar una explicación satisfactoria.

El estudiante A9, quien en la etapa inicial de indagación considera que la fuerza de fricción es totalmente independiente de la fuerza normal que ejerce la superficie sobre el cuerpo; posteriormente, después de la actividad de intervención en el aula, el alumno considera que en una situación dada, al aumentar la masa del objeto, la fuerza de fricción aumenta por ser proporcional a la fuerza normal, la que a su vez depende de la masa del cuerpo. Estas son sus palabras al respecto:

“Si se aumenta la masa la fuerza de fricción aumenta, ya que esta fuerza es proporcional a la fuerza normal; cuando la masa es demasiado grande el objeto no se mueve (si la fuerza es pequeña). La aceleración también cambia: si la fuerza es igual a la fricción ya no hay aceleración y cuando la masa aumenta la aceleración disminuye” En su respuesta, este alumno considera nuevamente que para un objeto en movimiento, la fuerza de fricción es igual a la fuerza aplicada si el movimiento es uniforme; es decir, si no hay aceleración; lo que significa que la velocidad es constante. Siempre que el estudiante A9 da una respuesta a determinada situación, involucra y relaciona nuevos conceptos a la situación propuesta. Además, este alumno logra establecer claramente la relación de proporcionalidad que existe entre la fuerza de fricción y el peso  $mg$  para un objeto que se desliza sobre un plano horizontal y la proporcionalidad entre la fuerza de fricción y la componente del peso  $mg\cos \theta$  para un objeto que se desliza sobre un plano inclinado.

Con respecto a la magnitud de la fuerza de fricción y su relación con la fuerza normal  $N$ , en el cuestionario inicial, donde se indaga a los alumnos acerca de la magnitud de la fuerza de fricción en superficies horizontales e inclinadas y para estados de reposo y movimiento, el alumno A9 afirma que la fuerza de fricción tiene mayor magnitud cuando el bloque se desliza sobre la superficie inclinada; lo cual no puede ser cierto debido a que en un plano inclinado, la fuerza normal a la cual es proporcional la fuerza de fricción es igual a la componente del peso  $mg\cos \theta$  y para toda superficie con un cierto ángulo de inclinación, esta componente es menor que el peso  $mg$  que es el valor de la fuerza normal para el objeto que se desliza sobre el plano horizontal. Posteriormente, en el cuestionario correspondiente al modelo de “fuerza de fricción en un plano horizontal”, este estudiante reconoce claramente la relación entre fuerza de fricción, fuerza normal y peso para un objeto que se desliza sobre una superficie plana horizontal y una superficie inclinada.

## 7. CONCLUSIONES

Primero que todo es preciso destacar la importancia de incluir en las actividades de aprendizaje, el trabajo con herramientas computacionales específicamente para la enseñanza de la física. En nuestro caso, cuando proponemos una actividad experimental soportada en el uso del computador para el aprendizaje del concepto físico fuerza de fricción, haciendo uso del software interactivo Modellus 2.5, consideramos antes que nada las potencialidades que nos ofrece un software con estas características para el aprendizaje de conceptos físicos.

Modellus es una herramienta informática que puede utilizarse para la enseñanza de conceptos físicos ya sea en educación secundaria o en los primeros cursos de física a nivel universitario. Y en ambos casos es posible utilizarla en el aula de clase bien sea en una actividad experimental o como demostración de alguna situación física; dependiendo de los objetivos que con su uso pretendamos alcanzar. En nuestro caso utilizamos esta herramienta como instrumento fundamental para el trabajo experimental, permitiendo que los alumnos interactúen con ella, que conozcan el modelo matemático (ecuaciones) que permiten construir las gráficas y simulaciones correspondientes al fenómeno físico estudiado; además, que puedan manipular y modificar variables y analizar los resultados obtenidos con dichos cambios; permitiéndole al alumno realizar un gran número de experiencias con variación de distintos parámetros, y dedicar más tiempo a la discusión de los fenómenos y al análisis de los resultados y posibilitándole la construcción de una idea, representación, imagen o modelo mental a partir de imágenes externas; necesarias para la comprensión del mundo físico.

A partir de los modelos físicos que construimos con este software para la actividad experimental en la enseñanza de la física, permitimos al alumno estudiar

un fenómeno físico en un sistema ideal, controlar variables en un experimento, simular un fenómeno que no tiene la suficiente claridad o exactitud en la práctica real; y lo más importante la observación e interacción con los fenómenos físicos que permite una mejor comprensión de los conceptos físicos involucrados en dicha situación y la relación entre ellos. *“La utilización de simulaciones en computador es una técnica especialmente eficaz que permite a los estudiantes implicarse en los aspectos de la ciencia más creativos que facilitan la comprensión de la naturaleza de la práctica científica”* (Hodson 1994).

La posibilidad de utilizar esta herramienta y de construir modelos físicos a partir de la teoría de la Modelación Esquemática de Ibrahim Halloun (1996); concibiendo la modelación como un proceso cognitivo para la construcción y empleo del conocimiento en el mundo real; permite al alumno la comprensión de conceptos físicos tan abstractos como lo es el concepto fuerza de fricción; ya que a partir de la interacción con estos modelos es posible percibir la relación de este concepto con otros subyacentes como fuerza externa, masa, fuerza normal, coeficiente de fricción, velocidad, aceleración, entre otros; al tener la posibilidad de modificar diferentes variables y observar la influencia que estas tienen sobre el concepto en estudio. Y comprender que no es posible adquirir, asimilar y retener un concepto totalmente aislado, que su comprensión sólo es factible en términos de relaciones con otros conceptos.

Los resultados de este estudio indican que las actividades experimentales complementarias haciendo uso del software Modellus para la construcción de modelos físicos que constituyen el material potencialmente significativo, representan un avance importante en el desarrollo del proceso de aprendizaje significativo, a medida que se permite a los alumnos percibir la relevancia de las relaciones matemáticas subyacentes a los modelos físicos y reflexionar sobre situaciones físicas concretas que permiten la comprensión de los conceptos involucrados y las relaciones existentes entre ellos.

Un aspecto importante de resaltar en relación con una de las condiciones del aprendizaje significativo es la motivación que logran los estudiantes con este tipo de trabajo que se aleja un poco de la actividad experimental convencional e influye de manera positiva en su predisposición para aprender física. Esta motivación en los estudiantes se da tanto por el hecho de estar en contacto con una herramienta computacional y con un software interactivo con las características del Modellus, como por la posibilidad que tienen de percibir, observar, interactuar, comprender y relacionar conceptos físicos desde una nueva perspectiva, la modelación.

El grado de conceptualización alcanzado por los estudiantes después de la intervención, nos muestra que conceptos como fuerza y fuerza de fricción para los cuales inicialmente no se tenía un significado claro, ahora se logran comprender y esa comprensión se expresa en términos de las relaciones conceptuales que establecen entre estos conceptos con conceptos como movimiento, velocidad, aceleración, fuerza normal, masa, fuerza de fricción estática y fuerza de fricción cinética.

