

Una revisión sobre ideas previas del concepto de fuerza



César Mora¹, Diana Herrera^{1,2}

¹Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, Av. Legaria 694, Col. Irrigación, C. P. 11500, México D. F.

²Centro Interdisciplinario de Ciencias de la Salud, Unidad Sto. Tomás, Av. De los Maestros s/n, Col. Sto. Tomás, C. P. 11340, México D. F.

E-mail: cmoral@ipn.mx

(Recibido el 1 de Noviembre de 2008; aceptado el 30 de Diciembre de 2008)

Resumen

A través de la historia se han utilizado algunos términos para referirse a las ideas previas, en este trabajo se discute pertinencia de algunos términos y por qué se eligió el de ideas previas. Posteriormente se definen las ideas previas, y se mencionan qué teorías hay para explicar cómo se pueden formar. Además, se presentan diferentes técnicas y herramientas (La Prueba Base de Mecánica, el Inventario del Concepto de Fuerza y la Evaluación de Fuerza y Concepto de Movimiento) a fin de conocer las ideas previas sobre el concepto de fuerza. Basándose en los resultados de un gran número de investigaciones se da una lista de ideas previas sobre la noción más común de fuerza. Por último, se analizan las diferentes teorías y propuestas para lograr que las ideas previas sobre el concepto de fuerza en los estudiantes, no sea un obstáculo en su aprendizaje.

Palabras clave: Concepto de fuerza, ideas previas.

Abstract

Throughout history some terms have been used to refer about previous ideas, in this work it is discussed the relevance of some terms and why they chose the previous ideas. Subsequently prior ideas are defined, and it is said what theories exists to explain how they can be form. Further it is presented different techniques and tools (Mechanics Baseline Test, Force Concept Inventory and Evaluation Force and Motion Concept) in order to know prior ideas on the concept of strength. Based on the results of a large number of investigations there is a list of previous ideas about the most common concept of force. Finally, it discusses the different theories and proposals to make students pre ideas on the concept of force, not an obstacle in their learning.

Keywords: Concept of force, misconceptions.

PACS: 01.40.Fk, 01.40.gf, 01.40.Ha

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

Es común considerar a la Física como una materia difícil [1]. Varios estudios indican que los alumnos salen de los cursos de Física en condiciones muy similares a las que tenían cuando llegaron [1, 2]. Por ejemplo, es frecuente que al finalizar los cursos cometan errores de interpretación en el estudio de algunos fenómenos físicos y que se basen únicamente en el uso de fórmulas para resolver los problemas [1, 2, 3]. Lo relevante de estos “errores” es que no se deben a simples olvidos o a equivocaciones momentáneas, sino que se expresan como ideas muy seguras y persistentes. Además, dichas ideas afectan de manera similar a alumnos de distintos países y niveles educativos [4]. Por lo anterior, se puede decir que un problema importante por resolver es ¿cómo reducir la brecha entre lo que se enseña y lo que los alumnos realmente aprenden en un curso de Física? [2, 5].

La investigación en física educativa puede mostrar que las principales dificultades en la enseñanza de esta ciencia son:

- Lo abstracto del material empleado en la enseñanza [1, 2, 5, 6, 7, 8],
- El grado de precisión lógica y tipos de razonamiento que necesitan los estudiantes para resolver los problemas [1, 9, 10, 11, 12],
- La falta de habilidades matemáticas en los alumnos [1, 7],
- Que los estudiantes poseen ideas previas que interfieren con el aprendizaje de los conceptos científicos y los principios básicos de la física [1, 7, 12, 13, 14, 15, 16, 17]. Se ha encontrado que desarrollar estrategias instruccionales como el uso de tutoriales [2, 5], de técnicas didácticas para promover la comprensión de los procesos físicos [1, 5, 7] y entrenar habilidades [5], incrementan la cantidad de problemas resueltos de manera correcta al finalizar un curso de física en relación a alumnos con

instrucción tradicional. Sin embargo, al analizar detalladamente las respuestas correctas de los alumnos (e.g., usando entrevistas) se muestra que un porcentaje de ellos siguen teniendo conceptos erróneos o inconsistentes [2]. Incluso existe evidencia de una grave y general incompreensión de los conceptos más fundamentales y que se enseñan de manera reiterada. Por ejemplo, ante la pregunta: “una piedra cae desde cierta altura en un segundo ¿cuánto tiempo tardará en caer desde la misma altura otra piedra de doble masa?”, se ha encontrado un porcentaje muy alto de alumnos que al final de su educación secundaria (e incluso universitaria) consideran que una masa doble se traduce en la mitad del tiempo de caída. Estos resultados son consistentes aún después de que los alumnos han resuelto decenas de ejercicios numéricos sobre caída libre e incluso después de haber hecho algún estudio experimental [4].

El hecho de haber aprobado cursos de Física o el de haber obtenido un título universitario en el área no son una garantía de que se tiene una apropiada comprensión y manejo de los principios y conceptos fundamentales de la Física [1, 18]. Algunos estudios han mostrado que las ideas previas no son exclusivas de los estudiantes, sino que también las pueden tener los docentes [19, 20]. Este hecho es realmente preocupante debido a que son los docentes los encargados de encaminar a los alumnos hacia la comprensión de los principios y conceptos fundamentales de la Física.

La evidencia anterior, nos muestra que las ideas previas son muy difíciles de cambiar, que en ocasiones sobreviven largos años de instrucción científica [12, 13, 14] y que son independientes del nivel de enseñanza, de lo brillante que resulte el alumno y de su procedencia [21]. Por lo tanto, es importante profundizar en los fundamentos del proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física. Es necesario desarrollar estrategias de aprendizaje que tomen en cuenta las ideas previas y las concepciones erróneas que se presentan en los diferentes temas de los cursos [20] con la intención de modificarlos [1, 22, 23, 24].

Varios estudios muestran que los profesores que conocen las ideas previas de sus alumnos mejoran el aprendizaje de ellos [25].

II. SELECCIÓN DEL TÉRMINO

Existe una diversidad de términos con los que actualmente se le denomina a las concepciones que tienen las personas en torno a los conceptos científicos [26, 27], por lo que es importante aclarar el término que se utilizará para denominarlas en el presente trabajo. Los diferentes términos usados dependen de las posiciones que los investigadores tienen en torno a la construcción del conocimiento y a su valoración del conocimiento científico y del aprendizaje. De Posada [28] hace una recopilación de las denominaciones que se han empleado a lo largo de la historia y señala que el cambio terminológico que se aprecia no es trivial, además de que refleja el cambio de mentalidad que se ha producido sobre la naturaleza de las ideas alternativas y su papel en el aprendizaje.

Entre los términos más comunes para referirse a las concepciones que tienen las personas en torno a los conceptos científicos están: “errores conceptuales”, “preconceptos”, “concepciones espontáneas”, “teorías implícitas”, “teorías en acción”, “ideas alternativas”, “ideas previas” y “concepciones alternativas”. Se han realizado diversos análisis y propuestas para intentar acordar un sólo término. Por ejemplo, Wandersee, Novak y Mintzes (citado en [29, 30]) se adhieren al término “concepciones alternativas”, considerándolo el más adecuado debido a que toma en cuenta las ideas de los alumnos como concepciones personales que tienen significado y utilidad para interpretar cierta fenomenología y, porque no implica una denominación en sentido negativo, esto es, considerarlas como un error de comprensión o un conocimiento incompleto, denotación que está implícita en el término “error conceptual” (*misconception*).

Por otra parte, el término “ideas previas” se refiere principalmente a una concepción que no ha sido transformada por la acción escolar, además de que comparte con el término “concepciones alternativas” la idea de que se tienen concepciones que sirven para interpretar los fenómenos y que no implica una denominación peyorativa. Sin embargo, en el presente trabajo se prefiere el término “ideas previas” debido a que evita las siguientes ambigüedades que ocurren con el término de “concepciones alternativas” [29, 30]:

a) “Concepciones alternativas” implica la existencia de una idea que le permite a un sujeto, interpretar un proceso o fenómeno y que cuenta, al menos, con otra idea alterna entre las que elige la que considera la mejor explicación. Esto no es lo que usualmente ocurre por lo que, un término que no denote esta dualidad, resulta más adecuado.

b) El término no precisa porqué las concepciones de los estudiantes pueden considerarse *alternativas* en un contexto restringido, esto es, aplicables sólo a ciertos fenómenos, mientras que, las concepciones científicas correspondientes son más generales, es decir, abarcan clases de fenómenos.

Por lo anterior, en el presente trabajo se usará el término de “ideas previas”.

III. ¿QUÉ SON LAS IDEAS PREVIAS?

Las ideas previas son construcciones que las personas elaboran para responder a su necesidad de interpretar fenómenos naturales, ya sea porque dicha interpretación es necesaria para la vida cotidiana, para solucionar un problema práctico o porque es requerida para mostrar cierta capacidad de comprensión que es solicitada a un sujeto por otro (e.g., por un profesor). De esta manera, la construcción de las ideas previas se encuentra relacionada con la interpretación de fenómenos naturales y conceptos científicos, para brindar explicaciones, descripciones y predicciones [29, 30]. La mayoría de los autores coinciden en considerar a las ideas previas como el fruto de las experiencias cotidianas, tanto físicas como sociales [4]. Por otro lado, la construcción de las ideas previas está

asociada a explicaciones causales [31] y a la construcción de esquemas relacionales. Sin embargo, ninguno de los argumentos mencionados da cuenta de la manera en la que las personas construyen las ideas previas, explicación que está ligada a poder explicar, a su vez, cómo se genera el conocimiento en los sujetos [29].

Según Pesa y Cudmani [32], las ideas previas se construyen sobre la base de criterios, modos de razonar, reglas heurísticas, propósitos y valoraciones, que, si bien suelen ser muy efectivas para enfrentar las exigencias de la vida cotidiana, difieren sustancialmente de la precisión, coherencia, objetividad y sistematicidad del conocimiento científico [12] y actúan como verdaderos obstáculos epistemológicos para la comprensión de ciertos contenidos de las ciencias [33].

Las ideas previas no son algo accidental o coyuntural sino que tienen una naturaleza estructural sistemática que es el resultado de un sistema cognitivo que pretende dar un sentido al mundo definido no sólo por las relaciones entre objetos físicos, sino también por las relaciones sociales y culturales que se establecen en torno a esos objetos [24].

