

Evaluación del aprendizaje conceptual del movimiento en Caída Libre



Lilia Garduño Calderón^{1,2}, A. López Ortega³, César Mora²

¹Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos 6, Miguel Othón de Mendizabal, Instituto Politécnico Nacional, Av. Jardín s/n, Col. del Gas, Del. Azcapotzalco, C.P. 02950, México, D. F.

²Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Instituto Politécnico Nacional, Legaria 694, Col. Irrigación, C.P. 11500, México D.F.

³Departamento de Física, Escuela Superior de Física y Matemáticas, Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Edificio 9, C.P. 07738, México D. F.

E-mail: lgardunoc@ipn.mx

(Recibido el 10 de Marzo de 2013, aceptado el 28 de Mayo de 2013)

Resumen

En el curso de un trabajo de investigación sobre la eficacia de las Clases Demostrativas Interactivas en la enseñanza del tema de Caída Libre a nivel bachillerato, nos percatamos que el Cuestionario sobre el Concepto de Fuerza no contaba con el número suficiente de ítems para evaluar todos los conceptos físicos que nos interesaba examinar sobre este tipo de movimiento. Para evaluar la efectividad de la metodología se modificó el Cuestionario sobre el Concepto de Fuerza agregándole diez ítems sobre el tema de Caída Libre con el objetivo de generar una herramienta útil para determinar la comprensión de los conceptos básicos del movimiento en Caída Libre por parte de los estudiantes de nivel bachillerato. La efectividad de los ítems propuestos se evaluó mediante la técnica de Curvas de Respuesta al Ítem y su grado de dificultad. Como resultado de este análisis generamos una versión modificada de algunas de las preguntas propuestas.

Palabras clave: Caída Libre, Clases Demostrativas Interactivas, Evaluación, Física Educativa.

Abstract

During a research work on the effectiveness of the Interactive Lecture Demonstrations in teaching the Free Fall theme in the High School, we observe that the Force Concept Inventory does not have the sufficient number of questions to evaluate the physical concepts that we are interested on this movement type. To evaluate the effectiveness of this methodology we modify the Force Concept Inventory by adding ten questions on the Free Fall theme focused to generate a useful tool to determine the understanding of the High School students on the basic concepts of the Free Fall movement. The effectiveness of the proposed items is evaluated by means of the Items Response Curves method and its degree of difficulty. As a result of this analysis we generate an amended version of some of the proposed questions.

Keywords: Free Fall, Interactive Lecture Demonstrations, Evaluation, Physics Education

PACS: 01.40.-d, 01.40.Fk, 45.20.D-, 01.40.gb, 01.40.G-

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

Sin duda alguna, realizar un análisis detallado y una evaluación certera de las diferentes estrategias educativas propuestas para mejorar el aprendizaje de los conceptos esenciales de los cursos de Física es una actividad muy relevante en el área de la Física Educativa. Pero para realizar una evaluación certera es indispensable contar con herramientas confiables que nos ayuden en este proceso. Un método usado frecuentemente es la aplicación de un test de preguntas conceptuales sobre los conceptos físicos impartidos. Algunos de estos cuestionarios han sido desarrollados en el curso de los últimos años para Mecánica Newtoniana [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7], Electromagnetismo [8, 9] y Termodinámica [10, 11].

Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 7, No. 2, June 2013

Posiblemente el test más conocido de este tipo es el FCI (Force Concept Inventory) [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7] que sirve para determinar la comprensión de los conceptos básicos de la Mecánica Newtoniana. Sin embargo, en el curso de una investigación sobre la eficacia de las Clases Demostrativas Interactivas para enseñar el tema de Caída Libre a nivel bachillerato en el Instituto Politécnico Nacional (IPN) [12] encontramos que aunque el FCI es una herramienta de evaluación útil para determinar la comprensión de los conceptos básicos de la Mecánica Newtoniana, si lo examinamos con detalle encontramos que solamente contiene 7 preguntas relacionadas con el movimiento en Caída Libre (preguntas 1, 2, 3, 12, 13, 14 y 17), ya que las restantes 23 preguntas no corresponden a este tema. Por este motivo y con el objetivo de hacer un análisis más

completo y detallado de los resultados de la implementación de la estrategia didáctica basada en las Clases Demostrativas Interactivas, en este trabajo proponemos un conjunto de diez preguntas conceptuales sobre el movimiento en Caída Libre que complementan los ítems sobre este tema del FCI. Esto es, decidimos agregar 10 ítems de opción múltiple sobre el tema de Caída Libre a los 30 que originalmente conforman el FCI y cuyo objetivo es evaluar los conceptos básicos de la Mecánica Newtoniana.

La intención de esta modificación en un instrumento de evaluación tan ampliamente usado como el FCI, es generar una herramienta más extensa y útil para evaluar la comprensión de los conceptos básicos del movimiento en Caída Libre por los estudiantes de nivel bachillerato.

Un primer paso es determinar si los ítems son adecuados para evaluar la comprensión de los conceptos físicos necesarios para responder acertadamente la pregunta. Esto es, debemos determinar si la pregunta es apropiada para evaluar el dominio por parte de los estudiantes de los conceptos físicos involucrados para responder correctamente la pregunta. Por esta razón, en este trabajo evaluamos la efectividad de las preguntas propuestas usando el método de Curvas de Respuesta al Ítem [13] y el nivel de dificultad de las preguntas [14]. Hacemos este trabajo con el fin de determinar si las preguntas propuestas son apropiadas para evaluar el dominio de los conceptos físicos necesarios para comprender las características más importantes del movimiento en Caída Libre.