Como una perspectiva futura de investigación que surge a partir de la realización este trabajo es la posibilidad de construir otros modelos físicos para profundizar más en conceptos tan fundamentales para la física como es el concepto de fuerza y extenderlo al estudio de otros conceptos como por ejemplo los conceptos trabajo y energía. Y otra perspectiva futura sería la de pensar en vincular este tipo de modelos físicos con la teoría de los modelos conceptuales desde la perspectiva de (Greca y Moreira, 1997a) quienes definen los modelos conceptuales como representaciones externas, compartidas por una determinada comunidad y consistentes con el conocimiento científico que esa comunidad posee; y/o desde la perspectiva de (Norman, apud. Gentner y Stevens, 1983, p. 7) quien hace referencia a los *modelos conceptuales*, como aquellos modelos

inventados por profesores, investigadores, ingenieros, arquitectos, para facilitar la comprensión o la enseñanza de sistemas físicos o estados de cosas físicas.

## **8. ANEXOS**

### **8.1 ORGANIZADORES PREVIOS**

#### **8.1.1 Organizador previo para el concepto de fuerza**

### **INTERACCIONES Y FUERZAS**

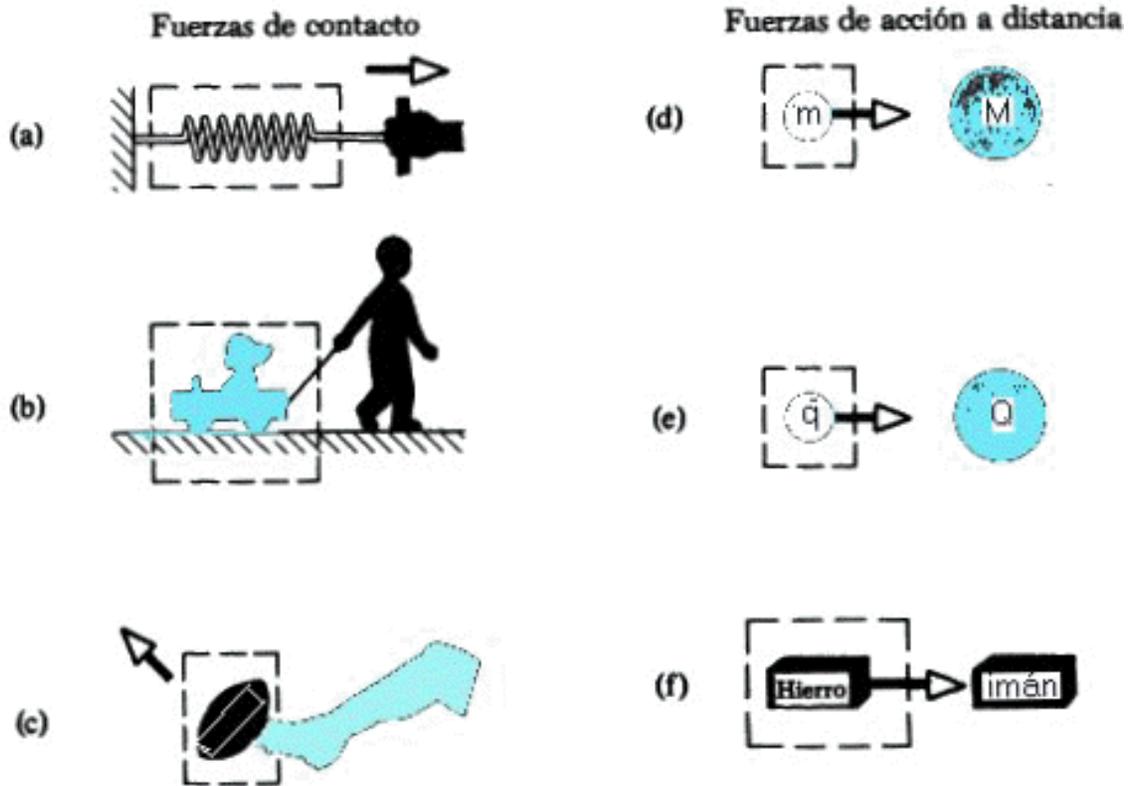
Para adentrarnos en el concepto de fuerza o más bien en lo que habitualmente se entiende como fuerza, es necesario antes plantear la pregunta ¿Qué es el movimiento? Podemos definir el movimiento como el cambio de la posición de un objeto en el tiempo; y para que un objeto comience a moverse, para que se mueva más rápido, más lento o se detenga, es decir para que cambie su estado de movimiento, es necesario que sobre él se aplique una acción externa que llamamos fuerza. Desde nuestra experiencia nos referimos al concepto de “fuerza” para hacer relación a la acción que un objeto ejerce sobre otro, cuando se está acelerando el objeto o cuando se está deformando (o está siendo deformado). Y cuando observamos cambios que tienen lugar a través de la acción o influencia que un objeto o grupo de objetos parece tener sobre otro objeto o grupos de objetos, decimos que tiene lugar una “interacción”. Al respecto, Newton se percató de que una fuerza no es algo aislado, ésta es parte de una interacción mutua, es decir de una interacción entre dos “cosas”, dos cuerpos o dos sistemas.

Damos el nombre de fuerza a la acción que hace que un objeto cambie su estado de movimiento; sin embargo, en la vida diaria podemos tener una imagen algo diferente del concepto de fuerza. Nosotros 'sentimos' o experimentamos una fuerza (una acción) cuando un bateador golpea una pelota, cuando un martillo

golpea un clavo, un boxeador golpea la cara de su oponente, o una cuerda hala un peso. Y es difícil reconciliar esta imagen sensorial de fuerza con la fuerza o interacción que existe por ejemplo entre el sol y la tierra. Lo que se tiene en ambos casos, es una interacción entre dos cuerpos. De manera que todas las fuerzas en la naturaleza corresponden a interacciones entre cuerpos situados a ciertas distancias o en contacto.

Se dice que existe interacción entre dos cuerpos cuando uno ejerce una acción de contacto, o a distancia, sobre el otro y el otro a su vez ejerce una acción sobre el primero. Si hay interacción entre dos objetos, hay una fuerza actuando sobre cada uno de ellos; cuando se habla de fuerzas sobre un cuerpo hay que considerar por lo menos dos cuerpos que interactúan.

Las fuerzas pueden ser clasificadas en fuerzas de contacto y fuerzas de acción a distancia. Las fuerzas de contacto son tipos de fuerzas en las que los objetos que interactúan están físicamente en contacto por ejemplo, la fuerza con que se empuja un objeto, la fuerza de fricción, etc (Figuras 1.a, 1.b, 1.c). Las fuerzas de acción a distancia son tipos de fuerzas en las que los objetos no están físicamente en contacto como la fuerza de atracción gravitatoria (Figura 1.d), la fuerza eléctrica (Figura 1.e) y la fuerza magnética (Figura 1.f).



**FIGURA 1**

En la figura se observan diversos cuerpos sobre los que se aplica una fuerza. Las fuerzas de contacto no son más que una descripción macroscópica de fuerzas de acción a distancia (fuerzas electromagnéticas entre un gran número de átomos que se encuentran muy próximos).

Para hacer una descripción completa de algunas cantidades físicas, tales como posición, velocidad, aceleración y fuerza, se requiere de una magnitud, una dirección y un sentido; estas cantidades son llamadas vectoriales. Diferente a las cantidades escalares para las que sólo se indica su magnitud, como la masa, el tiempo, la temperatura. Por lo tanto las fuerzas son vectores, puesto que deben ser especificadas tanto en magnitud como en dirección y sentido.