En ocasiones, las ideas previas se refieren a conceptos incompletos o incompatibles con las teorías científicas (“conceptos erróneos”) [1, 7, 23]. Es importante mencionar que estas ideas previas no son errores arbitrarios o triviales. Los conceptos erróneos más comunes que tienen las personas son muy similares a los que tenían los intelectuales en los tiempos pre-Aristotelianos [9] o pre-Galileanos [13], aunque con una lógica menos elaborada y consistente. También hay ideas previas que se deben a malas interpretaciones del lenguaje [34], a diversos factores culturales [35, 36] o que son dependientes del contexto [37, 38]. El problema con las ideas previas es que suelen interferir con la comprensión de principios básicos de la Física que requieren de un razonamiento que cuestione la lógica natural derivada de la percepción [15, 24].

Algunas de las principales características de las ideas previas son [29, 30, 39]:

- Se encuentran presentes de manera semejante en diversas edades, género y culturas.
- Son de carácter implícito, esto es, en la mayoría de los casos las personas no son conscientes de sus ideas y explicaciones.
- Por lo general, se encuentran indiferenciadas de otros conceptos por lo que presentan confusiones cuando son aplicadas a situaciones específicas.
- La mayoría son elaboradas a partir de un razonamiento causal directo (el cambio en un efecto es directamente proporcional al cambio en su causa).
- Las ideas previas en una misma persona pueden ser contradictorias cuando se aplican a contextos diferentes.
- Son persistentes, es decir, no se modifican fácilmente por medio de la enseñanza tradicional de la ciencia, incluso cuando la instrucción es reiterada.
- Guardan cierta semejanza con ideas que se han presentado en la historia de la ciencia.
- Se originan a partir de las experiencias de las personas con relación a fenómenos cotidianos, a la

correspondencia de interpretación con sus pares y a la enseñanza que se ha recibido en la escuela.

- Interfieren con la instrucción científica.
- Parecen dotadas de cierta coherencia interna.

Diversos autores han clasificado a las ideas previas en diferentes tipos. Por ejemplo Flores y Gallegos [37] proponen que las ideas previas pueden clasificarse en constrictores (los que regulan la interpretación de los fenómenos) y fenomenológicos (los que establecen las condiciones iniciales y las reglas de relación entre los conceptos). Aunque no existe una clasificación aceptada universalmente, se puede concluir que los no todas las ideas previas cumplen con la misma función en relación a la representación e interpretación de los fenómenos naturales y los conceptos científicos [29, 30].

A. Diferencias entre las ideas previas y los conceptos científicos

Las ideas previas y el conocimiento científico no se distinguen necesariamente por su contenido, sino por su epistemología constructiva, por el tipo de escenario sociocultural en el que se construyen y por sus procesos de construcción [40]. Pozo y Gómez [24] mencionan que una diferencia fundamental entre las ideas previas y los conceptos científicos es su estructura, la cual se puede analizar en relación a varios aspectos:

a) Causalidad lineal vs. la interacción de sistemas: en las ideas previas la relación causa-efecto es lineal, mientras que en los conceptos científicos se encuentra una causalidad compleja en la que se hace evidente la interacción entre sistemas.

b) Cambio y transformación vs. conservación y equilibrio: las ideas previas tienden a centrarse en el cambio más que en los estados, es decir, las personas suelen poner más atención en lo que se transforma, ignorando lo que se conserva. Sin embargo, la mayor parte de los conceptos científicos implican una conservación. Uno de los logros más sustantivos del conocimiento científico es el de comprender la naturaleza como un sistema en equilibrio.

c) Relaciones cualitativas vs. esquemas de cuantificación: en la vida cotidiana, tendemos a establecer relaciones cualitativas entre los hechos que escasamente somos capaces de cuantificar, sin embargo, la ciencia se caracteriza por el uso de operaciones cuantitativas precisas que determinan no sólo si existe una relación entre los hechos sino también en qué cantidad existe. Los conceptos científicos implican *proporción* ya que suponen relaciones entre conceptos y *probabilidad* debido a que numerosas concepciones científicas llevan implícita la noción de “azar” y la correlación supone el análisis de datos estadísticos que permiten leer el comportamiento de las variables bajo análisis.

Una parte considerable de la investigación que se realiza en el área de Física Educativa se ha dedicado a estudiar cuáles son las ideas previas que tienen los estudiantes acerca de diversos temas como: mecánica clásica, propiedades de la materia, mecánica de fluidos, calor, temperatura, termodinámica, óptica, electromagnetismo, ondas, sonido, etc. [1, 6, 11, 12, 13,

16, 23, 41]. Estas investigaciones han arrojado resultados interesantes como el hecho de que los alumnos creen que el movimiento implica una fuerza y que dicha fuerza se consume [1, 2, 8, 23], o que los objetos más pesados caen más rápido que los ligeros [24] etc. Si se hace un análisis de dichas ideas previas se puede encontrar que casi siempre son el resultado de inferencias causales (como semejanza entre causa-efecto y contigüidad espacial y temporal, etc.).

Aunque el interés por el estudio de las ideas previas es reciente, existen precedentes de que desde hace casi más de 70 años ya se le ponía atención a este fenómeno. Por ejemplo, Bachelard (citado en [4]) mencionaba que siempre que se conoce se hace contra un “conocimiento anterior”. Piaget en 1971 (citado en [4]) plantea el rastreo del origen psicológico de las nociones hasta sus estadios precientíficos. Por otra parte, Vigotsky (citado en [4]) habla de que existe una *prehistoria del aprendizaje*. Y, por ejemplo, Ausubel (citado en [4]) llega a afirmar:

“si yo tuviera que reducir toda la psicología educativa a un sólo principio, enunciaría este: averigüese lo que el alumno ya sabe y enséñese consecuentemente”.

III. ¿CÓMO SE FORMAN LAS IDEAS PREVIAS?

Existen principalmente 2 posturas acerca de la formación de los conceptos. La primera, que es en la que se basa la enseñanza tradicional, sugiere que los conceptos no tienen un desarrollo interno, sino que son absorbidos a través de un proceso de entendimiento y asimilación. Sin embargo, varias investigaciones han mostrado que esto no puede ser cierto pues la formación de un concepto es más que la suma de determinados enlaces asociativos formados en la memoria [42]. La segunda postura sugiere que tanto los conceptos científicos como los espontáneos (así llama Piaget a las ideas previas) sí tienen un desarrollo, ya que no se adquieren simplemente por medio de la memoria, sino que evolucionan en la mente de la persona. Vygotsky [42] menciona que el desarrollo de los conceptos espontáneos y no espontáneos se influyen constantemente, siendo parte de un proceso único: el de la evolución de la formación del concepto. Dicha evolución se ve afectada por variaciones externas y condiciones internas.

Vygotsky [42] menciona que los conceptos científicos y los espontáneos (ideas previas) se forman y se desarrollan bajo condiciones internas y externas totalmente diferentes. El desarrollo de los conceptos depende de si se originan en la instrucción escolar o en la experiencia personal del niño, además de que los motivos que predisponen al niño a formar los dos tipos de conceptos no son los mismos. Cuando se le enseña a un niño el conocimiento sistemático, generalmente se le enseñan muchas cosas que no puede ver o experimentar directamente. Los conceptos científicos y espontáneos difieren en su relación con la experiencia del niño y en la actitud del niño hacia sus objetos; por esta razón Vygotsky (1964) sugiere que los dos tipos de conceptos siguen

diferentes caminos de desarrollo desde sus comienzos hasta su forma definitiva.

A cualquier edad, un concepto formulado en una palabra (e.g., velocidad, fuerza, altura, etc.) representa un acto de generalización del tipo más primitivo y a medida que se desarrolla la inteligencia del niño, al concepto se le reemplaza por generalizaciones de un tipo más avanzado: un proceso que conduce finalmente a la formación de verdaderos conceptos. El desarrollo de los conceptos presupone a su vez la evolución de muchas funciones intelectuales como la atención deliberada, la memoria lógica, la abstracción y la habilidad para comparar y diferenciar. Estos procesos psicológicos no pueden ser denominados a través del aprendizaje aislado [42].

El niño que se encuentra en edad de ingresar a la escuela posee, de una forma más o menos madura, las funciones que deberá aprender a controlar conscientemente. Pero las ideas previas apenas comienzan a desarrollarse y el niño no puede tomar conciencia¹ de dichos conceptos y hacer uso adecuado de ellos al mismo tiempo [42]. Para que esto sea posible, la conciencia no sólo tiene que tomar posesión de sus funciones aisladas (atención, memoria, abstracción, etc.), sino también debe crearlas. La etapa de las funciones indiferenciadas en la infancia es conducida por la diferenciación y el desarrollo de la percepción en la primera infancia y el desarrollo de la memoria en el preescolar. Para que ocurra este desarrollo, también participa la atención, la cual es un correlato de la estructuración de lo que es percibido y recordado.

Los estudios de Piaget demostraron que la introspección comienza a desarrollarse sólo durante los años escolares. La percepción en términos de significado, implica siempre un grado de generalización. En consecuencia, la transición hacia la propia observación verbalizada denota el comienzo de un proceso de generalización de las formas internas de actividad. El cambio hacia un nuevo tipo de percepción interna significa también un cambio hacia un tipo superior de actividad interior, puesto que un modo nuevo de ver las cosas abre nuevas posibilidades para manejarlas. Al hacernos conscientes de nuestras propias operaciones y considerar a cada una como un proceso de un determinado tipo (tal como el recuerdo o la imaginación) nos conduce a poder dominarlas [42].

Vygotsky [42] menciona que la instrucción escolar induce el tipo generalizador de la percepción y juega así un papel decisivo al hacer que el niño tenga conciencia de su propio proceso mental. Los conceptos científicos, con su jerarquía sistemática de interrelaciones, son el medio dentro del cual se desarrollan las destrezas, para ser transferidas más tarde a otros conceptos y a otras áreas del pensamiento. Vygotsky dice que la conciencia reflexiva llega al niño a través de los portales de los conceptos científicos.

¹ Vygotsky [42] usa el término conciencia para referirse a “tener conocimiento de la actividad de la mente”. Por ejemplo, si ante la pregunta “¿conoces tú nombre?” un niño responde con su nombre, entonces carece de conocimiento reflexivo pues conoce su nombre pero no es consciente de conocerlo.