El presente artículo está organizado de la siguiente forma. En la Sección II exponemos la metodología usada en esta investigación, describimos a los grupos de estudiantes que participaron en este trabajo y proporcionamos información relevante sobre los conceptos empleados en el resto del artículo. En la Sección III exponemos nuestros resultados sobre la efectividad de los ítems propuestos para evaluar el dominio de los conceptos involucrados en la descripción del movimiento en Caída Libre. En la Sección IV hacemos una discusión sobre los resultados principales de las secciones previas. Finalmente, en el Apéndice escribimos los enunciados de las preguntas conceptuales que proponemos sobre el movimiento en Caída Libre.

II. METODOLOGIA

El estudio sobre efectividad de las Clases Demostrativas Interactivas en el logro de un aprendizaje de los conceptos involucrados en la descripción movimiento en Caída Libre se llevó a cabo en la asignatura de Física I en el CECYT 6, Miguel Othón de Mendizabal, IPN. Esta asignatura es un curso básico del tercer semestre de la carrera de Técnico Laboratorista Químico (TLQ) y Técnico Laboratorista Clínico (TLC). Los estudiantes están en un rango de edad entre 16 y 17 años, y cursan el tercer semestre en las especialidades antes mencionadas. La estrategia fue implementada durante el semestre de agosto a diciembre.

En el estudio participaron 300 estudiantes distribuidos en 6 grupos de 50 estudiantes cada uno, de los cuales 4 grupos son experimentales y 2 grupos son de control. La determinación de los grupos experimentales y grupos control se realizó al azar. En la especialidad de Técnico Laboratorista Clínico los grupos experimentales fueron el 3101C y el 3102C, el grupo control fue el 3104C. Mientras que para la especialidad de Técnico Laboratorista Químico los grupos experimentales fueron el 3101Q y el 3102Q, el grupo control fue el 3104Q.

El pre-test se aplicó durante la última semana de septiembre antes de recibir la instrucción sobre el tema de Caída Libre, esto con el objetivo de obtener información acerca de las ideas previas de los estudiantes sobre los conceptos básicos de Mecánica, en específico sobre el comportamiento de un cuerpo que se deja caer libremente, y tomarlas en cuenta en el diseño de las sesiones en las cuales usamos las Clases Demostrativas Interactivas. El post-test se aplicó una semana después de cubrir en el salón de clases los conceptos básicos que rigen el movimiento en Caída Libre.

Previo a la realización de este estudio se les informó a los estudiantes de los cuatro grupos experimentales que formaban parte de una investigación educativa, en qué consistía dicha investigación, quién la estaba realizando y cuál era el motivo para realizar la misma.

Los 10 ítems que proponemos se colocaron al final del FCI original en orden consecutivo, correspondiendo a las preguntas 31 a 40 (en este trabajo corresponden a las preguntas del 1 al 10). En forma similar a los ítems del FCI, cada una de los ítems propuestas tiene cinco opciones de respuesta. Se decidió agregarlos al final por dos razones. La primera fue respetar el orden original del FCI y la segunda fue tener un panorama diferencial para contabilizar e interpretar fácilmente los 30 ítems del FCI y los 10 ítems agregados. Con esta modificación en el instrumento de evaluación fue posible generar una nueva versión del cuestionario de 40 ítems requiriendo modificar el tiempo de aplicación de 30 a 40 minutos. (Véase el Apéndice 1 donde enumeramos los ítems propuestos.)

En el ítem 1, se cuestiona sobre la velocidad inicial de un cuerpo que cae libremente. Las preguntas 2, 5 y 9 analizan el tiempo de vuelo de un cuerpo que cae libremente. Los ítems 6 y 10 cuestionan al estudiante sobre el comportamiento de la velocidad en el movimiento en Caída Libre. La pregunta 4 se refiere al desplazamiento que realizan dos cuerpos al caer desde la misma altura y son soltados al mismo tiempo. Los ítems 3, 7 y 8 investigan el comportamiento de la aceleración en el movimiento en Caída Libre.

Para las preguntas que agregamos al FCI no se ha verificado que son confiables para evaluar el dominio de los conceptos básicos del tema de Caída Libre, por lo cual, en este trabajo nos enfocamos a verificar la efectividad de las mismas. La efectividad de los ítems se analizará cualitativamente bajo tres condiciones: la primera, es el índice de dificultad del ítem, la segunda, su poder de discriminación y la tercera las pendientes de sus curvas en sus gráficos IRC.

Según Doran [14] el grado de dificultad se define como

$$P = \frac{N_1}{N}, \quad (1)$$

donde P representa el índice de dificultad, N_1 es el número de respuestas correctas y N es el número total de estudiantes que realizaron la prueba. Un ítem se considera muy fácil cuando su índice de dificultad es de 0.85 a 1.00, moderadamente fácil de 0.60 a 0.85, moderadamente difícil de 0.35 a 0.60 y muy difícil de 0.00 a 0.35 [14].

