

# Análisis del razonamiento conceptual en movimiento acelerado de estudiantes universitarios utilizando Tutoriales de Física Introdutoria



Manuel Sandoval M.<sup>1</sup>, César Mora<sup>2</sup>, Mario H. Ramírez D.<sup>2</sup>,  
Cristino Ricárdez J.<sup>3</sup>, Urania de los Santos<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Politécnica del Golfo de México, Carr. Fed. Mal Paso  
el Bellote KM171, Tabasco, México.

<sup>2</sup>Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología Avanzada Unidad Legaria  
del IPN. Av. Legaria No. 694, Col. Irrigación, Del. Miguel Hidalgo.

<sup>3</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carr. Jalpa-Cunduacán  
Km 1, Tabasco, México.

E-mail: manuelsandoval804@gmail.com

(Recibido el 3 de Junio de 2014, aceptado el 14 de Septiembre de 2014)

## Resumen

En este estudio se presenta la comparación entre dos metodologías (aprendizaje por transmisión-recepción vs Tutoriales para Física Introdutoria, TFI) para la enseñanza del movimiento acelerado en dos grupos de estudiantes del tercer semestre de la carrera Ingeniería Industrial inscritos al curso Física I, del Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco, Tabasco, Mex. En TFI se utilizó una secuencia didáctica que permite trabajo colaborativo dentro del aula de clases y fuera de ella, con algunos experimentos sencillos con planos inclinados pero enfocados a la filosofía de la enseñanza activa. Los resultados encontrados indican que las ventajas de utilizar TFI son mayores a las mostradas con aprendizaje por transmisión-recepción. Para la cuantificación de estos resultados se utilizó la ganancia normalizada de Hake y el Factor de concentración de Ley Bao, ambos señalan mejores resultados al utilizar TFI, es decir se adquieren mejoras significativas en las habilidades de análisis de datos, observación, trabajo en equipo, síntesis, razonamiento conceptual, entre otros.

**Palabras clave:** Movimiento acelerado, tutoriales de física introductoria, enseñanza tradicional.

## Abstract

In this work it shows a comparison between two teaching methodology (transmission-reception) vs Tutorial in Introductory Physics course (TIP) for accelerated motion between two groups from third semester enrolled at Introductory Physics course at Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco, Tabasco, Mex. In TIP, we used a didactical sequence that allows working collaboratively in and out of classroom, with some easy experiments using inclined plane and other but, focused on active learning. Results indicate that advantage using TIP is larger than traditional teaching. In order to quantify this results we used Hake's factor and Concentration Factor by Ley Bao, both points toward better results for TIP, *i. e.* students get meaningful improve in abilities to do a deeper analysis of datas, sighting, working in teams, synthesis, conceptual reasoning and others.

**Keywords:** Accelerated motion, tutorials in introductory physics course, traditional teaching.

PACS: 01.40Fk, 01.40gb, 01.50My

ISSN 1870-9095

## I. INTRODUCCIÓN

Las llamadas pre-concepciones de los estudiantes sigue siendo un tema de muchos debates entre los investigadores en enseñanzas de las ciencias físicas; esta línea de investigación se inició en la década de los 70's con Vienot [1] y Driver [2] la cual es conocida como cambio conceptual. A pesar de ser trabajos independientes tienen un punto en común: sostienen la convicción de que se debe superar de alguna manera las pre-concepciones para que los estudiantes asimilen adecuadamente los conceptos propios

de la física. Para Silva [3] tales pre-concepciones o ideas espontáneas son erróneas; justificando y reforzando con esto la necesidad de sustituirlos o reorganizarlos, para ello se debe buscar lo que pudiera ser un ajuste entre lo que se precisa ser aprendido por el estudiante y lo que éste presenta (conceptualmente hablando), es decir se debe conocer el tipo de explicaciones que tienen sobre los fenómenos del mundo, sus representaciones del medio físico y social, las cuales son, en la mayoría de las ocasiones, muy resistentes a los cambios. Los investigadores, Piaget y García [4] indican que la