Cuando un niño opera con conceptos espontáneos (ideas previas) no tiene conciencia de ellos, puesto que su atención está siempre centrada en el objeto al cual se refiere el concepto, nunca en el acto de pensamiento mismo [42]. Un concepto sólo puede estar ligado a un control consciente y deliberado cuando es parte de un sistema. Si conciencia significa generalización, la generalización a su vez significa la formación de un concepto dado como un caso particular. Un concepto sobreordenado implica la existencia de una serie de conceptos subordinados, y presupone también una jerarquía de conceptos de niveles de generalidad. De este modo, el concepto dado se ubica dentro de un sistema de relaciones de generalidad. Un ejemplo de la función de los grados variables de generalidad en el surgimiento de un sistema es cuando un niño aprende la palabra *flor* y poco tiempo después aprende la palabra *rosa*; durante un lapso prolongado, para el niño el concepto *flor* y el de *rosa* son intercambiables y se juxtaponen (para el niño el concepto *flor* no incluye ni subordina al concepto *rosa*). Cuando la expresión *flor* se vuelve generalizada, la relación de *flor* y *rosa*, así como la de *flor* con otros conceptos subordinados también cambia en la mente infantil, y comienza a formarse un sistema [42].

Vygotsky [42] propone que los conceptos científicos y los espontáneos (ideas previas) se desarrollan en dirección inversa: comienzan apartados y avanzan hasta encontrarse. El niño toma conciencia de sus conceptos espontáneos relativamente tarde, la aptitud para definirlos con palabras, para operar con ellos según su deseo, surge mucho tiempo después de haber adquirido los conceptos. Posee el concepto (conoce el objeto al cual se refiere), pero no es conciente de su propio acto de pensamiento. El desarrollo de un concepto científico, por otra parte, comienza generalmente con su definición verbal y el uso de operaciones no espontáneas, trabajando con el concepto mismo, que comienza su vida en la mente infantil en un nivel que sus conceptos espontáneos alcanzan solamente más tarde.

El estudio de los conceptos infantiles en cada nivel de edad muestra que el grado de generalidad es la variable psicológica básica de acuerdo a la cual deben ser significativamente ordenados. Si cada concepto es una generalización, entonces la relación entre conceptos es una relación de generalidad. En un determinado nivel de desarrollo, el niño es incapaz de trasladarse “verticalmente” del significado de una palabra al de otra, o sea, de entender la relación de generalidad. Todos sus conceptos se encuentran en un nivel, referidos directamente a objetos, y se delimitan unos a los otros del mismo modo en que se delimitan a sí mismos [42].

Los conceptos nuevos y superiores transforman a su vez el significado de los inferiores. Por ejemplo, mientras el niño opera con el sistema decimal sin tener conciencia de él como tal, no ha dominado el sistema sino que se encuentra, por el contrario, sujeto a él. Pero cuando puede considerarlo como una instancia particular de un concepto más amplio de una escala de numeración, puede operar deliberadamente con este o cualquier otro sistema numérico [42].

La **ausencia de un sistema** es la diferencia psicológica fundamental que distingue a los conceptos científicos de los espontáneos (ideas previas). Por ejemplo, cuando el niño se ve perturbado por una contradicción puede considerar las afirmaciones contradictorias a la luz de algún principio general, dentro de un sistema. Pero cuando un niño dice, por ejemplo, que un objeto se ha disuelto en el agua porque era muy pequeño y de otro que se ha deshecho porque era grande, entonces solamente está sujeto a afirmaciones empíricas de los hechos que siguen la lógica de las percepciones, por lo que podemos decir que en su mente no se ha producido ninguna generalización de este tipo [42].

IV. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA CONOCER LAS IDEAS PREVIAS SOBRE EL CONCEPTO DE FUERZA

Las investigaciones sobre la influencia de las ideas previas en el aprendizaje de conceptos científicos también han demostrado que las técnicas de enseñanza son más eficaces cuando se enfocan en cambiar o eliminar los conceptos erróneos [1, 23, 43]. Por esta razón, es importante desarrollar técnicas e instrumentos para conocer y analizar las ideas previas que tienen los estudiantes [23, 43]. Algunas de las técnicas más empleadas en la investigación de las Ideas Previas están:

- Entrevistas
- Cuestionarios
- Evaluación de Reglas
- Grabación de Audio
- Tests

A. Entrevistas

Esta es una de las técnicas más empleadas. Las entrevistas casi siempre se usan como complemento de otras técnicas como los Cuestionarios y los Tests. Las entrevistas se realizan de forma individual y generalmente las preguntas se basan en las respuestas que previamente dio el alumno ante un Cuestionario o Test, por lo tanto, el propósito de las entrevistas es el de explorar a fondo las ideas previas de los alumnos. La ventaja de las entrevistas es que permiten indagar un mismo concepto en diferentes contextos, pedirle al alumno que explique y justifique sus respuestas, etc. La desventaja es que llevan mucho tiempo y que el entrevistador puede perderse entre las preguntas u omitir u olvidar algunos datos importantes.

B. Cuestionarios

Un cuestionario es una manera estructurada de obtener información acerca de las ideas previas, a través las respuestas que dan los alumnos a una serie de preguntas. Los cuestionarios pueden contener preguntas abiertas o cerradas. Las preguntas cerradas pueden ser de varios tipos como: de opción múltiple, verdadero y falso, sí o no, etc. Después de aplicar un cuestionario, el profesor debe recoger la muestra de respuestas y puede llevar a cabo varias actividades como pedir al grupo que explique sus respuestas, entrevistar personalmente a los alumnos para

profundiar en sus respuestas (e.g., [23]), analizar las respuestas, basarse en ellas para preparar sus clases, etc.

Por ejemplo, para conocer el concepto de “reposo”, Minstrell [44] usó un cuestionario de opción múltiple que contenía respuestas relacionadas con diversas opiniones corrientes (sentido común o ideas previas) acerca del fenómeno estudiado.

C. Evaluación de Reglas

Este método fue desarrollado por Siegler a finales de los años 70's [41] para investigar el conocimiento estratégico de las personas al determinar cómo enfrentan determinadas tareas. El término regla es una etiqueta general para un patrón o estrategia de razonamiento definitivo. El método de evaluación de reglas (*rule assessment*) requiere que se haga análisis de tareas para: (1) identificar los tipos de problemas y (2) determinar las estrategias –correctas o incorrectas- que pueden aplicarse a las tareas (problemas) en los que trabajan los alumnos.

Maloney [41] usó este método para investigar las concepciones que tienen los alumnos sobre la Tercera Ley de Newton.

D. Grabación de Audio

Las grabaciones de audio pueden hacerse de las Entrevistas o de las discusiones en clase cuando se enseñan los conceptos. Por ejemplo, Minstrell [44] grabó en un cassette las discusiones en clase que tuvieron los alumnos acerca del estado de reposo de los cuerpos para analizarlas posteriormente.

E. Tests

Entre los Test más usados para conocer el concepto de fuerza están [24, 43]:

- “Mechanics Baseline Test” (MBT), elaborado por Hestenes y Wells en 1992 [45],
- “Force Concept Inventory” (FCI) diseñado por Hestenes, Wells y Swackhamer en 1992 [46],
- “Force and Motion Conceptual Evaluation” elaborado por Thornton y Sokoloff en 1998.

Estos Tests han sido de gran utilidad para determinar cuáles son las ideas previas de los estudiantes que hay que cambiar, además de servir como una medida de la comprensión de los conceptos científicos si se aplican antes y después de un curso de Física. A continuación, se describen brevemente los instrumentos mencionados:

F. Mechanics Baseline Test

Esta Prueba fue diseñada con la intención de conocer la manera en la que los estudiantes comprenden los conceptos más básicos sobre mecánica. La utilidad de la Prueba reside en servir como una “Línea Base” (de ahí su nombre) para evaluar y comparar la efectividad de la instrucción en mecánica en todos los niveles [46].

Las 26 preguntas de la Prueba fueron diseñadas para ser significativas para estudiantes que no han recibido instrucción formal en mecánica. La Prueba contiene preguntas acerca de tres dimensiones:

1. Cinemática.- involucra los temas de Movimiento Lineal (aceleración constante, promedio y desplazamiento

integrado) y de Movimiento Curvilíneo (aceleración tangencial y normal y $a=v^2/r$).

2. Principios Generales.- contiene preguntas sobre la Primera, Segunda y Tercera Ley de Newton, el Principio de Superposición, Trabajo y Energía, Conservación de la Energía, Impulso y Momentum y Conservación del Momentum.

3. Fuerzas Específicas.- explora los temas de caída libre y el de fricción.

Esta Prueba asemeja una prueba cuantitativa convencional de solución de problemas, sin embargo su principal intención es evaluar la comprensión cualitativa de los conceptos. Las preguntas son de opción múltiple; entre los distractores se encuentran errores típicos de los estudiantes (no alternativas de sentido común) que se ha encontrado llevan a una comprensión deficiente de los conceptos. Ninguna pregunta puede ser resuelta con la simple aplicación de una fórmula.

Hestenes y Wells [45] pusieron a prueba la efectividad de este instrumento al compararlo con el FCI y encontraron una correlación de 0.68 entre estas dos pruebas, lo que sugiere que un puntaje alto en el FCI es una condición necesaria pero no suficiente para obtener una puntuación alta en el MBT, ya que el MBT tiene que ver un poco más con la habilidad para resolver problemas (más que sólo la comprensión de los conceptos como en el FCI). También encontraron que sólo los alumnos que obtienen una puntuación por arriba del 80% en el FCI podrán tener una puntuación superior al 80% en el MBT.

G. Force Concept Inventory

Este Inventario fue diseñado con la intención de explorar el concepto que tienen los alumnos sobre la Fuerza Newtoniana. El antecedente de esta prueba es el MBT y Hestenes y Halloun [47] sugieren que más que una prueba nueva, el FCI es una versión mejorada del MBT. Hestenes, Wells y Swackhamer elaboraron este instrumento en 1992 y para ello descompusieron el concepto de fuerza en 6 dimensiones conceptuales: Cinemática, Primera Ley, Segunda Ley, Tercera Ley, Principio de Superposición y Tipos de Fuerza.

El inventario contiene preguntas de opción múltiple para cada dimensión; entre las opciones se encuentra una respuesta correcta (Newtoniana) y 4 alternativas que corresponden al sentido común (no-Newtonianas). Halloun y Hestenes [47] dicen que para un Físico, las respuestas a las preguntas son muy obvias y elementales, por lo que una respuesta incorrecta se vuelve muy significativa. Cuando se aplica el FCI, principalmente a nivel de Física Introductoria, se ha encontrado que la puntuación en la Prueba invariablemente es mucho más baja a la que espera el profesor. Muchos investigadores han realizado entrevistas a los estudiantes y han encontrado que siempre una respuesta incorrecta es un indicador confiable de la deficiencia en la comprensión de los conceptos Newtonianos [47]. A continuación se explica lo que se explora en cada una de las 6 dimensiones que se manejan en el Inventario:

1. Cinemática.- explora si los alumnos tienen claro el concepto de movimiento y si lo tienen diferenciado de otros conceptos como: posición, velocidad y aceleración.