González [15] en su trabajo de investigación aplicó exámenes de opción múltiple y comparó los resultados obtenidos con los de exámenes tradicionales. Ambos tipos de exámenes fueron contestados por los mismos grupos de alumnos. Él también utiliza el concepto de grado de dificultad como una condición que debe cumplir un ítem para ser considerado como un buen reactivo (reactivo eficiente) en el diseño de pruebas de evaluación del aprendizaje en el Examen General de Egreso a Licenciatura del CENEVAL en el área de Ingeniería. Asimismo, Aguirre y Ponce [16] utilizaron el grado de dificultad como uno de los cinco elementos que se necesitan para analizar los ítems de las pruebas, esto tiene como objetivo revisarlos, modificarlos y que los profesores profundicen en este tema. Por otra parte, el índice de discriminación permite diferenciar entre un estudiante con buena preparación y otro que no la tenga, es decir, si el reactivo discrimina será respondido correctamente por un alto porcentaje de alumnos pertenecientes al grupo con mayor habilidad (mejor calificación) e incorrectamente por los estudiantes con menor habilidad (menor calificación) en el conjunto de reactivos.

Adicionalmente, con la finalidad de conocer el grado de efectividad de una pregunta de opción múltiple, Morris, *et al.* [17] utilizaron la técnica de Curvas de Respuesta al Ítem (Item Response Curve, IRC por sus siglas en inglés), que consiste en la construcción y el examen cualitativo de los gráficos IRC. Para generar un gráfico IRC, se consideran dos parámetros: el porcentaje de estudiantes que seleccionaron cada una de las respuestas del ítem y el puntaje total del examen. El gráfico producido para cada pregunta contiene el porcentaje de respuesta como variable dependiente y la puntuación total como variable independiente. Cada gráfico contiene cinco curvas, una para cada opción de respuesta, permitiendo evaluar la efectividad del ítem.

Con el uso de las gráficas IRC se puede determinar si una pregunta debe ser conservada, modificada o eliminada. Basándose en las gráficas IRC Morris, *et al.* [17] proponen tres tipos de comportamiento para un ítem: a) eficiente, b) moderadamente eficiente, c) ineficiente, de acuerdo con el siguiente esquema:

a) Eficiente: En este tipo de comportamiento se observan pendientes definidas para cada una de las opciones, lo cual es una característica de una pregunta eficiente. Esto muestra, que la elección de respuesta discrimina fuertemente entre estudiantes de alta y baja habilidad.

Evaluación del aprendizaje conceptual del movimiento en Caída Libre

b) Moderadamente eficiente: En este tipo de comportamiento, el IRC de una pregunta muestra pocas opciones con pendientes claramente definidas, mostrando un menor poder de discriminación.

c) Ineficiente: En un ítem con este tipo de comportamiento, el gráfico IRC muestra para varias opciones de respuesta curvas con pendientes casi nulas.

Para elaborar los gráficos IRC se utilizaron los datos obtenidos en el pos-test de los 300 estudiantes que participaron en este estudio que se presentan en la Tabla I. Se consideró conveniente usar los resultados obtenidos después de la instrucción con la finalidad de asegurar que los estudiantes hubieran recibido la información y explicaciones sobre el tema de estudio. Esto con el fin de obtener resultados confiables para la construcción de los gráficos y por consiguiente determinar la eficiencia de los ítems agregados al FCI.

Debido a que el análisis de IRC requiere del puntaje total de la prueba como variable independiente se determinó utilizar el puntaje total del FCI con las 10 preguntas agregadas y no solo de los 17 ítems relacionados con el tema de Caída Libre, esto con la intención de tener una mejor diferenciación entre los estudiantes de mayor y menor habilidad. Adicionalmente, al encontrar resultados con el análisis del FCI completo observamos mejoras no solo en los 17 ítems utilizados sino en el resto de los ítems que forman parte del FCI.

En nuestro análisis de los 10 ítems agregados al FCI determinamos si la pregunta es eficiente o no para evaluar el dominio de los conceptos físicos involucrados en la descripción del movimiento en Caída Libre. Para lograr esto extendemos el análisis de Morris, *et al.* [17] y realizamos un análisis cualitativo considerando no sólo la técnica IRC, sino también el grado de dificultad [14]. Este análisis se realizó de la siguiente manera para cada ítem:

- Se calculó el índice de dificultad (P) obtenido para cada pregunta, considerándose la clasificación antes mencionada [14, 18].
- Se construyó el gráfico IRC con una curva para cada opción de respuesta.
- Se consideró la pendiente de cada curva del gráfico IRC.
- Se analizó el índice de discriminación. Si un ítem discrimina entre los estudiantes de mayor y menor habilidad se espera que el mayor número de respuestas correctas corresponda a estudiantes de mejor calificación y un menor número corresponda a estudiantes de menor calificación.

Finalmente, consideraremos un ítem eficiente si:

- Tiene buen grado de dificultad (muy difícil o moderadamente difícil).
- Índice de discriminación fuerte.
- Tiene pendientes definidas.

Será un ítem moderadamente eficiente si:

- Tiene buen grado de dificultad (moderadamente difícil).
- Índice de discriminación aceptable.
- Presenta algunas curvas con pendientes poco definidas en su gráfico IRC.

Un ítem es ineficiente si:

- Tiene bajo grado de dificultad (moderadamente fácil o

Lilia Garduño Calderón, A. López Ortega, César Mora muy fácil).

b) No discrimina.

c) Presenta varias curvas con pendientes casi nulas en su gráfico IRC.

Es conveniente notar que las pendientes de los gráficos IRC y el índice de discriminación no son independientes. Así, en el gráfico IRC se obtienen pendientes definidas para ítems que discriminan eficientemente, pendientes poco definidas en ítems un grado aceptable de discriminación y pendientes casi nulas para aquellos ítems que no discriminan.

III. ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD DE LOS DIEZ ÍTEMS AGREGADOS

En esta sección presentamos nuestros resultados sobre la eficacia de las preguntas propuestas para evaluar el dominio de los conceptos físicos involucrados en la descripción del

movimiento en Caída Libre (en el Apéndice escribimos los enunciados de los ítems propuestos).