reorganización de los pre-conceptos requieren adoptar un hecho importante: los estudiantes no son receptores pasivos de información, ni procesadores de información. Esta es una realidad que la mayoría de los docentes no toman en cuenta al momento de realizar su planeación didáctica, es decir asumen que los estudiantes ya deben tener los conocimientos básicos de la asignatura que se va a impartir. Siguiendo esta tesis, Jodelet [5] señala que en el proceso de escolarización, los profesores son agentes que presentan novedades a los grupos de alumnos, los cuales buscan asimilar esas novedades en sus redes de significaciones conceptuales, dándole así a los profesores un papel importante en este cambio conceptual y para lograrlo se requiere que ellos estén bien instruidos en las nuevas metodologías para la enseñanza de la física. Por ejemplo algunos estudios [6] se enfocan a la enseñanza del movimiento parabólico en la cual indican que la simple división de este movimiento en dos partes (horizontal y vertical) no es suficiente para que los estudiantes lo puedan comprender adecuadamente; por otro lado Testa Braz & Bonilha [7] sostienen que temas sencillos como la caída libre no es bien comprendida por los estudiantes ya la mayoría de ellos siguen teniendo ideas aristotélicas, y sostienen que una posible razón es debido a que tales temas no son parte de las discusiones de los círculos sociales y como consecuencia no tienen la relevancia necesaria para profundizar en este hecho. Algunos resultados como los de Martínez *et al.* [8], señalan que las estrategias tradicionales utilizadas para la resolución de problemas de mecánica no ha sido la más adecuada ya que lleva a los estudiantes a un “aprendizaje repetitivo” de una serie de razonamientos erróneos, derivados de un inadecuado aprendizaje conceptual. Un estudio realizado en España [9] indica que solo el 19% de estudiantes del nivel preparatoria interpretan correctamente el movimiento unidimensional a velocidad constante y además tienen serias dificultades para relacionar adecuadamente la aceleración con la velocidad. Por otro lado, en el sur-sureste de nuestro país (México) las investigaciones en este ámbito son muy escasas, actualmente se han realizado algunas investigaciones sobre la concepción de los estudiantes en los conceptos de Electrostatica [10] en el Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco (ITSC) y se encontró que la mayoría de los estudiantes alcanzan una ganancia del 4% (mediante enseñanza tradicional) al evaluarlos con el test CSE [11], dentro de esta investigación encontramos que los estudiantes presentan muchas pre-concepciones relacionadas con mecánica newtoniana, así como en álgebra vectorial; por tal razón decidimos iniciar un estudio enfocado específicamente a esta área para conocer más a fondo esta situación y como instrumento de evaluación utilizamos el test FCI [12].

En este trabajo, se hace una comparación entre la enseñanza tradicional y la metodología Tutoriales de Física Introductoria [13] mediante la ganancia normalizada [14] y el factor de concentración [15]. TFI está basada en la enseñanza activa de la física, la cual permite que los estudiantes adquieran mejores habilidades de comprensión conceptual ya que tiene un enfoque socio constructivista. El

constructivismo es una concepción dinámica e interactiva del aprendizaje en los seres humanos e impulsa a los estudiantes a redefinir, reorganizar, elaborar y cambiar sus pre-concepciones a través de la interacción entre el medio ambiente, actividades en el aula, experiencias y otras actividades individuales. En otras palabras, se busca que los estudiantes, a través de nuevas metodologías puedan cambiar sus pre concepciones y mejorar su desempeño académico, pero para lograrlo se necesita hacer ver a los estudiantes que dichos pre conceptos no son adecuados, si se logra esto existen entonces posibilidades de hacerlos cambiar [16].

## II. METODOLOGIA

### A. Descripción del método utilizado

Para el desarrollo de esta investigación, se trabajó con dos grupos de estudio: control y experimental. Ambos inscritos al curso, Física I, ofertada dentro del ITSC. El grupo de control, fue instruido mediante la enseñanza tradicional (transmisión/recepción), aquí el profesor resolvía ejercicios de libro de texto para obtener resultados cuantitativos y los estudiantes se enfocaban en copiarlos de la pizarra, motivando en muy pocas ocasiones al razonamiento y comprensión de cada concepto involucrado, no se realizaron actividades adicionales. Cabe mencionar que el profesor que impartió tales clases tiene más de 10 años de experiencia en el nivel superior y ha impartido esta asignatura en diversas ocasiones dentro del ITSC. Por otro lado, en el grupo experimental se planteó la resolución de ejercicios con cálculos cuantitativos así como la intervención de ejercicios de carácter conceptual. Para estos casos se tomó una serie de actividades basadas en la metodología Tutoriales de Física Introductoria algunas de las cuales se trabajaron en el aula y otras se realizaron al aire libre de tal manera que los estudiantes observaran que no sólo dentro de un aula se puede aprender física, de hecho se pudo observar que de esta manera es más motivante. En este grupo se formaron equipos de cuatro estudiantes, los cuales dialogaban entre sí cada actividad y entregaban una conclusión; para el caso de las actividades extramuros se les solicitó un reporte del fenómeno observado. Se impartieron dos sesiones por semana durante tres meses, combinando la resolución de ejercicios de libro de texto como las actividades de TFI y las actividades extramuros.