2. Primera Ley.- busca identificar si los estudiantes comprenden la Primera Ley de Newton; esto significa que no deben usar la noción pre-Galileana de “ímpetus” para explicar el movimiento de los cuerpos.
3. Segunda Ley.- distingue si los alumnos comprenden la Segunda Ley de Newton o si poseen la idea previa sobre la necesidad de la acción de una fuerza para provocar el movimiento.
4. Tercera Ley.- identifica si los estudiantes malinterpretan el término “interacción” como una lucha entre fuerzas opuestas. Explora si los alumnos comprenden la Tercera Ley de Newton o si se rigen por el principio de dominancia: “el más fuerte ejerce la mayor fuerza”; en la que el más fuerte puede ser el más grande, el de mayor masa o el más activo.
5. Principio de Superposición.- explora si los estudiantes comprenden el principio de superposición o si aplican el principio de dominancia para decir que es el conjunto de fuerzas que actúan sobre un mismo objeto y que una fuerza le gana a la otra. También busca si se confunde el término superposición con la acción de fuerzas opuestas dirigidas a un mismo objeto.
6. Tipos de Fuerza.- identifica si los alumnos tienen un concepto unitario de fuerza. Explora si los estudiantes consideran que los “obstáculos” no ejercen fuerza (sólo son obstáculos en el camino) y si la masa es un tipo de resistencia.

H. Force and Motion Conceptual Evaluation

El FMCE se diseñó para explorar los conceptos de fuerza, velocidad y aceleración. Esta prueba consta de 47 preguntas de opción múltiple (cada una con 5-9 opciones). Algunas de las preguntas emplean representaciones gráficas y cada problema está redactado a manera de una pequeña historia usando lenguaje coloquial. La redacción de los problemas no involucra sistemas de coordenadas ni describen de manera explícita la forma en la que las fuerzas actúan.

Ramlo [43] hizo la evaluación de este instrumento calculando su confiabilidad y validez estructural y encontró que el FMCE es una prueba válida y confiable para medir los conceptos de fuerza y movimiento.

V. IDEAS PREVIAS SOBRE EL CONCEPTO DE FUERZA

Como se mencionó en la sección anterior, existe una gran diversidad de ideas previas sobre los conceptos de la Física. Por ejemplo, que la corriente se “gasta” en una bombilla [48], que el calor está contenido en los cuerpos y se puede “almacenar” como un fluido [49], que todo movimiento implica una fuerza [50], etc. En el presente trabajo se analizan las ideas previas acerca del concepto de fuerza debido a que los cursos Introdutorios de Física inician con el tema de Mecánica y si un alumno no ha comprendido el principio de fuerza, toda la mecánica carece de sentido.

En la vida cotidiana, el término “fuerza” se usa en una gran variedad de contextos, por ejemplo: fuerza pública,

fuerza económica, estoy fuerte, etc., generalmente usando asociaciones vagas y ambiguas [23]. Por lo tanto, es de esperarse que los alumnos tiendan a usar el término *fuerza* libremente para referirse a una gran variedad de conceptos. Por ejemplo, Halloun y Hestenes [23] encontraron que los alumnos usan indiscriminadamente los siguientes términos: potencia, fuerza, aceleración, velocidad, momentum, inercia y energía.

A continuación se presentan algunas de las Ideas Previas relacionadas con el concepto de fuerza que se han encontrado en diversos artículos:

A. Todo movimiento tiene una causa (la fuerza o la gravedad)

Halloun y Hestenes [23] trabajaron con un grupo de 478 estudiantes de nivel Universitario a los que se les aplicó el “*Mechanics Diagnostic Test*” antes (pre) y después de su curso (post) de Física Introdutoria. Halloun y Hestenes encontraron que el 65% de los alumnos en el pretest y el 44% en el postest, sostuvieron la idea de que “*todo movimiento tiene una causa*”. Un mes después del estudio, los autores entrevistaron a 22 estudiantes para explorar más a fondo sus “conceptos de sentido común” (ideas previas) sobre el concepto fuerza y de movimiento basados en sus respuestas en el Test. Los alumnos entrevistados mencionaron que el *movimiento* puede:

- *Iniciar* ya sea por una fuerza aplicada al objeto o por la gravedad (que es una tendencia intrínseca a caer).
 - *Mantenerse* por la acción continua de una fuerza o de la gravedad, o por una fuerza interna del objeto (*ímpetus*).
 - *Oponerse* por la resistencia intrínseca del objeto (peso o masa), por la resistencia del medio que rodea al objeto o por los obstáculos que se encuentra en el camino.
- Algunos de los alumnos entrevistados mencionaron que una fuerza es: “*la que inicia el movimiento*”, “*la que cambia la dirección del movimiento*” o la que “*no tiene nada que ver con el cambio en la velocidad, sino que sólo mantiene el movimiento*”.

Clement [1] también encontró esta idea previa en un grupo de estudiantes del Laboratorio de Mecánica Introdutoria.

B. En ausencia de fuerza, todo objeto permanece en reposo (con respecto a la Tierra).

Esta idea previa también fue encontrada por Halloun y Hestenes en 1985 en el estudio mencionado arriba. Los autores mencionan que la adopción tácita de la Tierra como el marco de referencia preferido es especialmente significativo y que puede estar basado, indudablemente, en la experiencia perceptual directa. Halloun y Hestenes mencionan que una de las maravillas del sistema perceptual humano es el hecho de que para las diversas entradas de los estímulos, crea una representación de un ambiente en reposo mientras el sujeto que observa se mueve, en lugar de que el observador siempre esté en reposo y su ambiente en movimiento [23].

C. El aire y/o la presión del aire son los responsables de que un objeto se mantenga en reposo.

Minstrell [44] trabajó con dos grupos de estudiantes de Nivel Secundaria para investigar sus ideas previas acerca

del estado de reposo de los cuerpos. Minstrell colocó un libro sobre una mesa y pidió a los alumnos que hicieran un diagrama en el que dibujaran con flechas las fuerzas que actuaban sobre el libro para mantenerlo sobre la mesa. La mayoría de los estudiantes dibujaron flechas alrededor del bloque, en dirección al mismo, e indicaron que las flechas eran la presión del aire. Otros alumnos sólo dibujaron flechas sobre el bloque en dirección hacia abajo y dijeron que las flechas representaban la presión del aire y que ésta ayudaba a la gravedad a mantener el libro sobre la mesa, por ejemplo, ante la pregunta ¿cuáles son las fuerzas que actúan sobre el libro?, un alumno dijo: “la gravedad, no hay fuerza en la mesa y la presión del aire que empuja igual por todos lados, excepto que no creo que empuje igual por abajo” (pág. 12, [44]). Un grupo más pequeño de estudiantes (aproximadamente el 15%), dibujaron y mencionaron que sólo era la presión del aire la responsable de que el libro se mantuviera sobre la mesa; por ejemplo, un alumno mencionó: “Si se quitara el aire, el libro se iría a la deriva” (pág. 10, [44]). La minoría de los estudiantes respondieron que lo que mantendría al libro en su lugar era el viento o las corrientes de viento que actuaban a los lados del mismo.

D. Cuando un objeto se encuentra sobre una superficie, ésta lo único que hace es sostener el objeto, evitando así que éste se mueva.

Halloun y Hestenes [23], mediante las entrevistas que realizaron a los estudiantes encontraron que muchos de ellos creen que los objetos inanimados pueden servir como barreras para detener o redirigir el movimiento, pero no como agentes de una fuerza. Por ejemplo, un alumno explicó: “Había una fuerza mientras la detenías [la pelota] en tu mano... [pero cuando la pelota se encuentra sobre la mesa] no hay una fuerza en la pelota... esto es distinto. La pelota quiere ir hacia abajo, pero la mesa sólo la está sosteniendo... evitando que se mueva.” (pág. 1059, [23]).

Minstrell ([44] investigando el concepto de “reposo” pidió a estudiantes de Secundaria que dijeran las fuerzas que actúan sobre un libro para que se mantenga sobre una mesa. La mitad de los estudiantes dijeron que la gravedad ejerce una fuerza vertical y que la mesa “sólo se encuentra en su camino”. Algunos alumnos mencionaron que no es necesario que la mesa empuje hacia arriba y otros que la mesa no es capaz de empujar hacia arriba. Por ejemplo, un alumno dijo: “[...] la mesa está ahí, evitando que [el libro] sea aspirado [por la gravedad], pero eso no es una fuerza. Debido a que la mesa es un objeto sólido. Ahora... las moléculas de la mesa no van a abrirse y dejar que el objeto las atraviese... Oh!! Eso significa que no hay una fuerza que actúa entre la mesa y el objeto pero sí hay una fuerza que mantiene juntas a las moléculas de la mesa para evitar que el objeto la atraviese...” (pág. 12, [44]).

E. Los obstáculos pueden redireccionar o detener el movimiento, pero ellos no pueden ser agentes que apliquen fuerzas.

Siguiendo con la idea previa mencionada arriba, Halloun y Hestenes [23] encontraron que muchos alumnos argumentan que la acción o resistencia del un medio no es una fuerza, ya que *no inicia ni sostiene un movimiento.*

F. Los objetos para caer no requieren fuerza, ya que ellos siempre quieren ir hacia abajo.

El mismo estudiante entrevistado sobre la idea previa de que los objetos inanimados sólo sostienen a los objetos dijo que no se necesita una fuerza para que los objetos caigan, ya que ellos “siempre quieren ir hacia abajo”. El estudiante explicó: “no hay fuerza en una pelota [que está cayendo]... hay una fuerza mientras la sostienes, pero en cuanto la sueltas, ya no hay fuerza en la pelota, por lo que es libre de caer... la pelota quiere ir hacia abajo... entonces cuando uno la deja ir, regresa al piso en donde está la gravedad” (pág. 1059, [23]).