## FUERZAS FUNDAMENTALES

Existen cuatro tipos de fuerzas fundamentales que se dan a partir de interacciones entre las partículas que componen la materia, y son las responsables de la estructura del universo tal y como lo conocemos. Estas fuerzas son la fuerza gravitacional, la fuerza electromagnética, la fuerza nuclear fuerte y la fuerza nuclear débil.

La fuerza gravitacional es siempre atractiva; es decir, que dos cuerpos que interactúan son atraídos, y tal como se enuncia en la Ley de Gravitación Universal de Newton, esta fuerza es la responsable del movimiento de los planetas alrededor del Sol, de que los cuerpos caigan al suelo, del movimiento de las galaxias, entre otras. La interacción gravitatoria, que es la más débil de todas las fuerzas, mantiene globalmente la Tierra y enlaza el Sol y los planetas dentro del sistema solar.

La segunda fuerza fundamental es la fuerza electromagnética. En 1860 el físico escocés James Clerck Maxwell demostró que las fuerzas electrostáticas y las fuerzas magnéticas, que se creía eran de distinto origen, no eran sino dos manifestaciones distintas de un nuevo campo de fuerza que denominó electromagnético y un ejemplo de ellas son las interacciones entre átomos y moléculas. La fuerza electrostática se da entre cargas eléctricas y es de tipo atractivo si las cargas en juego son de distinta naturaleza (positiva - negativa), y de tipo repulsivo (es decir, las cargas se repelen) si las cargas en juego tienen la misma naturaleza (positiva – positiva o negativa - negativa). Un ejemplo de esta fuerza se presenta cuando objetos que han sido frotados con algún otro material, atraen o repelen uno u otro cuerpo. Un ejemplo de la fuerza magnética se da cuando un imán atrae trozos de hierro; y cuando dos imanes, dependiendo de las orientaciones de sus polos, se atraen o se repelen. La fuerza electromagnética juega un papel fundamental en muchos procesos cotidianos, es la responsable de

fenómenos como el rozamiento, la cohesión de un tejido, la formación de soluciones y la conducción eléctrica, etc. En la práctica, las fuerzas que uno "siente" o experimenta en la vida diaria son de tipo electromagnético, con la notable excepción de la atracción gravitacional de la Tierra (la fuerza "peso"). Incluso fuerzas que tienen aparentemente otro origen, como las de fricción o las que aparecen en choques de vehículos, o las reacciones químicas, etc, son de naturaleza electromagnética.

El tercer tipo de fuerza es la llamada interacción nuclear fuerte o interacción fuerte. Esta fuerza se observa a escala muy reducida; de hecho, opera únicamente en las dimensiones de los núcleos atómicos. La interacción fuerte aglutina los nucleones; agrupa íntimamente neutrones y protones para formar los núcleos de todos los elementos. Es la fuerza más intensa conocida en la naturaleza y de un alcance muy corto. Es la interacción dominante de la física nuclear de alta energía.

El cuarto y último tipo de fuerza que puede ser observada en la naturaleza se denomina interacción nuclear débil o interacción débil. De forma análoga a lo que ocurre en los núcleos atómicos, otras partículas como los electrones interactúan también entre ellas, pero con una fuerza muy pequeña, de hecho, mucho más pequeña que la fuerza electromagnética, pero es una fuerza básica para entender conceptos como la fusión nuclear. La interacción débil se da entre las partículas elementales ligeras (los leptones: electrones, neutrinos y muones). Este tipo de interacción no puede formar estados estables de la materia en el sentido en que la fuerza gravitatoria puede formar un sistema solar o la electrostática un átomo de hidrógeno.

## LAS LEYES DE NEWTON

Las leyes del movimiento que aquí se presentan son generalizaciones que resultan de un análisis cuidadoso de los movimientos que observamos a nuestro alrededor. En 1695, Newton formuló sus leyes del movimiento, las cuales reemplazaron las ideas aristotélicas que habían dominado el pensamiento de los científicos durante casi 2000 años.

### PRIMERA LEY DEL MOVIMIENTO DE NEWTON: LEY DE LA INERCIA

Esta ley puede ser enunciada de la siguiente forma:

***“Todo objeto tiende a conservar su estado de reposo o de movimiento en línea recta con rapidez constante, a menos que se le aplique una fuerza externa neta que lo obligue a cambiar dicho estado”.***

Lo que quiere decir que un cuerpo sometido a dos fuerzas estará en equilibrio si la resultante de esas dos fuerzas originadas sobre él se anula. Con más de dos fuerzas se puede producir el equilibrio si la resultante de todas las fuerzas que se ejercen sobre el cuerpo es cero.

Matemáticamente podemos expresar esta ley como sigue:

$$\sum_{i=1}^N F_i = 0$$

La primera ley de Newton es llamada también principio de inercia; todo cuerpo continúa en reposo o velocidad constante si no hay fuerzas externas que

actúen sobre el. En ausencia de fuerzas, los objetos en movimiento tienden a moverse indefinidamente en línea recta.

La primera ley de Newton se hace evidente en muchas situaciones cotidianas; por ejemplo, cuando dejamos de pedalear en la bicicleta y ella sigue avanzando dejamos de remar y el bote sigue avanzando, tomamos una piedra, la "aceleramos" con la mano, y la piedra sale volando, sin que nadie la empuje mientras sigue en vuelo. Naturalmente, los ejemplos citados muestran que la bicicleta, el bote y la piedra se detienen o cambian su trayectoria. Esto indica la presencia de fuerzas externas como fricción, viscosidad y peso.

## SEGUNDA LEY DEL MOVIMIENTO DE NEWTON: FUERZA Y ACELERACIÓN

La segunda ley de Newton puede enunciarse de la siguiente manera:

***“La aceleración que adquiere un objeto por acción de una fuerza neta aplicada es directamente proporcional a la magnitud de la fuerza aplicada, tiene la misma dirección y sentido que dicha fuerza neta y es inversamente proporcional a la masa del cuerpo sobre el cual se aplica la fuerza”.***

Lo que quiere decir que si sobre un cuerpo existe una única fuerza, éste nunca estará en equilibrio; pues la fuerza que se ejerce sobre él hace que se mueva con una aceleración.

Matemáticamente puede expresarse esta segunda ley así:

$$a = \frac{F}{m}$$

donde  $F$  es la fuerza aplicada,  $a$  la aceleración y  $m$  la masa.

De la expresión para la fuerza se observa que si  $F = 0$  entonces  $a = 0$  y se llegara a la primera ley de Newton, o principio de inercia.

### TERCERA LEY DEL MOVIMIENTO DE NEWTON: ACCIÓN Y REACCIÓN

La tercera ley de Newton puede enunciarse así:

***“Cuando un objeto ejerce una fuerza sobre otro objeto, el segundo objeto ejerce sobre el primero una fuerza de igual magnitud y en sentido opuesto”.***

Lo anterior significa que, las fuerzas en la naturaleza se presentan por pares, fuerza de acción y fuerza de reacción; pero hay que considerar que las fuerzas de la interacción son de igual dirección y magnitud, pero de punto de aplicación y sentidos contrarios.