Para la evaluación del nivel conceptual en los temas de mecánica newtoniana se utilizó el test Force Concept Inventory, el cual consta de 30 preguntas; sin embargo, para alcanzar el objetivo planteado en esta investigación nos referiremos, principalmente, a tres secciones de tal test dirigidas a caída libre (movimiento acelerado, preguntas 1, 2, 7, 8, 13 y 14), leyes de Newton (preguntas 3, 11, 12 y 16) y seguimiento de trayectorias (preguntas 4, 5, 6, 9, 10 y 15). El número de estudiantes en el grupo de control fue de 32 y en el grupo experimental de 30.

### III. ANALISIS DE RESULTADOS

En esta sección se analizan algunas de las actividades aplicadas a los estudiantes del grupo experimental, algunas de ellas se realizaron dentro del salón de clases y otras se ejecutaron al aire libre.

#### A. Actividad 1. Movimiento de una pelota sobre un plano inclinado parte 1

El objetivo de esta actividad consistió en que los estudiantes pudieran determinar la relación que existe entre el cambio de la posición de una pelota con la velocidad que lleva implícita, cuando desciende por un plano inclinado. A continuación se muestra un extracto de la respuesta de otorgada por un equipo:

EQ1. *“Al realizar el primer experimento la pelota demostró un comportamiento donde al deslizarse sobre la rampa esta aumentaba su velocidad es decir presentó una aceleración; de lo cual se puede deducir que si el ángulo de inclinación fuese mayor la aceleración sería mayor; pero si el ángulo fuese menor su aceleración sería poca”.*

EQ2. *“En la primera prueba en la que la pelota se dejó caer por el plano inclinado de arriba abajo; al graficar los datos que se obtuvieron de la distancia recorrida contra el tiempo, deja ver una curva la cual corresponde a una función cuadrática. Esta gráfica corresponde a una parábola que tiene vértice en (0,0) a partir de ahí comienza a crecer gradualmente hacia la parte superior del primer cuadrante”.*

Se puede notar cómo estos dos grupos tienen razonamientos diversos, el EQ1 asume que hay una aceleración variable y que depende de la altura de la rampa. El EQ2 es tiene un comentario más razonable matemáticamente hablando, sin embargo olvida mencionar el aspecto físico.

#### B. Actividad 2. Movimiento de una pelota sobre un plano inclinado parte 2

El objetivo de esta actividad consistió en que los estudiantes pudieran determinar la relación que existe entre el cambio de la posición de una pelota con la velocidad que lleva implícita, cuando se lanza desde la parte baja de un plano inclinado. A continuación se muestra un extracto de la respuesta de otorgada por un equipo:

EQ1. *“Cuando la pelota desciende de la rampa aumenta su distancia en proporción al tiempo, y cuando asciende por la rampa disminuye gracias a la resistencia o gravedad”*

EQ2. *“En el experimento donde la pelota fue lanzada desde la parte inferior ésta redujo su velocidad considerablemente al subir la rampa hasta tener una  $v=0$ , para posteriormente realizar un movimiento contrario aumentando su velocidad mientras bajaba al realizar las gráficas se obtuvieron formas de parábola de lo cual se puede observar que fue un ejemplo de una función cuadrática”*

De estas respuestas podemos visualizar que los estudiantes han identificado cómo se comporta una partícula en

movimiento hacia arriba y/o hacia abajo, dejando en claro que en una parte disminuirá su velocidad y en la complementaria aumentará. Cabe mencionar que existen algunas ideas en las cuales emplean términos inadecuados (como resistencia), sin embargo el objetivo principal se pudo alcanzar.

#### C. Actividad 3. Movimiento de una pelota sobre un plano inclinado parte 3

El objetivo de esta actividad es que los estudiantes comprueben que los objetos con diferentes masas, recorren la misma distancia en intervalos de tiempos iguales (apoyados con un plano inclinado). Se muestran las respuestas de algunos equipos que trabajaron en este experimento.

EQ1. *“Después de analizar en equipos los resultados llegamos a la conclusión de que el peso de las pelotas y el tamaño no afectan o modifican el tiempo en que éstas caen, es decir, una pelota pequeña cae al mismo tiempo que una grande; por lo tanto las tres pelotas en promedio caen aproximadamente al mismo tiempo”*

EQ2. *“Se puede concluir, tras la realización de este experimento que el peso no influye, pues aproximadamente el tiempo de caída o de llegada al final de la rampa es muy semejante en cada pelotita. La altura, al igual que el peso no influye en el tiempo de la caída del objeto”*

EQ3. *“Se observa diferentes medidas de tiempo cuando variaba la inclinación de la rampa, mientras que cuando se realizaba a una misma altura se obtuvieron prácticamente las mismas medidas de tiempo”*

Nótese cómo en esta situación cerca del 100% de los estudiantes obtuvieron resultados que le permitieron llegar a una conclusión satisfactoria y sobre todo que permite erradicar una fuerte concepción aristotélica en este punto. Observe los resultados de la Figura 2 de la próxima sección. Existen otras actividades que se pueden elegir de McDermott et al [13].