A partir de esta idea previa, se encuentra que los alumnos creen que la *gravedad* es la tendencia a caer de los objetos. Por lo que no consideran que la gravedad sea una fuerza. Esta concepción acerca de por qué las cosas van hacia abajo es tan antigua como Aristóteles, cuyas explicaciones involucraban la tendencia de los objetos, hechos de materiales terrestres, para ir hacia abajo a su lugar de reposo natural sobre la superficie de la Tierra [44]. Al igual que Halloun y Hestenes [23], Minstrell encontró que los alumnos de Secundaria creen que los objetos, como una mesa, sólo evitan que los objetos caigan. Cuando Minstrell puso la situación de que un libro ya se encontraba sobre el suelo, un alumno dijo que la situación era muy diferente de si se encontrara sobre una mesa: “... sobre el suelo, la gravedad no estaría en el libro, debido a que [el libro] ya se encuentra al final de su camino hacia el piso” (pág. 11, [44]). Otro estudiante dijo: “[...] la gravedad lleva al objeto hacia la tierra, por lo tanto, si ya se encuentra en contacto con la tierra; entonces ya no puede estar más cerca” (pág. 11, [44]).

G. En el instante en que se suelta una pelota, sobre ella no actúa fuerza alguna.

Halloun y Hestenes [23] encontraron que muchos estudiantes creen que el efecto de una fuerza no aparece en el instante en que se aplica. Por ejemplo, uno de los estudiantes entrevistados dijo: “la fuerza no actúa hasta que... el objeto alcanza su velocidad inicial” (pág. 1059, [23]).

H. Una fuerza constante produce una velocidad constante, expresada como $F = mv$

Después de la primera aplicación del *Mechanics Diagnostic Test* a los 478 estudiantes Universitarios del curso de Física Introductoria, Halloun y Hestenes [23] encontraron que el 14% de los alumnos creían que una partícula a la que se le aplica fuerza constante se mueve con una velocidad constante.

I. El intervalo de tiempo necesario para recorrer una distancia específica bajo una fuerza constante es inversamente proporcional a la magnitud de la fuerza

A partir de la muestra de estudiantes que creen que una fuerza constante produce una velocidad constante, el 47% de los alumnos creen que el intervalo de tiempo necesario para recorrer una distancia específica bajo una fuerza constante es inversamente proporcional a la magnitud de la fuerza [23].

J. Una fuerza no puede mantener un objeto acelerado indefinidamente.

Muchos estudiantes creen que el efecto de una fuerza se auto-consume o se disipa por resistencias externas. Gustone y Watts [51] cuestionaron a un grupo de alumnos acerca de lo que pasa cuando se empuja una pelota sobre una superficie y ellos mencionaron que la pelota llegaría tan lejos como fuera la fuerza de empuje y luego se iría parando a medida que la pelota usara dicha fuerza. Igualmente, al entrevistar a sus alumnos, Halloun y Hestenes (1985) se encontraron con este tipo de comentarios: “esta fuerza no puede permanecer para siempre... Nada dura por siempre”, “el cañón sólo tiene fuerza suficiente para llevarla [a la pelota] hasta esa distancia” (pág. 1059, [23]).

Halloun y Hestenes [23] encontraron que de los estudiantes que creen que una fuerza constante produce una velocidad constante, el 27% creen que una fuerza no puede mantener acelerado a un objeto indefinidamente y que el objeto alcanza una velocidad límite crítica determinada por la magnitud de la fuerza y por la masa del objeto. Algunos de los argumentos que dieron los estudiantes fueron: “Una fuerza constante acelera un cuerpo... pero sólo hasta que el cuerpo alcanza la velocidad a la que haya usado toda la potencia de la fuerza”, “el bloque X primero se acelera hasta que su velocidad es igual al empuje de Y... después continúa a esta velocidad... la velocidad máxima siempre es igual a la fuerza que se aplica”, “la gravedad jala hacia abajo [en un cuerpo en caída libre], pero hay algo que la apaga. No sé que es. No es razonable que la velocidad siga incrementando de manera indefinida”, “¿Qué no hay un límite para todo?... ¿cómo podría un objeto ir cada vez más rápido?... debe haber un límite” (pág. 1061, [23]).

K. Cuando dos o más fuerzas están en competencia, el movimiento está determinado por la fuerza más grande.

Maloney [41] y Halloun y Hestenes [23] encontraron que muchos estudiantes caracterizan la interacción entre dos objetos por un principio de dominancia que puede expresarse de dos maneras: a) la masa mayor ejerce la mayor fuerza, y más comúnmente se expresa como b) el objeto que causa movimiento sobre el otro es el que ejerce la mayor fuerza, debido a que supera la oposición del otro.

L. Una fuerza no puede mover un objeto, a menos que ésta sea mayor que el peso o la masa del objeto

Esta idea va unida a la anterior. Halloun y Hestenes [23] explican que el principio de dominancia tiene un origen natural en la experiencia, ya que, para mover un objeto pesado, uno necesita empujar más y más fuerte hasta que el empujón “supera” la resistencia, después se necesita de menos fuerza para mantener el movimiento.

VI. ¿CÓMO CAMBIAR LAS IDEAS PREVIAS?

Uno de los principales objetivos del estudio de las ideas previas es enfocarse en su transformación para lograr un mejor aprendizaje y comprensión de los conceptos

científicos. A partir de trabajos que muestran la persistencia de las ideas previas a pesar de la instrucción formal [1, 7, 12, 13, 14, 15, 16], es importante tener en cuenta que la transformación de las ideas previas no es un proceso abrupto, sino por el contrario, es un proceso lento y gradual. También es necesario reconocer que las posibles transformaciones de las ideas previas no ocurren de manera aislada, esto es, la transformación de una idea con independencia de otras. El proceso es complejo e intervienen en él diversos factores entre los que se pueden mencionar el contexto, el nivel de comprensión de los conceptos, si se trata de relaciones causales o funcionales, etc. [22, 30].

La idea de lograr un cambio conceptual, se basa en la comprensión de cómo los alumnos aprenden, para que haya un proceso de enseñanza efectivo. Por lo que el problema del cambio conceptual está asociado a dos cuestiones que en la actualidad no se han podido resolver por completo: a) la manera en la que se construye el conocimiento y b) en qué consiste el proceso de aprendizaje [52].

En torno al problema del cambio conceptual existen diversas aproximaciones que han surgido a partir de diferentes enfoques teóricos, como el epistemológico, el que tiene su origen en la visión de Piaget o basados en la psicología cognitiva [29, 30]. El hecho de adoptar un modelo de cambio conceptual, no significa que tenga que existir una única manera de establecer secuencias y estrategias de enseñanza. La ventaja de tener un modelo, es que proporcionaría lineamientos que pueden ser utilizados para el diseño de diferentes maneras de llevar a cabo la enseñanza [29]. Sin embargo, el problema radica en ¿qué modelo elegir? En la actualidad no se cuenta con un modelo o teoría que explique por completo el cambio conceptual [52].

Flores [52] hace una útil clasificación de las teorías sobre el cambio conceptual. Su clasificación distingue entre las teorías que tienen una base Epistemológica y las que se basan en las teorías Cognitivas. Dentro de esta clasificación, Flores divide a las teorías en las que explican el proceso de cambio conceptual como el reemplazo de conceptos y las que lo explican como un sistema complejo. De esta manera, el autor nos habla de que existen 4 tipos de teorías: las de base epistemológica y las de base cognitiva, cada una de ellas considerando el cambio conceptual como un reemplazo de conceptos y como un sistema complejo. Estos 4 tipos de Teorías se explican a continuación:

A. Teorías Epistemológicas-Reemplazo de Conceptos

Definen un “concepto” como una entidad unitaria cuyo significado depende de la teoría a la que pertenece. Este tipo de teorías consideran que las personas elaboran los conceptos en función de sus estructuras y de sus procesos cognitivos. El cambio conceptual consiste en un proceso complejo y progresivo mediante el cual se **reemplazan** los conceptos. Ejemplos de teorías de este tipo son las de Strike y Posner (citado en [52]) y la de Carey (1991, citado en [52]).

B. Teorías Epistemológicas–Sistema Complejo

Definen un concepto como una entidad dinámica que evoluciona en función del contexto y del establecimiento de nuevas relaciones. Consideran que las personas elaboran los conceptos en función de sus estructuras y procesos cognitivos. Describen el cambio conceptual como un proceso complejo y a largo plazo mediante el cual se **construyen** nuevos conceptos. Ejemplos de teorías de este tipo son las de Tiberghien (citado en [52]) y la de diSessa (citado en [52]).

C. Teorías Cognitivas- Reemplazo de Conceptos

Definen un concepto como una entidad unitaria definida externamente. Este tipo de teorías consideran que los conceptos se le dan a las personas, ya sea por su entorno o por otros sujetos. El cambio conceptual para ellos es un proceso simple y rápido que consiste en el reemplazo de conceptos. Ejemplos de teorías de este tipo son las de Chi *et al.* (citado en [52]) y la de Nersessian (citado en [52]).

D. Teorías Cognitivas- Sistema Complejo

Definen un concepto como una entidad compleja cuyo significado depende de un esquema cognitivo básico. Consideran que la formación de conceptos está determinada de manera externa y por las condiciones cognitivas innatas de la persona en su aspecto más básico. Describen el cambio conceptual como un proceso complejo y progresivo mediante el cual ocurre la síntesis e integración de los conceptos. Ejemplos de teorías de este tipo son las de Vosniadou (citado en [52]) y la de Pozo (citado en [52]).

A pesar de las diferentes teorías sobre el cambio conceptual, se ha encontrado que para que ocurra el cambio (ya sea por reemplazo o construcción), la nueva información debe cumplir con cuatro características [15]:

- a) Ser entendible para el alumno (para que la relacione con la información que ya posee).
- b) Ser plausible (consistente con otras teorías, con su experiencia, con sus creencias y que resuelva problemas que la idea previa no puede).
- c) Debe generar un fuerte conflicto con las predicciones basadas en la idea previa que posee.
- d) Debe ser útil para resolver problemas cotidianos (las personas juzgan los nuevos conceptos por su utilidad y no con base en si hace mejores predicciones de los fenómenos).

E. Cambio conceptual basado en la evolución de las ideas previas

A pesar de que existen diferentes teorías sobre el cambio conceptual, existe mayor evidencia para las teorías que sugieren que el cambio conceptual no ocurre de manera instantánea, sino que parece ser un cambio gradual [29, 30]. Se ha encontrado que este proceso de cambio no es aleatorio, sino que parece semejar la evolución histórica de los conceptos científicos. Al respecto, Harres (pág. 1, [19]) menciona que “[...] el “salto” de la física aristotélica a la física newtoniana no es “cuántico””. Como se mencionó anteriormente, una de las características de las ideas previas es que guardan cierta semejanza con ideas que se han presentado en la historia de la ciencia, de manera que

se asemejan a ideas pre-Aristotelianas [9] o pre-Galileanas [13].