Cuando estamos parados en el piso nuestro cuerpo ejerce una fuerza igual pero de sentido contrario a la que hace el piso para soportarnos. Igualmente, cuando empujamos una puerta, la fuerza que ejercemos sobre la puerta es igual pero de sentido contrario a la que la puerta ejerce sobre nosotros, solo que nuestra masa hace que el rozamiento con el piso no nos permita movernos; la puerta en cambio se mueve fácilmente. Es bueno aclarar que este par de fuerzas se aplican sobre cuerpos diferentes, si fuera sobre el mismo cuerpo se daría una suma de fuerzas igual a cero y no habría movimiento.

A partir de esta ley, se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Es imposible la existencia de una fuerza aislada. Las fuerzas siempre aparecen "en pares".
- Las dos fuerzas que aparecen son llamadas *acción* y *reacción*. Cualquiera de ellas puede ser llamada acción, correspondiendo a la otra ser reacción.
- Las fuerzas de acción y reacción siempre actúan sobre cuerpos diferentes.

### 8.1.2 Organizador previo para el concepto fuerza de fricción

## FUERZA DE FRICCIÓN

Cuando un cuerpo está en movimiento sobre una superficie, o cuando un objeto se mueve a través de un medio viscoso, como el aire o el agua, existe una resistencia al movimiento debido a la interacción del objeto con el medio que le rodea. A una fuerza de resistencia de esta naturaleza se le conoce como fuerza de rozamiento o de fricción.

La fuerza de fricción surge de una interacción electromagnética que se manifiesta al poner en contacto dos superficies. Para un cuerpo que se desliza sobre una superficie, esta fuerza actúa en la misma dirección y en sentido opuesto al movimiento y se representa por un vector paralelo a las superficies en contacto. La fuerza de fricción entre las dos superficies depende directamente del tipo de materiales en contacto y de la intensidad con que una comprime a la otra. Esta fuerza no se limita sólo a los cuerpos sólidos que resbalan uno sobre otro; también hay fricción en los líquidos y en los gases, llamados fluidos. La fricción en un fluido aparece cuando un objeto que se mueve a través del fluido desplaza algo de fluido hacia los costados.

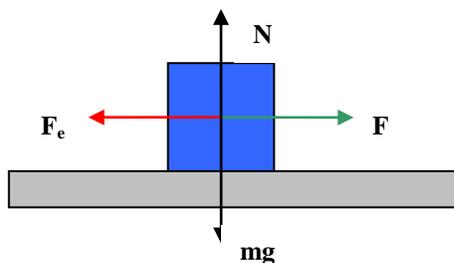
La fuerza de fricción entre sólidos se debe a la interacción entre las moléculas de las dos superficies en contacto. Así, en la fricción interviene un

número extremadamente grande de moléculas de los dos cuerpos que hace muy difícil calcular teóricamente la fuerza resultante. Por tanto, las fuerzas de fricción son determinadas experimentalmente; pues el fenómeno es bastante complejo y depende de muchos factores tales como la condición y la naturaleza de las superficies en contacto. Por lo tanto, debe reconocerse que la magnitud de la fuerza de fricción dada por  $\mathbf{F}_f = \mu N$  (donde  $\mu$  es el coeficiente de fricción y  $N$  la fuerza normal entre las superficies en contacto) no es una ley física en el mismo sentido que las leyes de Newton; es más bien una aproximación empírica que ofrece predicciones sobre la fuerza real entre dos cuerpos que se deslizan entre sí.

Existen dos tipos de fuerza de fricción, la fuerza de fricción estática y la fuerza de fricción cinética:

### ***Fuerza de fricción estática***

Esta fuerza de fricción se manifiesta entre dos objetos que no están en movimiento relativo. Es decir, que al aplicar una fuerza  $\mathbf{F}$  que aumenta gradualmente sobre el bloque (figura 1), éste permanece en reposo. En este caso, la fuerza  $\mathbf{F}$  aplicada es igual y opuesta a la fuerza de fricción estática  $\mathbf{F}_e$ , ejercida por la superficie.



**Figura 1**

La fuerza máxima de fricción estática entre un par de superficies secas sin lubricar, está sujeta a dos leyes empíricas:

1. Es independiente del área de contacto.
2. Es proporcional a la fuerza normal.

Es decir,

$$\mathbf{F}_e \leq \mu_e \mathbf{N},$$

donde la constante de proporcionalidad  $\mu_e$  se denomina *coeficiente de fricción estática*. Por tanto, la fuerza de fricción estática varía desde cero hasta un cierto límite máximo para impedir que una superficie se deslice sobre otra.

La máxima fuerza de fricción estática  $\mathbf{F}_{e \text{ máx}}$ , corresponde al instante en que el bloque está a punto de deslizar. El signo de igualdad aparece sólo cuando  $\mathbf{F}_e$  posee su valor máximo; es decir,

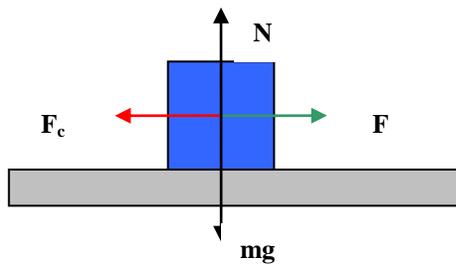
$$\mathbf{F}_{e \text{ máx}} = \mu_e \mathbf{N}.$$

### ***Fuerza de fricción cinética***

Una vez iniciado el movimiento, las fuerzas de fricción que operan entre las superficies suelen disminuir, de modo que se necesita una fuerza más pequeña para mantener el movimiento uniforme. A las fuerzas que actúan entre superficies en movimiento relativo, se les conoce como fuerzas de fricción cinética. La fuerza de fricción cinética está sujeta a las dos mismas leyes que la fricción estática.

La relación de la magnitud de la fuerza de fricción cinética a la fuerza normal, se llama *coeficiente de fricción cinético*.