## IV. ANÁLISIS DEL PRE Y POS TEST

### A. Grupo de control

A continuación se presenta un análisis de los resultados obtenidos del pre y el pos test aplicado a ambos grupos de estudio; esto nos permite evaluar o medir el nivel de aprendizaje de los estudiantes y elaborar una comparativo entre las metodologías empleadas. Iniciamos con el grupo de control.

#### A.1 Sección Aceleración

En la Figura 1 se muestran los resultados del pre test y el pos test. La variación (también llamada Ganancia absoluta), se obtiene haciendo la diferencia entre el porcentaje obtenido del pos con el pre; las barras azules y rojas indican las respuestas populares y correctas respectivamente en el pre test; las verdes y color morado corresponden al pos test;

la barra celeste corresponde a la ganancia absoluta. Iniciamos nuestros análisis para la pregunta 1, los resultados indican que el 44% de los alumnos responden de manera aristotélica, considerando que una bola pesada cae más rápido que una más ligera; un 26.47% de los estudiantes optaron por la respuesta correcta durante la aplicación del pre-test, es decir asumen que los dos objetos caerán al mismo tiempo. Obsérvese que para el pos test las respuestas correctas aumentan a 32.35%. La pregunta 7, obtiene el porcentaje correcto (44.12%) más alto (y coincide con la opción más popular), sin embargo en el pos test la tendencia nos es igual y el número de estudiantes que responde correctamente tiene un retroceso del 17.65% (columna azul hacia abajo, Figura 1).

### Aceleración y Trayectorias

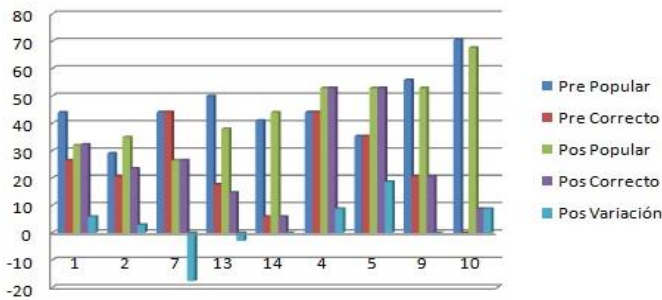


FIGURA 1. Datos del pre y pos test para el grupo de control.

Para la pregunta 2, el 29% de los alumnos piensan que al caer una piedra, la velocidad de ésta aumenta (mientras cae) porque el valor de la gravedad ( $g$ ) se hace mayor cuanto más se acerca a la Tierra; la respuesta de tales estudiantes es intuitiva debido a que la mayoría de ellos no conocen ese fenómeno; es decir para que se detecte tal variación en el valor de  $g$  se debe considerar una altura muy grande. Por otro lado, un 20.59% responde correctamente (pre-test), para el post test lo hace solo el 23.53%. La pregunta 13 y 14 es útil para determinar si los estudiantes son capaces de analizar un experimento a través de un gráfico y obtener información útil por medio de ella. De la Figura 1, en promedio, un 40% de los estudiantes consideran un movimiento a velocidad variable y como consecuencia la existencia de una aceleración; y mantienen esta idea incluso después de la instrucción, obsérvese la ganancia tan pequeña.

### A.2 Sección Trayectoria

En esta sección se analizan las habilidades de los estudiantes para predecir la trayectoria de un objeto en diferentes situaciones. La Pregunta 4 se enfoca al movimiento de una bola dentro de un toroide hueco y el 44.12% acierta, es decir, la pelota deberá seguir una trayectoria tangente a la circunferencia (ver Figura 1). En el pos test aumenta a 52.94%. En este rubro, el 35.29% piensa que en un movimiento circular la velocidad es tangente a la curva; esto incrementa a 52.94% en el pos test. Las respuestas para la Pregunta 9 hacen indicio de las pre-Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 8, No. 3, Sept. 2014

concepciones que tienen los estudiantes del movimiento parabólico, el 55.88% considera que la bala de cañón se moverá en línea recta durante cierto instante de tiempo y posteriormente caerá en un movimiento parabólico, lo cual nos hace suponer que los estudiantes piensan que la acción de la gravedad sobre los objetos no se realiza de manera instantánea cuando se lanzan de esta forma. El 20.59% responde correctamente. Para la Pregunta 10, el 70.59% de los alumnos consideran que la trayectoria que seguirá el paquete que sale del avión será hacia atrás (trayectoria vista por un observador en el avión) sin embargo el enunciado indica que debe observarse por una persona en el suelo, ningún participante elige la respuesta correcta. El pos test indica que solo el 9% acierta a la trayectoria correcta.