Debido a la semejanza de las ideas previas con la evolución de los conceptos científicos, Harres [19] considera que no es suficiente catalogar las ideas previas de las personas como “ciertas” o “falsas” comparándolas con el conocimiento científico vigente. Harres le da una especial importancia a la tarea de clasificar y analizar las ideas previas de los alumnos con relación al proceso histórico de los conceptos científicos, por lo que propone que el cambio conceptual debe estar basado en una perspectiva epistemológica evolutiva del conocimiento científico y en una concepción constructivista del aprendizaje; de manera que se contraste el desarrollo histórico de los conceptos con una posible evolución de las ideas previas de los alumnos.

Harres (citado en [16]) propone una escala de 5 niveles históricos para evaluar las ideas previas de los alumnos sobre el concepto de fuerza y el movimiento de los cuerpos:

1. Aristotélico.- los alumnos consideran que el reposo es el estado natural de los cuerpos. También piensan que la fuerza del aire (“antiperístasis”) mantiene el movimiento por algún tiempo después del lanzamiento y que la gravedad y el rozamiento hacen que los cuerpos finalmente se paren.
2. Medieval Inicial.- los estudiantes creen que la fuerza impresa es la que mantiene el movimiento y que dicha fuerza disminuye naturalmente.
3. Medieval Mixta.- los alumnos consideran que la fuerza impresa disminuye por la acción del rozamiento.
4. Medieval Pre-Inercial.- los estudiantes creen que en el movimiento de los cuerpos actúan tanto la fuerza impresa como el rozamiento.
5. Inercial.- los alumnos consideran que los cuerpos no necesitan de fuerza para mantenerse en movimiento. Dicen que los cuerpos se detienen porque actúa una fuerza contraria.

Harres [19] encontró que esta escala ha sido efectiva para caracterizar el conocimiento de los estudiantes sobre fuerza y movimiento, además de que cuando se emplean técnicas para lograr el cambio conceptual se ha encontrado que las transiciones de los conceptos ocurren hacia niveles más avanzados (por ejemplo, de Aristotélico a Medieval Inicial o de Medieval Pre-inercial a Inercial).

Como soporte a la idea de que los conceptos evolucionan, en el Mechanics Diagnostic Test, las opciones de respuesta se categorizan en respuestas de tipo Aristotelianas, de Ímpetus o Newtonianas. En 1985, Halloun y Hestenes aplicaron el MDT a 478 estudiantes Universitarios y encontraron que el 18% tenía respuestas predominantemente Aristotelianas, el 65% del tipo de Impetus y el 17% restante, las tenía del tipo Newtoniano. Sin embargo, al analizar los datos encontraron que todos los estudiantes suelen usar una mezcla de conceptos de las 3 categorías y que suelen aplicar un mismo concepto de forma inconsistente cuando se plantean diferentes situaciones.

F. Problemas para el cambio conceptual

Varias investigaciones han mostrado que aún cuando se usan técnicas de enseñanza enfocadas en facilitar el cambio de ideas previas a conceptos científicos, se ha encontrado que en algunas ocasiones reaparecen las ideas previas que se creían superadas [53]. Según Posada [53], este hecho puede interpretarse como un fracaso debido a que el modelo de cambio conceptual empleado no considera una o varias de las siguientes dificultades:

- a) La continuidad existente entre la memoria semántica rutinaria y la significativa. Se debe considerar que el aprendizaje significativo se produce gradualmente a medida que se realizan nuevas relaciones sustantivas con conceptos, experiencias, hechos y objetos conocidos por el individuo. Aunque resulta casi imposible erradicar todas las ideas previas de las personas, estas concepciones constituyen rémoras que compiten, desde posiciones ventajosas, con las ideas científicas.
- b) Los alumnos deben superar los métodos de análisis simplistas (accesibilidad, contigüidad espacial y temporal, semejanza y covariación), emplear métodos más sofisticados y conocer los límites de aplicación de dichos métodos.
- c) Tomar en consideración los aspectos emotivos, debido a que los alumnos deben contar con suficiente motivación y actitud positiva para que ocurra el aprendizaje significativo. También es necesario que los alumnos tengan cierto grado de autoestima, de empatía con el profesor y de afinidades personales entre los alumnos de la clase.

VII. DISCUSIÓN

El proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física tiene un grave problema: los alumnos terminan sus cursos sin lograr una apropiada comprensión y manejo de los principios y conceptos fundamentales de la Física; esto ocurre sin importar su nivel educativo, sus hábitos de estudio, sus capacidades, habilidades, su país de origen, etc. [1, 2, 3, 4, 18, 21]. Varias investigaciones han mostrado que una de las causas de este problema es que los alumnos llegan al salón de clases con ideas previas de los fenómenos físicos que interfieren con la adquisición de los conceptos científicos y los principios básicos de la Física [1, 7, 12, 13, 14, 15, 17].

La enseñanza de la Física se puede mejorar de muchas maneras, sin embargo, gran cantidad de investigaciones han mostrado que si se quieren tener resultados favorables es imposible ignorar el papel que juegan las ideas previas en el aprendizaje de las ciencias.

Definir las ideas previas ha sido una tarea complicada a lo largo de la historia. El problema empieza con el término con el que se les denomina. Durante la presente investigación particularmente me llamó la atención el hecho de que cada autor usa un término distinto. Entre los más usados están el de “errores conceptuales” (*misconceptions*), “preconceptos” y el de “ideas alternativas”. Esto representa un problema pues en primer lugar debemos asegurarnos que todos los autores hacen referencia al mismo fenómeno y en segundo lugar muestra

que a pesar de ser un problema viejo, aún no se sabe mucho acerca de sus mecanismos de adquisición, por lo que cada investigador asigna un término dependiendo de su postura en torno a la construcción del conocimiento y del aprendizaje. El presente trabajo no tiene como objetivo demostrar cuál es el mejor término, sin embargo para fines prácticos y para evitar confusiones se decidió elegir un único término para hacer referencia al fenómeno a lo largo de todo el trabajo. La selección se hizo con base en investigaciones acerca de este problema realizadas por Pozo [50], concluyendo que un término adecuado es el de “ideas previas”. Sin embargo, la autora está consciente de que este nombre puede representar otros problemas pues el término “ideas” también es un término ambiguo en la literatura.

El problema acerca de si todos los autores se refieren al mismo fenómeno es más sencillo ya que las definiciones coinciden en las siguientes características: las ideas previas (errores conceptuales, preconceptos, ideas alternativas, etc.) se encuentran presentes de manera semejante en diversas edades, género y culturas; son muy persistentes pues no se modifican fácilmente por medio de la enseñanza tradicional; son de carácter implícito; se originan a partir de las experiencias de las personas con relación a fenómenos cotidianos, a la correspondencia de interpretación con sus pares y a la enseñanza que se ha recibido en la escuela; se encuentran indiferenciadas de otros conceptos; guardan cierta semejanza con ideas que se han presentado en la historia de la ciencia; parecen dotadas de cierta coherencia interna e interfieren con la instrucción científica [29, 30, 39].

Las características que definen a las ideas previas son a las que se debe prestar particular atención en la enseñanza de las ciencias pues nos dicen que las ideas previas las poseen todos los seres humanos y lo más importante es que no son ideas pasajeras o algo accidental, sino que son una interpretación de fenómenos naturales y conceptos científicos, que usan las personas para brindar explicaciones, descripciones y predicciones de los fenómenos. Esto es de particular importancia pues gran cantidad de investigaciones demuestran que a pesar de la instrucción formal, los estudiantes prefieren seguir usando sus propias ideas previas para explicar, describir y predecir los fenómenos. Esto no representaría un problema grave si las ideas previas fueran muy semejantes a los conceptos científicos o, como mencionan algunos autores, sólo fueran conceptos *incompletos* a los que se les puede añadir la información faltante. Sin embargo, se ha encontrado que las ideas previas no sólo son distintas a los conceptos científicos sino que difieren en características que hacen que las personas analicen, interpreten y predigan los fenómenos basados en un razonamiento distinto a lo que ocurre en la realidad. Por ejemplo, Pozo y Gómez [24] mencionan que las ideas previas generalmente sólo muestran una relación causa-efecto de tipo lineal (cuando en la naturaleza las relaciones son complejas), las ideas previas se enfocan más en los cambios de un fenómeno (mientras que los conceptos científicos se centran en la conservación y en el equilibrio) y las ideas previas se enfocan en los aspectos cualitativos de los fenómenos (mientras que los conceptos científicos se basan en los

aspectos cuantitativos).

Las diferencias entre ideas previas y conceptos científicos que mencionan Pozo y Gómez [24] nos parecen interesantes pues sugieren que las personas usamos tipos de pensamiento distintos para formarlas. Por ejemplo, para formar las ideas previas pareciera que empleamos pensamientos de tipo prelógico, concreto y autista, mientras que para formar los conceptos científicos tendemos a usar pensamientos de tipo realista, lógico y abstracto (ver [56]). Esto es importante pues sugiere que unos tipos de pensamiento resultan más “naturales” para el ser humano mientras que otros deben desarrollarse. Vygotsky [42] menciona al respecto que los niños antes de entrar al escuela no poseen todas las funciones mentales en un nivel de desarrollo que le permitan usar de manera adecuada los conceptos que ya poseen. Si lo anterior es cierto, en la enseñanza de las ciencias es importante considerar dos aspectos: a) para comprender un concepto científico la persona debe tener un nivel de desarrollo adecuado, y b) a pesar del nivel de desarrollo parece existir una tendencia a usar unos tipos de pensamiento (generalmente más simples) sobre otros. Por lo que durante la instrucción se debe favorecer el uso y desarrollo de tipos de pensamiento que ayuden a la comprensión de los conceptos científicos (por ejemplo, desarrollar los pensamientos de tipo lógico y abstracto).

Un dato que también llama la atención es el hallazgo de que muchas ideas previas tienen semejanza con las ideas que tenían los intelectuales en los tiempos pre-Aristotelianos [9] o pre-Galileanos [13], pues esto sugiere que el desarrollo de los tipos de pensamiento y de los conceptos ocurre tanto a nivel ontogenético como filogenético. Por lo que no se puede esperar que con la instrucción formal de los conceptos se de un salto automático de una idea previa a la adquisición de un concepto científico [19].