$$\mathbf{F}_c \leq \mu_c \mathbf{N}.$$



**Figura 2**

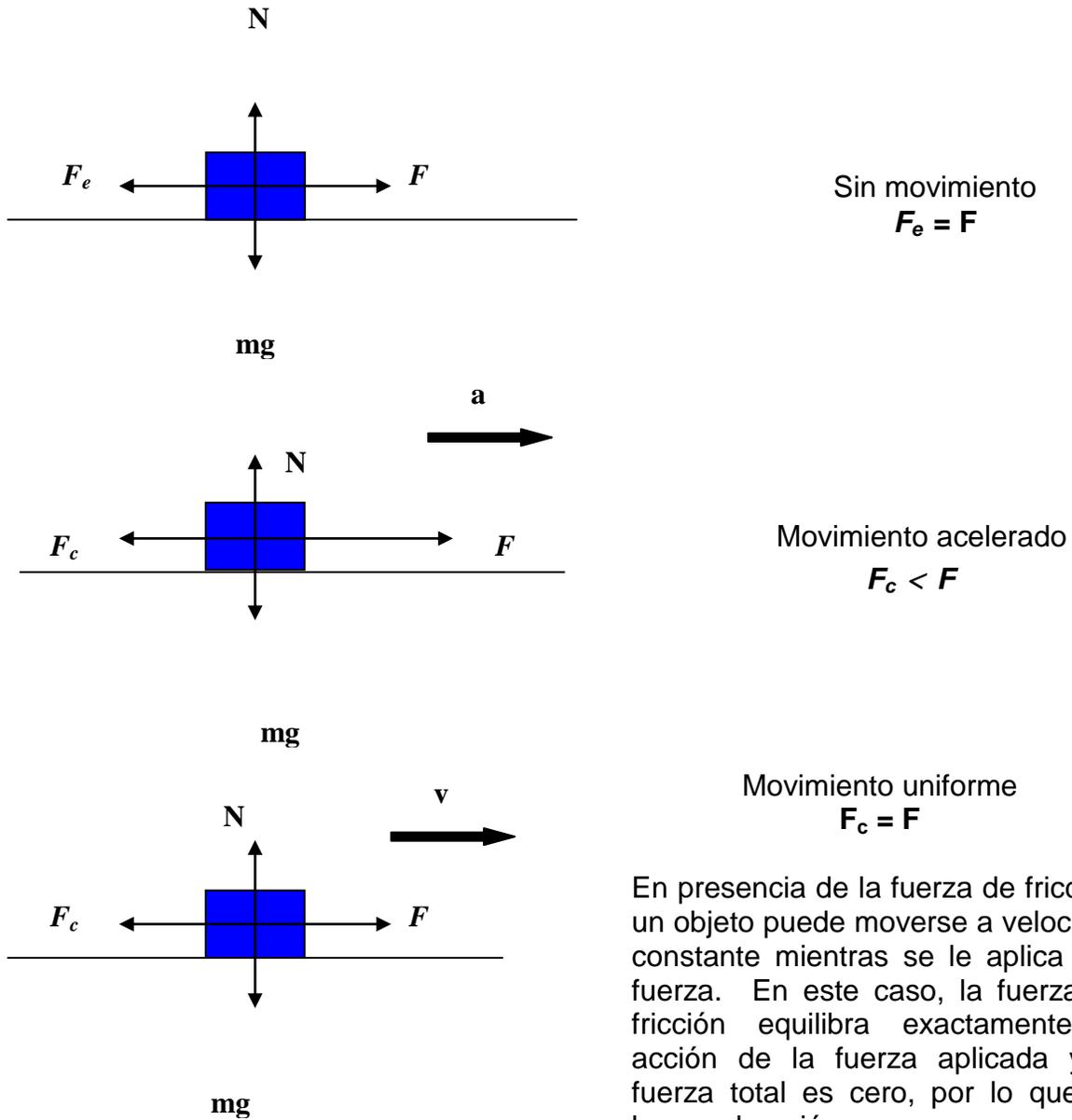
Si el bloque que se presenta en la figura 2 se desliza con velocidad constante, la fuerza aplicada **F** será igual a la fuerza de fricción **F<sub>c</sub>**.

La fuerza de fricción cinética **F<sub>c</sub>** es proporcional a la fuerza normal **N**, así

$$\mathbf{F}_c = \mu_c \mathbf{N}.$$

Los coeficientes de fricción (estático y cinético) son constantes adimensionales, pues son la relación entre la magnitud de dos fuerzas y su valor depende únicamente de la naturaleza de las dos superficies en contacto.

**Diagrama de fuerzas plano horizontal en para un cuerpo (tratado como partícula de masa puntual) que se desplaza sobre un presencia de fuerzas de fricción**



**Figura 3**

## Representación gráfica del movimiento de un cuerpo bajo el efecto de la fuerza de fricción estática y cinética

En respuesta a una fuerza externa aplicada, la fuerza de fricción aumenta hasta  $F_{e \text{ máx}}$ , que es exactamente el punto en el cual se inicia el movimiento y una vez, el objeto está en movimiento, la fuerza de fricción que actúa es la cinética  $F_c$ , siendo ésta menor que la fuerza de fricción estática máxima  $F_{e \text{ máx}}$ .

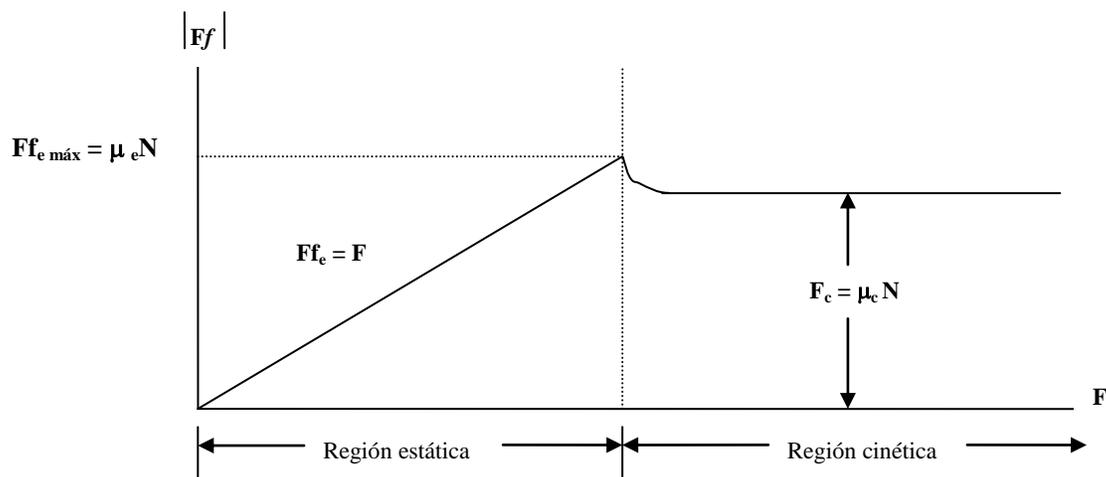


Figura 4

Históricamente, el estudio del rozamiento comienza con Leonardo da Vinci quien dedujo las leyes que gobiernan el movimiento de un bloque rectangular que desliza sobre una superficie plana. Sin embargo, este estudio pasó desapercibido. En el siglo XVII Guillaume Amontons, físico francés, redescubrió las leyes del rozamiento estudiando el deslizamiento seco de dos superficies planas. Las conclusiones de Amontons son esencialmente las que estudiamos en los libros de Física General:

- La fuerza de rozamiento se opone al movimiento de un bloque que desliza sobre una superficie plana.
- La fuerza de rozamiento es proporcional a la fuerza normal que ejerce el plano sobre el bloque.
- La fuerza de rozamiento no depende del área aparente de contacto.

El científico francés Charles Coulomb XVII añadió una propiedad más

- Una vez empezado el movimiento, la fuerza de rozamiento es independiente de la velocidad.

## 8.2 CUESTIONARIOS

### 8.2.1 Cuestionario inicial de indagación

#### **CUESTIONARIO PARA ESTUDIANTES DE LABORATORIO DE FÍSICA I FUERZAS Y FUERZAS DE FRICCIÓN**

#### **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN EN ENSEÑANZA DE LA FÍSICA**

Nombre: \_\_\_\_\_ carné: \_\_\_\_\_

En este cuestionario sobre generalidades de fuerzas y en particular de fuerzas de fricción se presentan una serie de preguntas:

- Las preguntas 1-7 son de selección múltiple con única respuesta, la cual debe ser justificada al final de cada pregunta.
- Las preguntas 8 y 9 debe responderlas basado en su criterio

1. Una fuerza se entiende como:

- a. el efecto del cambio en el estado del movimiento
- b. la causa del cambio en el estado del movimiento
- c. la causa y efecto del cambio en el estado del movimiento
- d. el estado del movimiento de un cuerpo

**Justifique su respuesta:**

---

---

---

---

2. Si un objeto se desliza con una velocidad inicial  $V_0$  sobre una superficie horizontal, ¿Qué hace que éste en un momento determinado se detenga?
- a. La velocidad inicial con la que se lanzó
  - b. La fuerza que ejerce el objeto sobre la superficie
  - c. La fuerza de fricción que ejerce la superficie sobre el objeto
  - d. La tendencia del objeto a lograr un estado de reposo.