Para cada uno de los 10 ítems agregados se elaboró un gráfico IRC, que se obtiene de la relación entre el porcentaje de estudiantes que seleccionaron cada una de las opciones del ítem y el puntaje total alcanzado en el FCI con las 10 preguntas agregadas (40 ítems) y también valoramos las pendientes de sus curvas. Adicionalmente se calculó el índice de dificultad y determinamos el índice de discriminación para cada pregunta.

Como mencionamos previamente, para elaborar los gráficos IRC se utilizaron los resultados obtenidos en el pos-test por los 300 estudiantes que participaron en este estudio y que se presentan en la Tabla I. Un dato interesante es que en los gráficos construidos para cada ítem se observa que el número máximo de aciertos obtenido por los estudiantes en el post-test (40 ítems) fue de 30.

TABLA I. Porcentajes de alumnos que seleccionaron cada una de las cinco opciones de respuesta para las diez preguntas agregadas al FCI. El porcentaje de la respuesta correcta está señalado en **negritas**. Los datos corresponden al post-test de los 300 estudiantes de nivel bachillerato del IPN.

Repuesta elegida	Pregunta									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
A	9.73	6.00	42.33	50.83	7.27	7.79	8.83	19.50	14.10	42.67
B	23.15	45.00	9.50	21.50	42.16	13.93	60.00	6.50	23.83	8.14
C	39.77	23.83	22.50	13.83	10.66	55.06	30.33	54.67	10.23	18.73
D	18.62	15.83	14.16	9.50	24.56	19.07	4.17	14.50	40.60	11.73
E	8.72	9.33	11.50	4.33	15.35	4.15	1.67	4.83	11.24	18.73

En las gráficas siguientes, en el eje de las abscisas graficamos el puntaje total alcanzado por el alumno en el FCI con las 10 preguntas agregadas y en el eje de las ordenadas graficamos el porcentaje obtenido por los estudiantes en cada una de las 5 opciones de respuesta. A continuación presentamos en detalle tres ejemplos del análisis realizado, uno para cada tipo de pregunta (eficiente, moderadamente eficiente e ineficiente) y a continuación presentamos los resultados para las diez preguntas propuestas.

Pregunta 3

3. Una pelota de ping pon que se deja caer desde el techo de un edificio de dos pisos hasta la superficie de la Tierra:

- (A) Al ser soltada mantiene su aceleración casi constante.
- (B) Aumenta su aceleración mientras cae, porque la atracción gravitatoria se hace considerablemente mayor cuanto más se acerca la piedra a la Tierra.
- (C) Aumenta su aceleración porque una fuerza de gravedad casi constante actúa sobre ella.

- (D) Disminuye su aceleración debido a la tendencia natural de todos los objetos al caer.
- (E) Disminuye su aceleración debido a que la fuerza de gravedad actúa sobre ella.

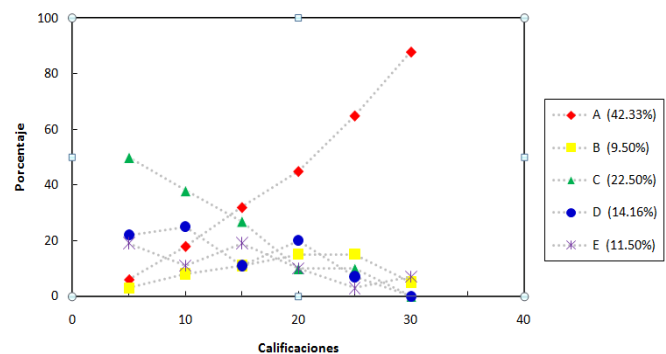


FIGURA 1. Ítem 3 agregado al FCI (ítem eficiente de acuerdo a la técnica IRC).

Para el ítem 3 encontramos que es eficiente. Para esta pregunta el 42.33% de los estudiantes contestó correctamente la pregunta (opción A). Se observa que la opción de respuesta C resulta muy atractiva para los estudiantes con porcentaje de 22.50. Para la opción D se tiene un porcentaje menor con 14.16% de elección, siendo la opción de respuesta B la menos popular entre los estudiantes con un porcentaje de 9.50. Se considera una pregunta moderadamente difícil con 0.42 en índice de dificultad. Presenta un grado de discriminación suficiente y las pendientes de cada una de las opciones se muestran claramente definidas en el gráfico IRC de este ítem que se muestra en la Figura 1.

Pregunta 2

2. En el salón de clase una moneda y una hoja de papel extendida se dejan caer desde la misma altura y en el mismo instante. El tiempo que tardan en llegar al suelo es:

- (A) Mayor para la moneda comparada con la hoja de papel extendida.
- (B) Menor para la moneda comparada con la hoja de papel extendida.
- (C) Igual para los dos cuerpos.
- (D) Aproximadamente la mitad para la moneda comparada con la hoja de papel extendida.
- (E) Aproximadamente la cuarta parte para la moneda comparada con la hoja de papel extendida.

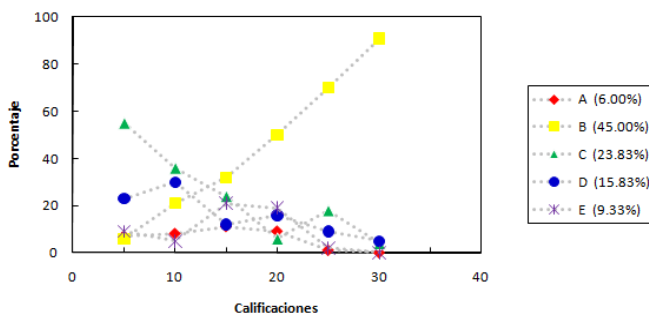


FIGURA 2. Ítem 2 agregado al FCI (ítem moderadamente eficiente de acuerdo a la técnica IRC).