En el área de las ideas previas existe un gran hueco pues en la actualidad no hay una teoría ni un modelo, aceptado universalmente, que explique la manera en la que se forman las ideas previas ni los conceptos científicos [52]. Es más, no contamos con un modelo que explique la manera en la que aprendemos respuestas simples [54], mucho menos de la forma en la que adquirimos conocimientos. Proponer un modelo no es una tarea sencilla, es un trabajo de tipo interdisciplinario que requiere de la inversión de mucho tiempo, esfuerzo y recursos. Además de que tendría que solucionar el debate actual acerca de si existe un cambio conceptual o un reemplazo de los conceptos. A pesar de que la mayoría de las investigaciones parecen apuntar hacia un cambio gradual de los conceptos [19, 29, 30], no se tienen evidencias contundentes que rechacen de manera definitiva las teorías que proponen un reemplazo de los conceptos. Para la enseñanza de las ciencias, tener un modelo de la adquisición de conceptos sería de gran utilidad pues proporcionaría los lineamientos que deben ser utilizados para el diseño de diferentes técnicas de enseñanza [29].

El diseño de un Modelo de la forma en la que se adquieren los conceptos, como se mencionó arriba, no es un trabajo que deba resolver el especialista en Educación en Física, sino que es un trabajo interdisciplinario al que le

falta un largo trayecto por recorrer. El Físico Educativo debe resolver el problema de la comprensión adecuada de los conceptos aún en ausencia de dicho modelo. Por esta razón aunque se hace una invitación para trabajar en el diseño de modelos, se buscan soluciones prácticas al problema de la enseñanza de la Física, por lo que se discute al final del presente trabajo la importancia de lograr un aprendizaje activo en los estudiantes y el por qué este tipo de estrategia ayuda a cambiar/sustituir las ideas previas de los estudiantes logrando una comprensión adecuada de los conceptos de la Física.

A partir de lo anterior, se puede concluir que el estudio de las ideas previas que tienen los alumnos sobre conceptos de Física es útil en el sentido que ayudará a diseñar estrategias de enseñanza-aprendizaje con las que los estudiantes realmente comprendan los conceptos de la Física y que los usen de manera adecuada. El diseño de las estrategias de enseñanza-aprendizaje debe ser una labor cuidadosa y apegada a la metodología científica, debido a que existen infinidad de estrategias para enseñar Física pero muy pocas de ellas se diseñan con base en un marco teórico y contextual que justifique cada una de sus características. Por ejemplo, muchas de ellas sólo buscan motivar a los alumnos, tratar de relacionar el concepto enseñado con la vida cotidiana, diseñar tutoriales, entrenar habilidades, etc. [1, 5, 7] y obtienen buenos resultados si se comparan con el método de la enseñanza tradicional, sin embargo, si se hace un análisis más profundo de la comprensión de los conceptos por parte de los alumnos, se encuentra que un alto porcentaje de ellos no han abandonado sus ideas previas acerca del fenómeno [2]. Por esta razón, en el presente trabajo se sugiere que se debe tomar en cuenta el marco teórico sobre las ideas previas para diseñar estrategias de enseñanza-aprendizaje adecuadas.

El área de las ideas previas hace varias propuestas acerca de las características que debe tener una estrategia de enseñanza-aprendizaje efectiva, por ejemplo, que la explicación sobre el concepto a enseñar debe ser: entendible para el alumno, consistente con la experiencia de los alumnos, generar un fuerte conflicto con sus ideas previas, etc. Además, es muy importante que los profesores sepan que todos sus alumnos tienen ideas previas acerca del concepto que se les va a enseñar, así que lo más recomendable es que conozcan dichas ideas previas para que la estrategia de enseñanza sea focalizada. Hay muchas formas de conocer las ideas previas de los alumnos, para el concepto de *fuerza* se sugieren el uso de instrumentos como el *Mechanics Baseline Test* , *Force Concept Inventory* y el *Force and Motion Conceptual Evaluation* , los cuales fueron diseñados para dicho fin; también se pueden usar otras técnicas como las entrevistas o los cuestionarios. Sin embargo, averiguar las ideas previas que tienen los estudiantes requiere de la inversión de mucho tiempo, factor que casi siempre falta en la enseñanza de los cursos pues casi siempre se tienen las horas justas para cubrir el Temario. Por esta razón, y debido a que las ideas previas tienen la característica de ser muy semejantes en diferentes edades, culturas y niveles educativos, se sugiere que los profesores basen sus estrategias de enseñanza en las ideas previas que ya se han

encontrado en otras investigaciones. Por ejemplo, para el caso del concepto de *fuerza*, en la sección V del presente trabajo se enlistan las ideas previas más comunes como que los objetos permanecen en reposo a menos que una fuerza actúe sobre ellos, los objetos inanimados no ejercen fuerza, cuando un objeto cae no requiere de fuerza, cuando varias fuerzas están en competencia el movimiento está determinado por la fuerza más grande, etc.

Finalmente no se debe olvidar que la Física Educativa debe apegarse a la metodología científica, de manera que cualquier estrategia de enseñanza-aprendizaje que sea propuesta para enseñar Física debe ser *medida* para *evaluar su efectividad*. Por ejemplo, hacer una evaluación (cualitativa y/o cuantitativa) antes y después del curso, comparar con un grupo control, etc. de manera que tengamos datos que nos ayuden a determinar si la nueva estrategia no sólo parece ser “mejor” que la enseñanza tradicional sino que estemos seguros de ello (o de que no hizo diferencia). De otra manera sólo seguiremos acumulando estrategias de enseñanza-aprendizaje de la Física.

VIII. CONCLUSIONES

Existe gran cantidad de evidencia que demuestra que las ideas previas son un obstáculo importante para la adquisición de los conceptos científicos. Descubrir el mecanismo mediante el cual las personas formamos las ideas previas sería de gran utilidad para la enseñanza de las ciencias, sin embargo a la fecha no existe un modelo aceptado universalmente que explique su adquisición y por lo tanto, la manera en la que se pueden cambiar o sustituir las ideas previas por conceptos científicos. Diseñar un modelo es un trabajo interdisciplinario que requiere de inversión de mucho tiempo y recursos, sin embargo, el aprendizaje de las ciencias no puede esperar. Por lo que es necesario diseñar estrategias de enseñanza que logren que los alumnos realmente comprendan los conceptos científicos aunque su objetivo principal no sea el de cambiar o sustituir las ideas previas que tienen los estudiantes.

En el presente trabajo se realizó una revisión de las ideas previas sobre el concepto de “fuerza” y a partir de lo estudiado se sugiere que el diseño de estrategias de enseñanza-aprendizaje para enseñar dicho concepto considere los siguientes aspectos:

- a. **Todos** los estudiantes llegan al aula con ideas previas acerca de lo que es la “fuerza”.
- b. Las ideas previas no son casualidad, ideas pasajeras, errores momentáneos o triviales sino que se distinguen por: ser muy persistentes, ser de carácter implícito, guardar semejanza con ideas que se ha presentado en la historia de la ciencia, por tener cierta coherencia interna, pueden ser contradictorias cuando se aplican a contextos diferentes y casi siempre se encuentran indiferenciadas de otros conceptos por lo que presentan confusiones cuando son aplicadas a situaciones específicas.
- c. Las ideas previas más comunes sobre el concepto de fuerza son: los objetos permanecen en reposo a menos que

una fuerza actúe sobre ellos, los objetos inanimados no ejercen fuerza, cuando un objeto cae no requiere de fuerza, una fuerza constante produce una velocidad constante, cuando varias fuerzas están en competencia el movimiento está determinado por la fuerza más grande, la magnitud de una fuerza determina el tiempo en el que se recorre una distancia, una fuerza no puede mantener a un objeto acelerado indefinidamente y una fuerza sólo puede mover un objeto si es mayor a la masa del objeto.

A partir de los puntos anteriores y de la revisión realizada acerca de las teorías sobre el cambio conceptual, se concluye que el diseño de una estrategia adecuada para enseñar el concepto de fuerza debe cumplir con las siguientes características:

- La explicación que se proporcione sobre lo que es la fuerza debe ser entendible para el alumno, de manera que pueda relacionar esta información con la que él ya posee.
- El concepto de fuerza se debe enseñar de manera que sea consistente con la experiencia de los alumnos, con sus creencias y de forma que resuelva problemas que cualquiera de las ideas previas sobre este concepto no pueden.
- La explicación acerca de lo que es la fuerza debe generar un fuerte conflicto con las predicciones basadas en cualquiera de las ideas previas sobre fuerza.
- Al enseñar el concepto de fuerza se debe hacer hincapié en su utilidad para resolver problemas cotidianos.
- Se debe proporcionar la mayor cantidad posible de experiencias con el concepto de fuerza, de manera que los alumnos puedan establecer nuevas relaciones sustantivas con otros conceptos y hechos conocidos por ellos. De esta manera lograrán un aprendizaje significativo y no olvidarán fácilmente la nueva información.
- La técnica de enseñanza empleada debe lograr que los alumnos superen los métodos de análisis simplistas (por ejemplo, accesibilidad, contigüidad espacial y temporal, semejanza, etc.) y que en su lugar empleen métodos más sofisticados (conociendo los límites de aplicación de dichos métodos).
- Para lograr un aprendizaje significativo, se debe lograr que los estudiantes estén motivados a aprender y que tengan una actitud positiva para la adquisición del concepto.
- Puede ser útil basarse en una perspectiva epistemológica evolutiva del conocimiento científico para diseñar una estrategia de enseñanza en la que se vayan descartando (mediante demostraciones, experimentos y predicciones) de manera gradual las ideas previas sobre fuerza de acuerdo a la clasificación propuesta por Harres [19], es decir, primero descartar las ideas de tipo Aristotélico, luego las de tipo Medieval Inicial, Medieval Mixta y por último las de Medieval Pre-Inercial.
- Si se cuenta con el tiempo y los recursos necesarios, se sugiere que se utilice alguna técnica o instrumento para conocer las ideas previas sobre fuerza que tienen los alumnos con los que se va a trabajar. De esta manera se podrá diseñar una estrategia de enseñanza más específica para el grupo de alumnos, además de que se tendrá un parámetro para evaluar la efectividad de la estrategia

empleada al evaluar las ideas previas sobre el concepto de fuerza antes y después de la instrucción.