**Justifique su respuesta:**

---

---

---

---

3. Considere un cuerpo sobre una superficie plana horizontal, la fuerza de fricción no depende de:
- a. la masa del cuerpo
  - b. el área de contacto
  - c. la rugosidad de las superficies en contacto
  - d. la fuerza normal que actúa sobre el cuerpo

**Justifique su respuesta:**

---

---

---

---

4. Para un cuerpo que se desliza sobre una superficie, la fuerza de fricción actúa:
- a. en el mismo sentido del movimiento
  - b. en sentido opuesto al movimiento
  - c. en el sentido de la fuerza normal

- d. en el sentido contrario a la fuerza normal

**Justifique su respuesta:**

---

---

---

---

5. ¿A medida que se aumenta una fuerza externa horizontal sobre un cuerpo que está en contacto con una superficie horizontal, qué sucede con la fuerza de fricción estática?

- a. Aumenta hasta su valor máximo si el cuerpo permanece en reposo
- b. Permanece constante si el cuerpo permanece en reposo
- c. Aumenta hasta su valor máximo si el cuerpo está en movimiento
- d. Si el cuerpo está en movimiento es igual al valor máximo de la fricción estática

**Justifique su respuesta:**

---

---

---

---

6. ¿En qué caso la fuerza de fricción entre un bloque y una superficie tiene mayor magnitud?:

- a. Cuando el bloque se desliza sobre la superficie plana horizontal
- b. Cuando el bloque se desliza sobre la superficie inclinada
- c. Cuando el bloque está en reposo sobre la superficie horizontal (sin fuerzas aplicadas en dirección horizontal)
- d. Cuando el bloque está en reposo sobre la superficie inclinada

**Justifique su respuesta:**

---

---

---

---

7. De las siguientes opciones señale la que no corresponde al efecto de la acción de una fuerza sobre un objeto:

- a. cambio en el estado del movimiento
- b. cambio en la magnitud de la velocidad
- c. cambio en la dirección del movimiento
- d. cambio en la magnitud del peso del objeto

**Justifique su respuesta:**

---

---

---

---

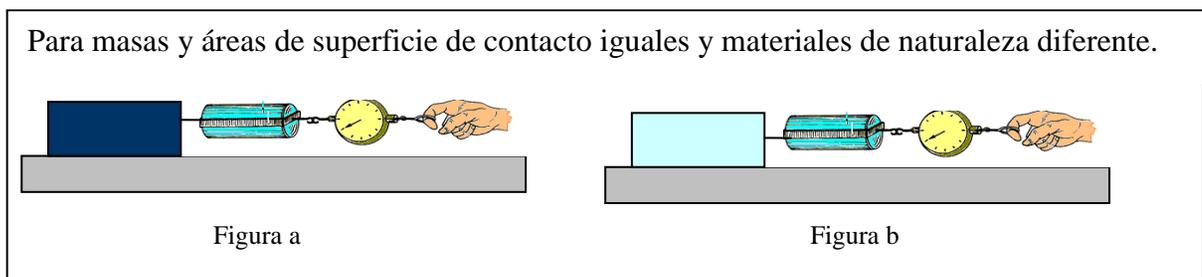
8. ¿Qué efecto tiene la fuerza de fricción sobre un cuerpo en movimiento?

9. Si usted empujara una pesada caja que está en reposo, necesitaría cierta fuerza  $F$  para que inicie su movimiento. Sin embargo, una vez en movimiento, sólo se necesitaría una fuerza ligeramente menor para mantener ese movimiento. ¿Por qué?

## SITUACIONES FÍSICAS

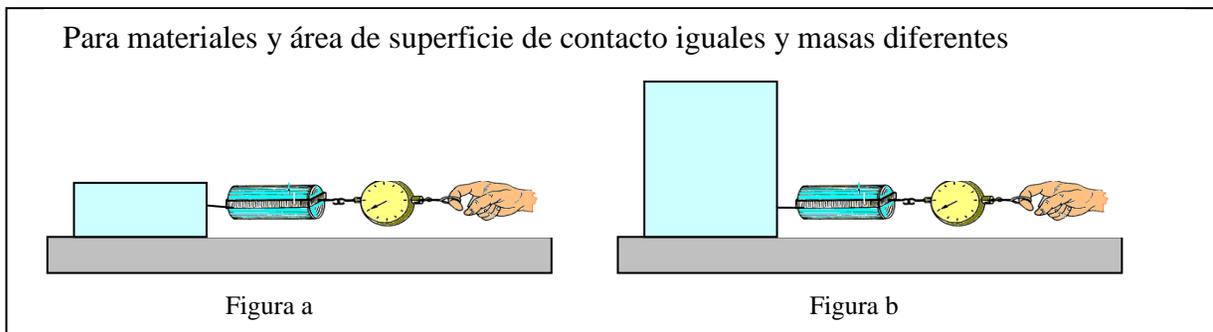
Se presentan unas situaciones físicas en las que se tiene un par de superficies en contacto. Uno de los objetos está ligado a un dinamómetro (ver figura), el cual consta de un resorte que se utiliza para mover el objeto. Se propone observar los movimientos de los cuerpos en contacto en cada situación y predecir lo que sucederá en términos de *alargamiento* del resorte del dinamómetro. Es decir, en qué situación los dinamómetros tendrán una *alargamiento* (lectura del dinamómetro) igual y en qué situación no.

### Situación 1



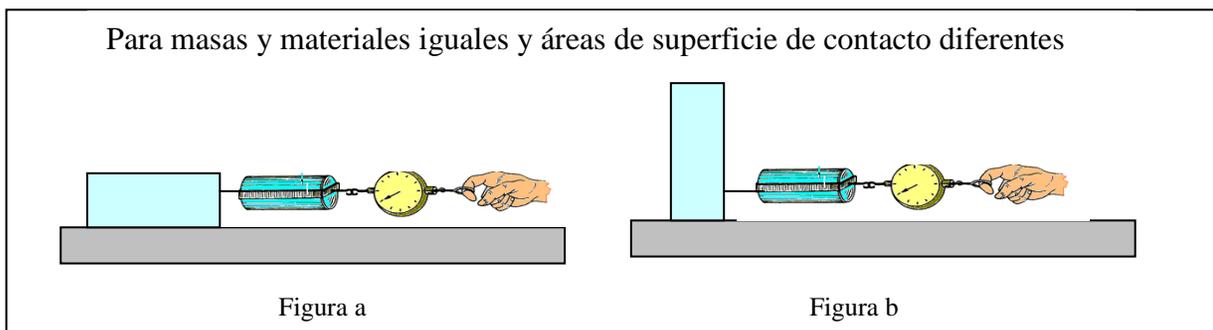
Teniendo en cuenta que en la situación presentada la naturaleza de los materiales en contacto es diferente, ¿qué cree que sucederá cuando se hala el dinamómetro?,

## Situación 2



Teniendo en cuenta que en la situación presentada las masas son diferentes ¿qué cree que sucederá cuando se hala el dinamómetro?