El ítem 2 resulta ser moderadamente eficiente. La pregunta muestra un índice de dificultad de 0.45 por lo que se considera moderadamente difícil; siendo que la respuesta correcta (opción B) es elegida por el 45% de los estudiantes. Este ítem presenta buen grado de discriminación, en el análisis del gráfico IRC (Figura 2) se observan pendientes definidas. Las opciones A y E muestran porcentajes bajos, mientras que las opciones C y D atraen a un buen porcentaje de estudiantes y son elegidas como respuesta correcta por estudiantes que obtuvieron mejor puntaje en el FCI con las 10 preguntas adicionales. La opción de respuesta D resulta la opción incorrecta más popular entre los estudiantes con un porcentaje de 23.83%.

Pregunta 7

7. Durante la caída, la velocidad en cada una de las

Evaluación del aprendizaje conceptual del movimiento en Caída Libre pelotas

- (A) Aumenta siendo mayor en Y y menor en X.
- (B) Aumenta y adquiere el mismo valor tanto en X como en Y.
- (C) Aumenta siendo mayor en X y menor en Y.
- (D) Aumenta para X y es constante para Y.
- (E) Aumenta para Y y es constante para X.

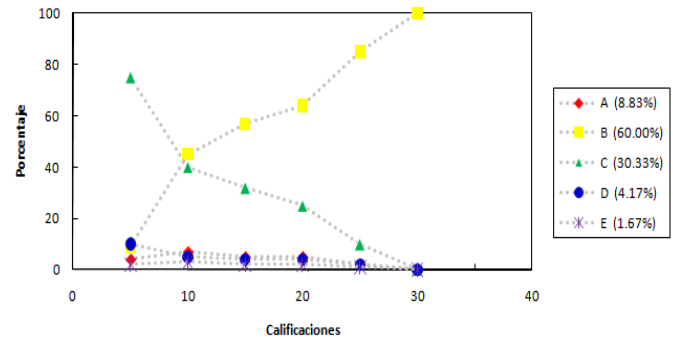


FIGURA 3. Ítem 7 agregado al FCI (ítem ineficiente de acuerdo a la técnica IRC).

Este ítem es ineficiente. Para esta pregunta el 60% de los estudiantes contestó correctamente eligiendo la opción B por lo que su índice de dificultad es de 0.60, por lo que se clasifica como una pregunta moderadamente fácil. En el gráfico IRC de la Figura 3, se muestran las pendientes casi nulas de las opciones A, D y E resultando poco atractivas para los estudiantes con porcentajes muy bajos, a diferencia de la opción C (30.33%) que resulta ser muy atractiva para los estudiantes con menor puntaje en el FCI con los diez ítems agregados, por lo que la pregunta no discrimina. Se considera un ítem que no proporciona información confiable como pregunta de opción múltiple, por lo cual debe ser sustituida en este cuestionario. Sin embargo, se observa que discrimina para dos opciones (B y C), considerándose apta para ser usada como una pregunta de falso y verdadero.

De acuerdo a los criterios de evaluación planteados, se obtuvo que de los 10 ítems evaluados:

- a) Cinco de los ítems (1, 3, 5, 9 y 10) se evalúan como preguntas eficientes, presentan buen grado de dificultad, discriminan fuertemente entre estudiantes de mayor y menor puntaje en el FCI con las 10 preguntas adicionales, y muestran pendientes claramente definidas en la gráfica IRC.
- b) Cuatro ítems (2, 4, 6 y 8) se evalúan como moderadamente eficientes, tienen buen grado de dificultad (preguntas moderadamente difíciles), discriminan lo suficiente y muestran algunas pendientes poco definidas en la gráfica IRC.
- c) Una pregunta, el ítem 7, se considera ineficiente, aunque tiene un grado de dificultad apropiado no discrimina lo suficiente entre los estudiantes con diferentes niveles de habilidad y muestra pendientes casi nulas en la gráfica IRC. Es relevante considerar como los cuatro ítems moderadamente eficientes pudieran ser transformados en preguntas eficientes. Para ello, de acuerdo a los resultados

obtenidos y a la experiencia de los autores se sugiere para el ítem 4 cambiar los distractores de las opciones D y E, ya que la opción D resulta un tanto confusa para los estudiantes posiblemente porque no leen detenidamente la declaración que aparece antes de las preguntas 4-7. Por otra parte la opción E no es una alternativa, pues, en el enunciado se establece que las dos pelotas se dejan caer al mismo tiempo y al desplazarse ninguna seguiría ocupando la posición inicial, por lo cual es un distractor que los estudiantes desechan desde el momento en el cual leen la pregunta y consideran las otras opciones de respuesta.

De igual forma, en el caso de las preguntas 5, 6, 8, 9 y 10 se sugiere cambiar el distractor de la opción E. Para estos ítems esta opción resulta poco atractiva para los estudiantes. Específicamente, en estas preguntas la opción E es “Ninguna de las anteriores”, resultando ser una elección poco creíble y por ende, fácilmente descartada por los estudiantes desde el inicio, debido a que ellos saben que esta no podría ser una opción posible.