### A.3 Sección Fuerza

En esta sección se analizan las respuestas de la sección Fuerzas (Leyes de Newton). El 38%, asume que a mayor masa mayor fuerza aplicada; el porcentaje de respuestas correctas fue de 26% en el pre test y para el pos test aumentó al 34% (ver Tabla I). Se puede observar, a partir de la Pregunta 11, que la mala comprensión de las leyes de Newton en otros escenarios lleva la misma tendencia, ya que el 38% considera que al encontrarse dañado el motor entonces el camión no podrá ejercer fuerza sobre el automóvil. Sin embargo, en el pos test las respuestas correctas aumentan al 50%. Con ayuda de la pregunta 12, encontramos que un 40% de los estudiantes piensan que la fuerza del automóvil será mayor que la del camión, lo cual es incorrecto, ya que ambos estarán en equilibrio. El avance en la comprensión de este tema aumentó del 17% al 26%.

TABLA I. Estudio de la sección de Fuerzas del grupo de Control.

N° de preg	Fuerza				
	Pre		Post		Variac
	Resp popular	% correcto	Resp popular	% correcto	
3	38.2(A)	26.47	35.29(A,E)	35.29	8.82
11	38.2(C,D)	38.23	50 (C )	50	11.17
12	38.24 (C)	17.65	26.47 (A)	26.47	8.82
16	47.06 (D)	14.71	35.29 (D)	20.59	5.88

La tercera Ley de Newton se puede analizar muy claramente con la pregunta 16, aquí el 47% de la población piensa que el estudiante con mayor peso ejerce fuerza mayor sobre el de menor peso (lo cual coincide con las respuestas de la pregunta 3) en este caso observamos consistencia en sus razonamiento, pero son equivocados. Por otro lado, las respuestas correctas adquieren una variación de apenas el 6%, indicando esto que la mejora es poco favorable.

## B. Grupo Experimental

### B.1 Sección Aceleración

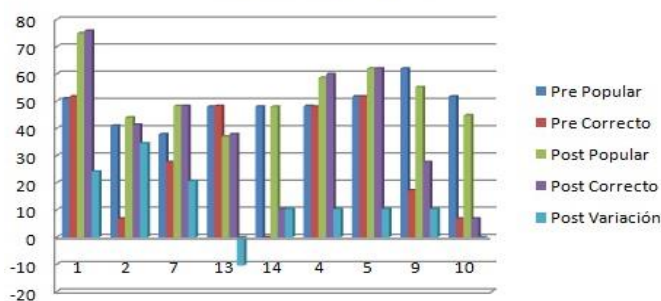
Ahora se presenta un análisis de las respuestas del grupo experimental, el cual recibió sus clases utilizando diversas actividades conceptuales basadas en los Tutoriales de Física Introdutoria. Obsérvese que las respuestas correctas a la Pregunta 1 (ver Figura 2) en el pre son mayores a las del grupo de control (52% vs 26%), al parecer estos estudiantes tienen una mejor pre-concepción de la acción de la gravedad sobre los objetos. Para el pos test, los resultados son aún mejores ya que ahora el 76% de la población responde correctamente; obsérvese que la diferencia entre el grupo de control y el experimental es muy notoria siendo favorable al grupo experimental. Si calculamos la variación porcentual el resultado es de 24.14%, con lo que se observa un cambio favorable. Debe observarse que esta pregunta tiene un porcentaje muy alto de respuestas correctas. De este grupo, el 41% piensa que el valor de la gravedad es mayor a medida que se está más cerca de la superficie de la Tierra y sólo el 7% considera que debe ser casi constante. No obstante, en el pos test los resultados son muy positivos ya que el 42% elige la respuesta correcta, con lo que la ganancia absoluta en este caso es del 35% siendo muy superior al grupo de control.

caso es una piedra que gira atada a una cuerda y después se libera; 51.72% pre test y 62.07% pos test. Esto indica que la mayoría de los estudiantes han comprendido bien que un objeto se mueve circularmente, al salir de él lo hará siguiendo una línea tangente a la curva. La respuesta más empleada en la pregunta 9 fue la opción C (62.07%), con este inciso piensan que la bola de cañón saldrá disparada de manera horizontal, se moverá por unos instantes de esta forma (en el aire) y posteriormente comenzará a tener un movimiento parabólico. Sólo el 17.24% responde correctamente. Del pos test se observa que la respuesta correcta, aumenta al 27.59%. La pregunta 10, revela las ideas de los estudiantes respecto a lanzar un objeto desde un móvil. El 51.72 % indican que la trayectoria que seguirá el paquete que sale del avión será hacia atrás. Por otro lado un 6.9% de los estudiantes optaron por la respuesta correcta y durante el pos test se obtuvo el mismo valor. Se puede observar que las preguntas 4, 5 y 9 presentan muy buenos resultados (a diferencia del grupo de control), sólo la pregunta 10 no es favorable.