## Situación 3



Teniendo en cuenta que en la situación presentada el área de las superficies en contacto es diferente ¿qué cree que sucederá cuando se hala el dinamómetro?

#### Situación 4

Se tienen dos planos inclinados cuyas superficies son de materiales diferentes, formando el mismo ángulo con respecto a la horizontal. Dos objetos iguales se colocan simultáneamente sobre cada uno de ellos. El objeto de la **figura a** llega al final del plano en menor tiempo que el objeto de la **figura b**.

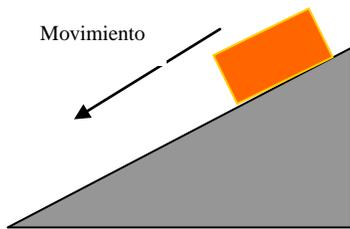


Figura a

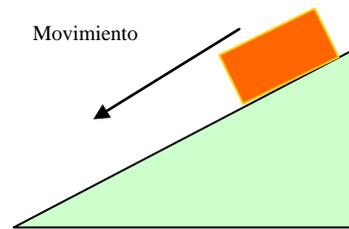


Figura b

Haga una comparación entre las dos figuras y explique lo que sucede en cada una de ellas con relación a:

- La fuerza de fricción
- Los coeficientes de fricción
- La velocidad
- La aceleración

## 8.2.2 Cuestionario para el modelo de “caída libre” y “fuerzas sobre un cuerpo”

### **LABORATORIO DE FÍSICA I CUESTIONARIO PARA EL MODELO DE FUERZAS**

#### **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN EN ENSEÑANZA DE LA FÍSICA**

Nombre: \_\_\_\_\_ carné: \_\_\_\_\_

#### **MODELO 1: CAÍDA LIBRE**

1. El objeto se deja caer desde determinada posición, con una velocidad inicial cero. ¿Qué es lo que hace que este objeto caiga una vez lo hemos soltado y por qué?
2. De acuerdo con las leyes de Newton, si hay movimiento; hay una fuerza neta que está actuando sobre ese cuerpo. Si suponemos que no existe la resistencia del aire. ¿Cuál es la única fuerza que actúa sobre dicho cuerpo?
3. Es posible afirmar que el cuerpo se acelera. Explique ¿Cuál es su aceleración?
4. ¿Qué significa que el vector que representa la velocidad aumenta su magnitud a medida que el objeto cae?
5. ¿Qué ocurriría con la velocidad del objeto si éste fuera lanzado hacia arriba con una determinada velocidad inicial?, ¿hay aceleración? ¿Cuál es el sentido de ésta con respecto a la aceleración en el caso en el que el objeto sólo se deja caer?

6. Observa el rastro de puntos que deja el objeto a medida que cae. ¿Por qué en el transcurso de su caída la distancia entre punto y punto aumenta? ¿Qué representan las distancias entre estos puntos?
7. ¿Qué puedes concluir de la observación de la gráfica de aceleración contra tiempo?
8. ¿Qué significa que la gráfica de la velocidad contra el tiempo parta del origen y que además sea una línea recta?

## MODELO 2: FUERZAS SOBRE UN CUERPO

En este modelo de fuerzas se considera un sistema sin fricción.

1. ¿En el modelo de fuerzas sobre un cuerpo, qué representan los vectores **N<sub>y</sub>** y **P<sub>y</sub>**?
2. ¿Qué sucede con los vectores **N<sub>y</sub>** y **P<sub>y</sub>** cuando se cambia la masa  $m$  del cuerpo? Explica.
3. ¿A qué se debe el movimiento del cuerpo sobre el plano horizontal?
4. ¿Por qué el objeto sólo se mueve en la dirección **x** y no en la dirección **y**, si en esta dirección (**y**) hay fuerzas aplicadas?

5. ¿Qué sucede con la aceleración si se aumenta el valor de  $F_x$  y se deja la masa fija? ¿Por qué? ¿Y qué sucede con la aceleración cuando se aumenta el valor de la masa y se deja fijo el valor de  $F_x$ ? Explica.

6. ¿Qué interpretación le das a la gráfica de la aceleración contra el tiempo?

7. Observa el rastro de puntos que deja el objeto a medida que se mueve. ¿Por qué en el transcurso de su movimiento, la distancia entre punto y punto aumenta? ¿Qué representan las distancias entre estos puntos?

### 8.2.3 Cuestionario para el modelo “fuerza de fricción en un plano horizontal”

## LABORATORIO DE FÍSICA I

### CUESTIONARIO PARA EL MODELO DE FUERZAS DE FRICCIÓN EN UN PLANO HORIZONTAL

#### PROYECTO DE INVESTIGACIÓN EN ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

Nombre: \_\_\_\_\_ carné: \_\_\_\_\_

1. ¿La fuerza de fricción que experimenta un cuerpo en estado de reposo bajo la acción de una fuerza aplicada, es la misma fuerza de fricción que experimenta un cuerpo en movimiento? Explique su respuesta.

2. ¿A medida que se aplica una fuerza horizontal sobre un cuerpo en reposo en un plano horizontal y ésta se va incrementando hasta poner el cuerpo en movimiento, qué sucede con la fuerza de fricción?

3. Haga un análisis de la magnitud de la fuerza de fricción  $F_f = \mu N$  que experimenta un cuerpo al moverse sobre una superficie plana horizontal y sobre una superficie con un cierto ángulo de inclinación.

**Las siguientes preguntas deben responderse con base en el modelo de fuerzas de fricción en un plano horizontal presentado en el programa Modellus.**

4. Si se aumenta la masa del objeto, ¿Qué sucede con la fuerza de fricción y con la aceleración del mismo? Explique su respuesta.

5. En este modelo, ¿en qué caso se puede afirmar que la fuerza de fricción es estática? ¿Y por qué?
  
6. Suponga que al bloque se le imprime una determinada velocidad inicial, sin aplicarle fuerza externa y éste empieza a moverse durante cierto intervalo de tiempo hasta detenerse. ¿Por qué se detiene? ¿Cómo relacionas este hecho con la velocidad y la aceleración?
  
7. ¿Qué significa que en el modelo la fuerza de fricción aparezca graficada en la misma dirección y en sentido opuesto a la fuerza aplicada? Explica tu respuesta.
  
8. Elabora un diagrama de fuerzas (incluyendo la fuerza de fricción) para una persona que camina sobre una superficie plana horizontal. Justifica tu respuesta.
  
9. ¿Qué interpretación le das a las gráficas de posición, velocidad y aceleración contra tiempo, cuando el objeto se mueve bajo el efecto de una fuerza aplicada y cuando éste deja de moverse?