En el caso de la pregunta 7, este ítem es evaluado como un ítem ineficiente, que sugerimos sea cambiado en su totalidad. Una propuesta para este ítem es:

Pregunta 7.

7. Durante la caída. ¿Cómo es la aceleración de la pelota Y?

- (A) Mayor que la de X.
- (B) Igual a la de X.**
- (C) Menor que la de X.
- (D) Justamente la mitad de la aceleración de X.
- (E) Justamente el doble de la aceleración de X.

Durante el análisis de resultados y construcción de las gráficas IRC se observó que el ítem 5 (evaluado como un ítem eficiente) podría ser considerada como una pregunta que induce a la elección de una opción incorrecta, ya que da a entender que una pelota debe caer primero que la otra, valdría la pena reconsiderar la redacción de su enunciado y probar nuevamente su efectividad, esto con el fin de tener la oportunidad de evaluar los resultados obtenidos con una u otra forma de escribir su enunciado.

En general, para transformar los ítems en eficientes se sugiere:

- a) Cambiar los distractores por respuestas posibles para quien no domina el tema o bien respuestas que no parezcan absurdas para no ser desechadas inmediatamente por el estudiante.
- b) Realizar una investigación a través de entrevistas con los estudiantes para conocer el motivo de su elección en la respuesta.
- c) Ensayar con nuevos distractores.

TABLA II. Calificaciones obtenidas por cada grupo en los 10 ítems agregados al FCI.

Grupo	Pre	Ítems agregados	
		Post	g
3101 C	42	66	0.41
3102 C	40	58	0.30
3104 C	40	48	0.13
3101 Q	44	66	0.39
3102 Q	40	64	0.40
3104 Q	42	50	0.13

Las preguntas propuestas pueden usarse en una forma similar a las preguntas originales del FCI para evaluar el aprendizaje conceptual que se logra con el uso de una estrategia didáctica, por ejemplo, usando los resultados del pre-test y post-test podemos calcular la ganancia de Hake¹

¹ La ganancia de Hake está definida por [7]

$$g = \frac{S_f - S_i}{100 - S_i}, \quad (2)$$

donde S_i es el puntaje porcentual del pre-test y S_f es el puntaje porcentual del pos-test.

[7] obtenida por los alumnos que participan en esta investigación.

El análisis de los 10 ítems agregados se realizó en forma separada de las 30 preguntas del FCI porque estos ítems son propuestos y utilizados por primera vez en el presente trabajo y aún no se han validado tan extensivamente como las preguntas del FCI.

Para los seis grupos que participaron en este trabajo los resultados para la ganancia normalizada se muestran en el Tabla II y se grafican en la Figura 4.

De acuerdo al análisis comparativo, los seis grupos muestran porcentajes de aciertos muy similares (entre 40% y 44%) en el pre-test, esto es, antes de la instrucción todos los grupos inician el curso con un nivel muy similar en conocimientos previos. Después de la instrucción se pueden

apreciar diferencias significativas entre los grupos experimentales y de control, observándose que los grupos experimentales de TLQ presentan porcentajes un poco más altos (66% y 64%) que los grupos experimentales de TLC (66% y 58%). Por lo tanto, esta diferencia de puntaje se manifiesta en el resultado obtenido para las ganancias normalizadas por grupo, siendo para los grupos experimentales de TLQ (0.39 y 0.40) un poco mayores comparadas con las ganancias de los grupos experimentales de TLC (0.41 y 0.30). Por otra parte, no se aprecian diferencias en las ganancias de los grupos de control de las dos especialidades ya que en cada grupo control se obtuvo el mismo valor de ganancia normalizada (0.13).

Considerando la clasificación de Hake [7], se determina que los grupos experimentales están en la zona de ganancia media con un valor promedio de ganancia normalizada de 0.38, localizándose en el rango de $0.3 < g < 0.7$. Por otra parte, los grupos control se ubican en una zona de ganancia baja con un valor promedio de la misma de 0.13. Resultados similares se obtienen cuando se evalúan las preguntas del FCI original. Los detalles pueden consultarse en la Tesis de Maestría [12].

Dado que los 10 ítems agregados corresponden al tema de Caída Libre, para los grupos que utilizaron la serie de Clases Demostrativas Interactivas que se proponen en este trabajo, los puntajes obtenidos después de la instrucción nos indican una mejor comprensión de los conceptos básicos sobre este tipo de movimiento por los estudiantes de los grupos experimentales con respecto a los estudiantes de los grupos de control.

Ganancia en los 10 Ítems agregados al FCI

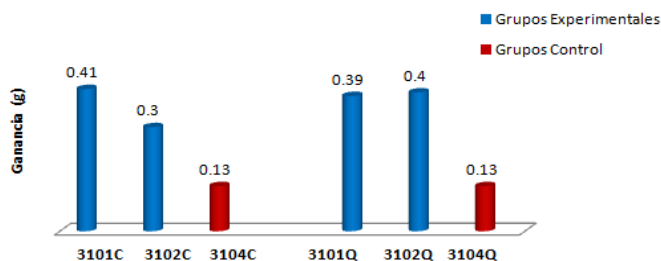


FIGURA 4. Ganancia g obtenida por grupo en los 10 ítems agregados al FCI.

Por lo tanto, concluimos que los grupos experimentales alcanzaron una mejor comprensión de conceptos básicos del movimiento en Caída Libre porque con el uso de las Clases Demostrativas Interactivas los estudiantes logran entender mejor las características de dicho movimiento y explicar mejor las relaciones y el comportamiento de sus variables.