### B.3 Sección Fuerza

En el caso de la Pregunta 3, 55.17% de la población piensa que el camión ejerce una fuerza mayor sobre el carro y sólo el 13.79% responde correctamente al indicar que la fuerza entre ambos es del mismo tamaño, acorde la 3ra ley de Newton. Más aún en el pos test, los resultados cambian positivamente y ahora dan respuesta correcta el 34.48% de ellos. Así la variación es de 20.69%, con lo que hubo un cambio muy favorable. Sin embargo, para la Pregunta 11 la situación es desfavorable, ya que se observa un retroceso (-13%) en la comprensión de la interacción entre dos cuerpos, ya que de obtener un 51.72% correctas en el pre, disminuye a 37.935 en el pos test. Los resultados de la Pregunta 12 muestran una situación muy diferente, ya que el incremento en las respuestas correctas fue del 45% (Ver Tabla II). Es decir asumen que si ambos autos se mueven a velocidad constante las fuerzas entre ellos deberán ser iguales y opuestas.

**Aceleración y Trayectorias**



**FIGURA 2.** Pre test y pos test para el grupo experimental.

Se puede observar que en la pregunta 7 la variación es del 20% (49% en el pos test). Para las preguntas 13 y 14 se tiene una situación desfavorable ya que en el pre test el 48% considera que las velocidades son constantes y diferentes, para el pos test solo el 38% mantiene su idea correcta. Y para la pregunta 14, la variación es muy pequeña (10%), por lo que esta sección requiere mayor atención por parte del instructor para mejorar estos resultados.

### B.2 Sección Trayectoria

La Figura 2, muestra las respuestas para la Pregunta 4, 48% en el pre test y hay un aumento al 60% en el pos test, aquí los estudiantes analizan una bola que se mueve dentro de un toroide hueco. Estos resultados concuerdan con los de la Pregunta 5, la situación es muy semejante ya que en este

**TABLA II.** Análisis de la sección Fuerza del grupo experimental.

N° de preg	Fuerza				Variación
	Pre		Post		
	Resp popular	% correcto	Resp popular	% correcto	
3	55.17 (A)	13.79	34.48 (E)	34.48	20.69
11	51.72 (C)	51.72	37.93 (C)	37.93	-13.79
12	51.72 (C)	17.24	62.07 (A)	62.07	44.83
16	34.48 (D)	20.69	31.03 (B)	21.24	0.54

En la Pregunta 16 (un estudiante empuja a otro), la situación vuelve a ser contradictoria, avances medidos por la variación son muy pobres. Del 20.69% obtenido en el pre test, pasan a un 21.24% en el pos test; con ello se indica que la comprensión de la tercera ley no queda clara; si comparamos la Pregunta 3 con la 16 (que son

conceptualmente semejantes) no se encuentra una coherencia en la forma de pensar de los estudiantes ya que la variación en la primera es de más del 20% y en la última es menor al 1%.

**C. Cálculo de la Ganancia normalizada y el Factor de Concentración**

Para conocer la efectividad de la metodología empleada en este estudio se utiliza como herramienta de medición la ganancia normalizada de Hake [14], la cual se define como:

$$G = \frac{(\% \text{ post} - \% \text{ pre})}{100 - \% \text{ pre}} \tag{1}$$

Al aplicar ésta herramienta de medición, obtenemos como resultados (ver Tabla IV) que la ganancia normalizada en el grupo de control es de 4.52%, mientras que en el grupo experimental es de 14.42%.

**TABLA III.** Análisis comparativo de los porcentajes de respuestas correctas en ambos grupos.

Grupo de Control		Grupo Experimental	
% Pre	% Post	% Pre	% Post
22.94%	<b>26.47%</b>	26.50%	<b>37.85%</b>

El cálculo del Factor de Concentración muestra claramente las diferencias existentes entre los niveles de conceptualización alcanzados por ambos grupos de estudio, cabe señalar que en esta herramienta se pueden clasificar las respuestas en varios modelos mentales los cuales representarán el estado conceptual en el que se encuentra cada estudiante. De acuerdo a esta herramienta, existen diversos tipos de modelos mentales: L (bajo), M (medio), H (alto); de aquí pueden aparecer diversas combinaciones entre ellos por ejemplo, un modelo LL (o LM) significa que los estudiantes no lograron comprender o responder adecuadamente un ítem, también indica que los estudiantes respondieron de manera aleatoria. Un modelo MM implica una mejora considerable ya que se tiene un modelo correcto y uno incorrecto en el grupo al mismo tiempo. Un modelo HH, representa una comprensión muy buena del ítem y es el modelo al cual se aspira llegar en una secuencia didáctica. Para mayor información ver [15]. Obsérvese que en el grupo de control (ver Tabla IV), no se observan avances significativos ya que solo tres preguntas alcanzan un modelo MM (un modelo correcto y un modelo incorrecto), incluso aparece un modelo LH (un modelo incorrecto) que es muy desfavorable y sobre todo que no se elimina en el pos test. Esto significa que la instrucción no fue lo suficientemente efectiva para eliminar esa pre-concepción. El resto de los modelos son del tipo LL, lo cual significa que este grupo de estudiantes optó por responder de manera aleatoria al test y por ende, no se mostró interesado en el estudio. Por otro lado, en el grupo experimental se observan cambios muy favorables en el desempeño de los estudiantes ya que aparecen siete