Existen infinidad de estrategias de enseñanza de la Física, entre ellas las que se basan en un aprendizaje activo son las que cumplen con las características enlistadas. **Las Clases Demostrativas e Interactivas (Interactive Lecture Demonstrations)** son una técnica desarrollada por Sokoloff y Thornton, en 1991 con la que logran crear ambientes de aprendizaje activo que son exitosos tanto para grupos pequeños como para grandes. En 2004, Sokoloff y Thornton elaboraron un manual titulado **“Interactive Lecture Demonstrations. Active Learning in Introductory Physics”** en el que proponen una serie de Clases Demostrativas e Interactivas para diversos temas de Física. Por las características de esta técnica, se recomienda ampliamente utilizar la sección de Mecánica para enseñar el concepto de Fuerza. Sin embargo, existe el desafío de mejorar y ampliar dicho Manual para ser aplicado en Latinoamérica y/o para desarrollar otras técnicas, basadas en aprendizaje activo, para enseñar el concepto de Fuerza.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado mediante el proyecto de investigación SIP-20082788 y CONACYT-91335.

REFERENCIAS

- [1] Clement, J., *Students' preconceptions in introductory mechanics*, American Journal of Physics **50**, 66-71 (1982).
- [2] McDermott, L. C., *Bridging the gap between teaching and learning: The role of research*, AIP Conference Proceedings **399**, 139-165 (1997).
- [3] Sebastia, J. M., *Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes*, Enseñanza de las Ciencias **2**, 161-169 (1984).
- [4] Gil, P. D. y Guzmán, O. M., *Enseñanza de las Ciencias y la Matemática. Tendencias e Innovaciones*, (Editorial Popular, Madrid, 2001).
- [5] Reif, F., *How we can help students acquire effectively usable physics knowledge?*, AIP Conference Proceedings, p. 399 (1997).
- [6] Champagne, A. B., Klopfer, L. E. y Anderson, J. H., *Factors influencing the learning of classical mechanics*, American Journal of Physics **48**, 1074-1079 (1980).
- [7] Heuvelen, A. V., *Learning to think like a physicist: A review of research-based instructional strategies*, American Journal of Physics **59**, 891-897 (1991).
- [8] McDermott, L. C., *Millikan Lecture 1990: What we teach and what is learned- Closing the gap*, American Journal of Physics **59**, 301-315 (1991).
- [9] Fuller, R. G., *Solving physics problems –how do we do it?*, Physics Today **35**, 43-47 (1994).
- [10] Goldberg, F. M. y J. H. Anderson, J. H., *Student difficulties with graphical representations of negative values of velocity*, The Physics Teacher **27**, 254-260 (1989).

[11] McDermott, L. C., Rosenquist, M. L. y Van Zee, E. H., *Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics*, American Journal of Physics **55**, 503-513 (1987).

[12] Reif, F. y Larkin, J. H., *Cognition in scientific and everyday domains: Comparison and learning implications*, Journal of Research in Science Education **28**, 733-760 (1991).

[13] Camarazza, A., McCloskey, M. y Green, B., *Naive beliefs in 'sophisticated' subjects: Misconceptions about trajectories of objects*, Cognition **9**, 117-123 (1981).

[14] Greca, I. M. y Moreira, M. A., *The kinds of mental representations -models, propositions and images- used by college physics students regarding the concept of field*, International Journal of Science Education **6**, 711-724 (1997).

[15] Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. y Gertzog, W. A., *Acommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change*, Science Education **66**, 211-227 (1982).

[16] Trowbridge, D. E. and McDermott, L. C., *Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension*, American Journal of Physics **48**, 1020-1028 (1980).

[17] Trowbridge, D. E. y McDermott, L. C., *Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension*, American Journal of Physics **49**, 242-253 (1981).

[18] Meneses, J., Patiño, A. y Mejía, H., *Preconceptos y Conceptos erróneos del movimiento de los cuerpos en docentes que enseñan física en el departamento del César*, (Universidad Popular del Cesar, Colombia, 1995).

[19] Harres, J. B. S., *La física de la fuerza impresa como referente para la evolución de las ideas de los alumnos*, Enseñanza de las Ciencias, Número Extra, VII Congreso, 1-5 (2005).

[20] Grizalez, M. A., Bermeo, D., Agudelo, J. M. y Sánchez, N., *Preconceptos y conceptos erróneos acerca de las leyes del movimiento y sus aplicaciones en docentes de educación media que enseñan física en el departamento del Caquetá*, Revista Colombiana de Física **34**, 529-531 (2002).

[21] Gómez, G. J. A. y Insausti, T. M. J., *Un modelo para la enseñanza de las ciencias: análisis de datos y resultados*, Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias **4**, 1-20 (2004).

[22] Ausubel, D. P., Novak, J. D. y Hanesian, H., *Psicología Educativa: Un punto de vista cognitivo*, (Editorial Trillas, México, 1983).

[23] Halloun, I. A. y Hestenes, D., *Common sense concepts about motion*, American Journal of Physics **53**, 465-467 (1985).

[24] Pozo, J. I. y Gómez, M. A., *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*, (Ed. Morata, Madrid, 1998).

[25] Jones, M. G., Carter, G. y Rua, M., *Children's concepts: tools for transforming science teachers' knowledge*, Science Education **83**, 545 – 557 (1999).

[26] Cubero, R., *Concepciones alternativas, preconceptos, errores conceptuales ... ¿distinta terminología y un mismo significado?*, Investigación en la Escuela **23**, 33-42 (1994).

- [27] Jiménez, G. E., Solano, M. I. y Marín, M. N., *Problemas de terminología en estudios realizados acerca de "lo que el alumno sabe" sobre ciencias*, Enseñanza de las Ciencias **12**, 235-245 (1994).
- [28] De Posada, J. M., El estudio didáctico de las ideas previas. En P. Palacios y Cañal de León, *Didáctica de las Ciencias Experimentales. Teoría y Práctica de la Enseñanza de las Ciencias*, (Alcoy, Marfil, 2000).
- [29] Camacho, F. F., Tovar, M. M. E., Vega, M. E. J., Bello, G. S., Gamboa, R. F., Castañeda, M. R., Alvarado, Z. C., Chamizo, G. J. A., Cruz, C. J. M., Gallegos, C. L., Sosa, F. P., López A. D. y Mota y Valdez, A. S., Ideas Previas, Disponible en: <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048/index.php>
Última actualización: 16 enero de 2004.
- [30] Chamizo, J. A., Sosa, P. y Zepeda, S., *Análisis de las ideas previas de la química*, Enseñanza de las Ciencias, Número extra, VII Congreso, 1-5 (2005).
- [31] Pozo, J. I., *Teorías Cognitivas del aprendizaje*, (Morata, Madrid, 1989).
- [32] Pesa, M. y Cudmani L. C., *Sistematización de los resultados alcanzados en investigaciones sobre concepciones alternativas*, Memorias de la X Reunión Nacional de Educación en la Física, Mar del Plata, (1997).
- [33] Bachelard, G., *La formación del espíritu científico*, (Siglo XXI, Buenos Aires, 1972).
- [34] Clerk, D. y Rutherford, M., *Language as a confounding variable in the diagnosis of misconceptions*, International Journal of Science Education **22**, 703-717 (2000).
- [35] Erickson, G., Research programmes and the student science learning literature. En R. Millar, J. Leach y J. Osborne (Eds.), *Improving Science Education* (Open University Press, Buckingham, pp. 271-292, 2000).
- [36] Thijs, G. y Van Den Berg, E., *Cultural factors in the origin and remediation of alternative conceptions in physics*, Science & Education **4**, 317-347 (1995).
- [37] Flores, F. y Gallegos, L., *Partial possible models: an approach to interpret students' physical representation*, Science Education **82**, 15-29 (1998).
- [38] Taber, K., *Multiple frameworks?: Evidence of manifold conceptions in individual cognitive structure*, International Journal of Science Education **22**, 399 – 417 (2000).
- [39] McDermott, L. C., *Research on conceptual understanding in mechanics*, Physics Today, 24-32 (1984).
- [40] Rodrigo, M. J., Del escenario socio-cultural al constructivismo episódico: un viaje al conocimiento escolar de la mano de las teorías implícitas. En M. J. Rodrigo y J. Arnay (eds), *La construcción del conocimiento escolar*, (Paidós, Barcelona, 1997).
- [41] Maloney, D. P., *Rule-governed approaches to physics-Newton's third law*, Physics Education **19**, 37-42 (1984).
- [42] Vygotsky, L. S., *Pensamiento y Lenguaje*, (Quinto Sol, México, 1996).
- [43] Ramlo, S., *The Force and Motion Conceptual Evaluation. Paper presented at the Annual Meeting of the Mid-Western Educational Research Association*. Columbus, OH, October 16-19 (2002).
- [44] Minstrell, J., *Explaining the at rest condition of an object*, Physics Teacher **20**, 10– 23 (1982).
- [45] Hestenes, D. y Wells. A. M., *Mechanics Baseline Test*, The Physics Teacher **30**, 159 – 166 (1992).
- [46] Hestenes, D., Wells, M. y Swackhamer, G., *Force Concept Inventory*, The Physics Teacher **30**, 141 – 158 (1992).
- [47] Hestenes, D. y Halloun, I., *Interpreting the Force Concept Inventory. A response to Huffman and Heller*, The Physics Teacher **33**, 502 – 506 (1995).
- [48] Saxena, A. B., *An attempt to remove misconceptions related to electricity*, International Journal of Science Education **14**, 157 – 162 (1992).
- [49] Rogan, J. M., *Development of a conceptual framework of heat*, Science Education **72**, 103-113 (1987).
- [50] Pozo, J. I., *La historia se repite: Las concepciones espontáneas sobre el movimiento y la gravedad*, Infancia y Aprendizaje **38**, 69-87 (1987).
- [51] Gunstone, R. F. y Watts, D.M., Force and motion. En R. Driver, E. Guesne y A. Tiberghien (Eds.), *Children's ideas in science*, (Open University Press, Philadelphia, pp. 84-104, 1985).
- [52] Flores, F., *El cambio conceptual: interpretaciones, transformaciones y perspectivas*, Educación Química **15**, 256-269 (2004).
- [53] Posada, J. M. Memoria, cambio conceptual y aprendizaje de las ciencias, Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias **1**, 1-22 (2002).
- [54] Staddon, J. E. R. y Ettinger, R. H., *Learning: An introduction to principles of adaptive behavior*, (Harcourt Collage Pub., USA, 1989).
- [55] Sokoloff, D., Thorton, R., *Interactive Lecture Demonstrations. Active Learning in Introductory Physics, The Physics Suite*, (John Wiley and Sons, USA, 2004).
- [56] Bourne, Lyle y Dominowsky, *Psicología del pensamiento*, (Editorial Trillas, México, 1980).