## 8.2.4 Cuestionario para el modelo “fuerza de fricción en un plano inclinado”

### LABORATORIO DE FÍSICA I

#### CUESTIONARIO PARA EL MODELO DE FUERZAS DE FRICCIÓN EN UN PLANO INCLINADO

#### PROYECTO DE INVESTIGACIÓN EN ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

Nombre: \_\_\_\_\_ carné: \_\_\_\_\_

**Las siguientes preguntas deben responderse con base en el modelo de fuerzas de fricción en un plano inclinado presentado en el programa Modellus.**

1. ¿Qué representan cada uno de los vectores que aparecen dibujados sobre la partícula que se desplaza por el plano inclinado?
2. Considerando que no existe ninguna fuerza externa aplicada sobre el cuerpo que se desliza sobre el plano inclinado y que su velocidad inicial es cero ¿a qué fuerza se le atribuye su movimiento?
  - a. En ausencia de fuerza de fricción.
  - b. En presencia de fuerza de fricción.
3. Sabemos que la fuerza de fricción es proporcional a la fuerza normal. Expresando la fuerza de fricción en términos del peso ¿a qué valor es proporcional ésta? Explique su respuesta haciendo una comparación con el modelo para fuerza de fricción en un plano horizontal.

4. Podríamos afirmar que el objeto no se desliza sobre el plano inclinado cuando la fuerza de fricción estática es mayor o igual que la fuerza que actúa en la misma dirección y en sentido opuesto. ¿Existe entonces alguna relación entre el ángulo de inclinación del plano y el coeficiente de fricción que nos permita hacer tal afirmación?

5. ¿El movimiento del objeto sobre el plano inclinado es independiente de la masa del objeto?

6. Para una masa y un ángulo constantes compara la relación entre fuerza de fricción con la velocidad y la aceleración: en un primer caso cuando el coeficiente de fricción sea cero; y en un segundo caso, cuando el coeficiente de fricción tenga un valor mayor que cero (para el cual haya movimiento).

## 9. REFERENCIAS

Araujo, I. S. y Veit, E. A. 2004. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos a tecnologias computacionais no ensino da Física, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, Vol. 4.

Araujo, I. S., 2002, *Um estudo sobre desempenho de alunos de física usuários da ferramenta computacional modellus na interpretação de gráficos em cinemática*, tesis de maestría en física, Porto Alegre, (pp: 1-111)

Ausubel, David P. 2000, *Adquisición y retención del conocimiento: una perspectiva cognitiva*, Paidós Ibérica, S. A., Barcelona, (pp: 1-325)

Ausubel, David P., 1983, *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*, Trillas, México, (pp: 1-543)

Barberá, O y Valdés, P., 1996, El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión, *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 14, N. 3, (pp: 365-379)

Caldas, H. y Saltiel, E., 1999, Sentido das forças de atrito e movimento-I: Direction frictional forces and motion sense, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 21, N. 3, (pp: 359-365)

Caldas, H. y Saltiel, E., 1999, Sentido das forças de atrito e movimento-II: uma análise dos livros utilizados no ensino superior brasileiro, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 21, N. 4, (pp: 542-549)

Carvalho, P. y Sampaio, A. 2005. Rotation in secondary school: teaching the effects of frictional force. *Physics Education*. Vol 40. N. 3, (pp: 257-265)

Concari, Sonia; Pozzo, Roberto y Giorgi, Silvia. Un estudio sobre el rozamiento en libros de física de nivel universitario. *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 17, N. 2, (pp: 273-280)

Díaz, F y Medir, M, 1985, Validez de los informes sobre trabajos prácticos de física a nivel universitario, *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 3, N. 1, (pp: 35-38)

Eötvös, R. 1994. Elementary discussion of an optimization problem concerning friction. *Physics Education*. Vol 29. (pp: 249-252)

Gil Pérez, D. y Valdés Castro, P., 1996, La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo, *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 14, N. 2, (pp: 155-163)

Goetz, J. P. y LeCompte, M. D, 1988, *Etnografía y diseño cualitativo en Investigación Educativa*, MORATA, Madrid, (pp: 28-56)

González Eduardo, M., 1992, ¿Qué hay que renovar en los trabajos prácticos?, *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 10, N. 2, (pp: 206-211)

Greca, I.M. y Moreira, M.A. (1997a). Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, 15(2), (pp: 107-120).

Halloun, Ibrahim, 1996, Schematic Modeling for Meaningful Learning of Physics, *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 33. N. 9, (pp: 1019-1041)

Herrera Cabello, F. y Corullon Paredes, A., 1987, Experiencia de laboratorio no estructurado en la universidad, *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 5, N. 2, (pp: 145-148)

Hestenes. D, 1995, Modeling software for learning and doing physics. In C. Bernardini. C. Tarsitini, & M. Vincentini (Eds.), *Thinking physics for teaching* (pp. 25-66). New York: Plenum.

Hewson, P. W., 1990, La enseñanza de “fuerza y movimiento” como cambio conceptual, *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 8, N. 2, (pp: 157-172)

Hodson, D., 1994, Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio, *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 12, N. 3, (pp: 299-313)

Krim, J., 2002, Resource Letter: FMMLS-1: Friction at macroscopic and microscopic length scales, *Am. J. Phys.*, Vol. 70, N. 9, (pp: 890-895)

Krim, J., 1996, Rozamiento a escala atómica, *Investigación y Ciencia*, (pp: 46-53)

Leysink, J, 2002, Productive Confusion in the Laboratory, *Science Education International*, Vol. 13, N. 1, (pp: 8-10)

Martinez, Miguel, 1999, *La investigación cualitativa etnográfica en Educación*. TRILLAS, México

Miguens, M. y Garrett, R. M., 1991, Prácticas en la enseñanza de las ciencias. Problemas y posibilidades, *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 9, N. 3, (pp: 229-236)

Moreira, Marco A., 1983, Organizadores previos como recurso didáctico, *Ação Docente na Universidade*. Universidade de Porto Alegre. (pp: 129-146)

Norman, D. A. (1983). Some observations on mental models. In Gentner, D. and Stevens, A. L. (Eds.). *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Ringlein, J. y Robbins, M. O., 2004, Understanding and illustrating the atomic origins of friction, *Am. J. Phys.*, Vol. 72, N. 7, (pp: 884-891)

Rodríguez, G y otros, 1996, *Metodología de la investigación cualitativa*, ALJIBE, Málaga, (pp: 149-166)

Sebastia, J. M., 1984, Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes, *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 2, N. 3, (pp: 161-169)

Sebastia, J. M, 1985, Las clases de laboratorio de física: una propuesta para su mejora, *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 3, N. 1, (pp: 42-45)

Sebastia, J. M, 1987, ¿Qué se pretende en los laboratorios de física universitaria?, *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 5, N. 3, (pp: 196-204)

Tagliaferri, A. A. y otros, 1985, Influencia del nivel cognoscitivo en el desempeño en el laboratorio, *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 3, N. 3, (pp: 209-212).

Terry, C., Jones, G. y Hurford, 1985, Children's conceptual understanding of forces and equilibrium. *Physics Education*, Vol 20. (pp: 162-165)

Veit, E. A., Mors, P. M. y Teodoro, V. D. 2002. Ilustrando a Segunda Lei de Newton no Século XXI. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Vol 24. N. 2, (pp: 176-184)

Watts, D. M y Zylbersztajn 1981. A survey of some children's ideas about force. *Physics Education*, Vol 16, (pp: 360-365)