modelos MM y un modelo HH, lo cual es un fuerte indicio de que la instrucción aplicada en este grupo es buena y que pueden obtenerse mejores resultados significativo realizando algunas modificaciones en la secuencia didáctica. Se debe hacer notar que acorde a la clasificación de los modelos, el grupo experimental mostró mayor seriedad y motivación para responder al test.

De la Tabla IV, se puede observar que los cambios conceptuales más favorables están dentro del grupo experimental ya que se tiene cambios positivos en 8 preguntas del test. Por ejemplo, observe las preguntas 4 y 5, ambos grupos alcanzan el modelo MM sin embargo en el grupo experimental tanto el score como el factor de concentración son mayores al grupo de control, lo que nos indica que el razonamiento conceptual tiene mejores desempeños en el grupo de experimental. En términos generales el grupo de control presenta 12 modelos LL lo cual representa el 75% del test, esto significa que respondieron de manera aleatoria. Por otra parte, el grupo experimental tiene un promedio aleatorio del 37.5%, un 44% de modelos MM (parcialmente correctos) y un 16% de modelos correctos; esto en términos generales representa buenos resultados en la comprensión de los temas vistos.

**TABLA IV.** Factor de concentración para el grupo de control y el grupo experimental.

Grupo de Control				Grupo Experimental			
Pre test	Mod elo	Pos test	Mod elo	Pre test	Mod elo	Pos test	Mod elo
0.26	LL	0.32	LL	0.51	MM	0.75	<b>HH</b>
0.19		0.12		0.27		0.58	
0.20	LL	0.23	LL	0.06	LM	0.41	<b>MM</b>
0.05		0.16		0.21		0.30	
0.26	LL	0.35	LL	0.13	LM	0.34	ML
0.16		0.16		0.28		0.07	
0.44	MM	0.52	<b>MM</b>	0.48	MM	0.58	<b>MM</b>
0.22		0.31		0.31		0.37	
0.35	LL	0.52	<b>MM</b>	0.51	MM	0.62	<b>MM</b>
0.08		0.24		0.28		0.36	
0.32	LL	0.20	LL	0.44	MM	0.48	<b>MM</b>
0.07		0.16		0.24		0.25	
0.44	MM	0.26	LL	0.27	LL	0.48	<b>MM</b>
0.19		0.04		0.11		0.26	
0.08	LL	0.26	LL	0.10	LM	0.20	LM
0.17		0.12		0.24		0.24	
0.20	LM	0.20	LL	0.17	LM	0.27	LM
0.29		0.27		0.39		0.32	
0.53	LH	0.08	LH	0.06	LM	0.06	LM
0		0.49		0.39		0.27	
0.38	LM	0.50	<b>MM</b>	0.51	MM	0.37	ML
0.21		0.24		0.30		0.13	
0.17	LL	0.26	LL	0.17	LM	0.62	<b>MM</b>
0.09		0.03		0.25		0.40	
0.17	LM	0.14	LL	0.48	MM	0.37	<b>MM</b>
0.26		0.10		0.25		0.21	
0.05	LL	0.05	LL	0	LM	0.10	LM
0.13		0.18		0.26		0.24	
0.14	LL	0.05	LL	0.06	LM	0	LL
0.14		0.05		0.28		0.12	
0.14	LM	0.20	LL	0.20	LL	0.17	LL
0.22		0.11		0.14		0.08	

## V. CONCLUSIONES

La comparación entre ambos grupos de estudio nos indica que en el grupo de control se encuentran las mayores desventajas en la comprensión de los temas discutidos. Por un lado, los estudiantes de este grupo no pueden comprender correctamente la caída libre de dos objetos con masas diferentes, a pesar de la instrucción permanecen con un razonamiento aristotélico, tampoco pueden aceptar que la magnitud de la gravedad es constante, es decir la mayoría considera que aumenta al acercarse a la superficie de la Tierra. Se han observado serias dificultades para obtener información adecuada de los datos de una gráfica y además no pueden concebir que una aceleración constante puede producir una velocidad variable. Por otro lado, se observa una buena conceptualización del movimiento circular pero no así en el movimiento parabólico. En leyes de Newton se siguen manteniendo fuertes pre concepciones que no pudieron erradicar, siguen pensando que a mayor masa mayor fuerza.