IV. DISCUSIÓN

A pesar de la existencia de cuestionarios como el FCI, que son herramientas validadas y útiles para determinar la

Evaluación del aprendizaje conceptual del movimiento en Caída Libre comprensión y dominio de los conceptos fundamentales de la Mecánica Newtoniana, para evaluar minuciosamente la efectividad de una estrategia educativa que examina un tema específico, como por ejemplo el de Caída Libre, sin duda es conveniente contar con herramientas que permitan un análisis más detallado del dominio de los estudiantes de dicho tema en particular. En este trabajo proponemos una herramienta que permite hacer un análisis más detallado de la comprensión del movimiento en Caída Libre.

Sin duda alguna, un trabajo de investigación adicional es necesario en la cual se tomen en cuenta nuestros resultados con el fin de mejorar la eficacia de las diez preguntas que proponemos para evaluar el aprendizaje de los conceptos físicos usados en la descripción del movimiento en Caída Libre. Esto solamente puede lograrse aplicando el cuestionario a un gran número de estudiantes y haciendo mejoras a las preguntas, como cambios en la redacción de preguntas para que sean menos confusas, eliminación de opciones de respuesta poco atractivas, etc. Con respecto a la sustitución de opciones de respuesta poco atractivas, posiblemente sea conveniente eliminar la opción “*Ninguna de las anteriores*” en todas las preguntas en las que aparece, por otra opción físicamente más razonable.

Así pues, invitamos a la comunidad a usar los ítems propuestos en el presente trabajo y proponer modificaciones a los mismos que mejoren su eficacia como instrumento de evaluación de la comprensión de los conceptos físicos usados en la descripción del movimiento en Caída Libre.

Un análisis más extenso de los resultados obtenidos en el curso de este trabajo de investigación puede consultarse en la Tesis de Maestría de Lilia Garduño Calderón presentada en CICATA Legaria, IPN [12].

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por CONACYT-México, EDI-IPN, COFAA-IPN y por los proyectos de investigación SIP-20131340 y SIP-2013

REFERENCIAS

- [1] Thornton, R. y Sokoloff, D. *Assessing student learning of Newton's laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation and Evaluation of Active Laboratory and Lecture Curricula*, American Journal of Physics **66**, 338-352 (1998).
- [2] Hestenes, D., Wells M. y Swackhamer, G. *Force Concept Inventory*, The Physics Teacher **30**, 141-158 (1992).
- [3] Henderson, C. *Common Concerns About the Force Concept Inventory*, The Physics Teacher **40**, 542-547 (2002).
- [4] Colleta, V. P. y Phillips, J. A., *Interpreting force inventory scores: Normalized gain and SAT scores*, Physical Review Special Topics – Physics Education Research **3**, 010106(5) (2007).
- [5] Stewart, J., Griffin, H. y Stewart G., *Context sensitivity*

Lilia Garduño Calderón, A. López Ortega, César Mora
in the force concept inventory, *Physical Review Special Topics* **3**, 010102(6) (2007).

[6] Savinainen, A. y Viiri, J. *The Force Concept Inventory as measure of student's coherence*, *International Journal of Science Mathematics Education* **6**, 719-740 (2008).

[7] Hake, R. R. *Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses*, *American Journal of Physics* **66**, 64-74 (1998).

[8] Guisasaola, J., Almuñí, J. M. y Zubimendi, J. L. *Dificultades de aprendizaje de los estudiantes universitarios en la teoría del campo magnético y elección de los objetivos de enseñanza*, *Enseñanza de las Ciencias*, **21**, 79-94 (2003).

[9] Maloney D. P., O'Kuma T. L., Hieggelke C. J. y Van Heuvelen, A. *Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism*, *American Journal of Physics Supplement* **69**, S12-S23 (2001).

[10] Silveira L. y Moreira M. A., *Validación de un test para verificar si el alumno posee concepciones científicas sobre calor, temperatura y energía interna*, *Enseñanza de las Ciencias* **14**, 75-86 (1996).

[11] Martínez Negrete, M. A., *Once semestres de aplicación del cuestionario Moreira-Axt a estudiantes de Termodinámica de la carrera de Física*. *Revista Mexicana de Física* **43**, 397-401 (1998).

[12] Garduño Calderón Lilia. *Implementación de Clases Demostrativas Interactivas para la enseñanza de Caída Libre en bachillerato*. Tesis de Maestría (2010). Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Instituto Politécnico Nacional, México.

[13] Bao, L., Redish, E. *Concentration analysis: A quantitative assessment of student state*. *American Journal of Physics* **69**, 45-53 (2001).

[14] Doran, R. *Basic measurement and evaluation of science instruction*. National Science Teachers Association, Washintong, D. C. (1980).

[15] González, C. O. *Evaluación de opción múltiple vs. Evaluación tradicional. Un estudio de caso en ingeniería*. *Ingeniería* **7**, 17 (2003). *Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, UAY* Disponible en línea <http://www.ingenieria.uady.mx/revista/volumen7/evaluacion.pdf>

[16] Aguirre, R. y Ponce De Leon, R. M. *Factor de corrección y Análisis de Ítems: Grado de Dificultad, Poder de Discriminación, Efectividad de las Respuestas de Distracción y Confiabilidad*. <http://radiou.usac.edu.gt/fdeo/biblio/factordecorreccion.pdf> Fecha de consulta 9 de mayo de 2010.

[17] Morris, G. A., Branum-Martin, L., Harshman, N., Baker, S. D., Mazur E., Dutta S., Mzoughi, T., McCauley, V. *Testing the test: Item response curves and test quality*, *American Journal of Physics* **74**, 449-453 (2006).