Por otro lado, se observan buenos cambios en los estudiantes del grupo experimental, ya que la mayoría ha logrado comprender que en caída libre la masa de los cuerpos no es un factor determinante en la velocidad de su caída, además asimilan que la gravedad es casi constante. Esto es algo que no se pudo lograr en el grupo de control. Ocurre algo semejante al grupo de control en el análisis de trayectorias, no tienen dificultades en el movimiento circular pero sí en el movimiento parabólico, sin embargo tales dificultades fueron menores en este grupo. Por último, hay fuertes inconsistencias en la conceptualización de las leyes de Newton; si bien asimilan que al chocar dos objetos distintos las fuerzas entre ellos serán iguales y opuestas, en otras situaciones en las que interviene este concepto no se tiene un resultado favorable. En este punto, este tema sigue siendo difícil para los estudiantes.

La ganancia normalizada nos indica que Tutoriales Para Física Introductoria es una mejor opción para la enseñanza del movimiento acelerado que la enseñanza transmisión/recepción, además el factor de concentración indica los aciertos y desaciertos en cada metodología utilizada, claramente se observa que TFI tiene mayores aciertos. Si bien aparecen niveles bajos de comprensión en la sección relacionada a las leyes de Newton, esto se debe a que la cantidad de actividades trabajada con los estudiantes fueron pocas; los buenos resultados obtenidos para la sección Aceleración se debe a que se diseñaron diversas actividades conceptuales de esta índole. Por tal razón, estos datos nos inducen a mejorar y aumentar el número de actividades para Leyes de Newton y seguimiento de trayectorias para elevar los indicadores positivos en la ganancia de Hake y el factor de concentración. Actualmente se está trabajando en una secuencia didáctica enfocada a esas metas.

## REFERENCIAS

- [1] Vienot, L., *Spontaneous reasoning in elementary dynamics*, European Journal of Science Education **1**, 205-221 (1979).
- [2] Driver, R. Easley, J., *Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescents science students*, Studies in Science Education **5**, 61-84 (1978).
- [3] Silva, T., *Documentos de identidade: uma introdução às teorias do currículo*, (Autentica, 2da Ed., Belo Horizonte, 2004).
- [4] Piaget, J. García, R., *Psicogénesee Historia das Ciências*, (Dom Quixote, Lisboa Publicacoes, 1987).
- [5] Jodelet, D., *Representacoes sociais: um ominoio em expansao*. (EDUERJ, Rio de Janeiro, 2001).
- [6] De Sousa, C., *Another look at the projectil motion*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **6**, 31-38 (2012).
- [7] Testa Braz, A., Bonilha, T., *A física pelos professores de física: A contribucao da teorias das representacoes sociais*, Ciencia & Educaçao **15**, 515-528 (2009).
- [8] Martinez, J. R., Araujo-Andrade, C., Palomarez-Sánchez, S. Ortega, G., *Análisis del conocimiento declarativo y procedural de estudiantes en cursos de física universitaria*, Rev. Mex. Fis. **52**, 142-150 (2006).
- [9] Benegas, J. Pérez de Landazabal, M., Otero, J., *Estudio de casos: conocimientos físicos de los estudiantes cuando terminan la escuela secundaria: una advertencia y algunas alternativas*, Rev. Mex. Fís. **56**, 12-21(2010).
- [10] Sandoval, M., Mora, C., *La investigación orientada en el nivel superior para la enseñanza del campo eléctrico*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **5**, 590-596 (2011).
- [11] Maloney, D., Van Heuvelen, A., O'Kuma, T., Heiggelke, C., *Conceptual Survey in Electricity*, Am. J. Phy. **69**, 12-23 (2001).
- [12] Hestenes, D., Wells, M., Swakhamer, G., *Force concept Inventory*, The Physics Teachers **30**, 141-158 (1992).
- [13] McDermott, L., Shaffer, P., *Tutoriales de Física Introductoria*, (Pearson-Prentice Hall, USA, 2001).
- [14] Hake, R., *Interactive engagement vs traditional methods: A six-thousand student survey of mechanics test data for introductory physics course*, Am. J. Phys. **66**, 64-74 (1998).
- [15] Bao, L., Redish, E., *Concentration analysis: A quantitative assessment of student state*, Am. J. Phy. **69**, 45-53 (2001).
- [16] Ergin, I., *Constructivist approach based 5E model and usability intruotional physics*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **6**, 14-20 (2012).