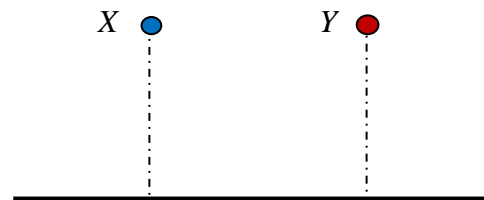
[18] Sandoval, M. y Mora, C. *Modelos erróneos sobre la comprensión del campo eléctrico en estudiantes universitarios*, *Latin American Journal of Physics Education* **3**, 647-655 (2009).

APÉNDICE. ÍTEMS PROPUESTOS SOBRE EL TEMA DE CAÍDA LIBRE²

- Una cubeta se deja caer desde la azotea de un edificio hasta la superficie de la Tierra, su velocidad inicial:
 - Alcanza un máximo de velocidad al ser soltada y desde entonces cae con una velocidad constante.
 - Aumenta conforme aumentamos la altura del edificio del cual soltamos la cubeta.
 - Es cero, ya que parte del reposo.**
 - Aumenta aproximadamente a la mitad de su trayectoria.
 - Disminuye aproximadamente a la mitad de su trayectoria.
- En el salón de clase una moneda y una hoja de papel extendida se dejan caer desde la misma altura y en el mismo instante. El tiempo que tardan en llegar al suelo es:
 - Mayor para la moneda comparada con la hoja de papel extendida.
 - Menor para la moneda comparada con la hoja de papel extendida.**
 - Igual para los dos cuerpos.
 - Aproximadamente la mitad para la moneda comparada con la hoja de papel extendida.
 - Aproximadamente la cuarta parte para la moneda comparada con la hoja de papel extendida.
- Una pelota de ping pong que se deja caer desde el techo de un edificio de dos pisos hasta la superficie de la Tierra:
 - Al ser soltada mantiene su aceleración casi constante.**
 - Aumenta su aceleración mientras cae porque la atracción gravitatoria se hace considerablemente mayor cuanto más se acerca la piedra a la Tierra.
 - Aumenta su aceleración porque una fuerza de gravedad casi constante actúa sobre ella.
 - Disminuye su aceleración debido a la tendencia natural de todos los objetos al caer.
 - Disminuye su aceleración debido a que la fuerza de gravedad actúa sobre ella.

Use la descripción y la figura adjuntas para contestar las cuatro preguntas siguientes (4 a 7)

Al mismo tiempo y desde la misma altura, se deja caer una pelota X y una bola Y (idéntica a la bola X).

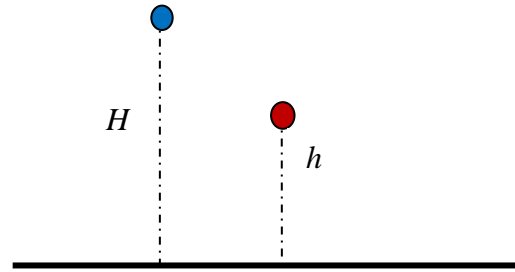


² La respuesta correcta está resaltada en **negritas**.

4. Cuando la pelota Y vaya descendiendo ¿dónde estará la pelota X ?
- (A) **A la misma altura que la pelota Y .**
 (B) Encima de la pelota Y .
 (C) Debajo de la pelota Y .
 (D) A la mitad de la altura de la pelota Y .
 (E) En la posición inicial.
5. ¿Cuál pelota alcanza el piso primero?
- (A) La pelota X por su velocidad
(B) Las dos pelotas alcanzan el piso al mismo tiempo
 (C) La pelota X
 (D) La pelota Y
 (E) Ninguna de las anteriores
6. ¿Qué pelota alcanza el piso con mayor velocidad?
- (A) La pelota X .
 (B) La pelota Y .
(C) Las dos pelotas alcanzan el piso a la misma velocidad.
 (D) La pelota Y por su aceleración.
 (E) Ninguna de las anteriores
7. Durante la caída, la velocidad en cada una de las pelotas
- (A) Aumenta siendo mayor en Y y menor en X .
(B) Aumenta y adquiere el mismo valor tanto para X como para Y .
 (C) Aumenta siendo mayor para X y menor para Y .
 (D) Aumenta para X y es constante para Y .
 (E) Aumenta para Y y es constante para X

Use la descripción y la figura adjuntas para contestar las cuatro preguntas siguientes (8 a 10)

Una moneda se deja verticalmente hacia abajo desde dos alturas distintas (H y h). Considerando que la altura H es exactamente el doble de la altura h .



8. ¿Cómo es la aceleración de la moneda al final de su recorrido?
- (A) Mayor al caer de la altura H .
 (B) Menor al caer de la altura H .
(C) Igual para las dos alturas.
 (D) Justamente la mitad para la altura H , que para la altura h .
 (E) Ninguna de las anteriores.
9. ¿Cómo es el tiempo que tarda la moneda en llegar al piso?
- (A) Mayor si cae de la altura h
 (B) Menor si cae de la altura H
 (C) Igual para la altura H que para la altura h
(D) Mayor si cae de la altura H
 (E) Ninguna de las anteriores
10. Cuando la moneda se deja caer, su velocidad:
- (A) Adquiere distinto valor en cada punto de su trayectoria**
 (B) Presenta el mismo valor en cada punto de su trayectoria
 (C) Se comporta inversamente proporcional a su aceleración
 (D) Es igual a su aceleración
 (E) Ninguna de las anteriores