



Procesos de pensamiento en un ciclo de aprendizaje

A. González y Hernández^a y María del Pilar Segarra Alberú^b

^aDepartamento de Física. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., 04510.

^bEscuela Nacional Preparatoria No. 5, "José Vasconcelos". Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., 04859.

ARTICLE INFO

Received: 25 November 2013

Accepted: 10 June 2014

Keywords:

Physics.
Didactic strategy.
Teaching physics.

E-mail addresses:

agh@ciencias.unam.mx,
psegarra@ciencias.unam.mx

ISSN 2007-9842

© 2014 Institute of Science
Education.
All rights reserved

ABSTRACT

En el Laboratorio de Mecánica, los estudiantes aprenden los conceptos, principios, leyes, métodos y técnicas de la mecánica newtoniana desde la experimentación. En especial, por su importancia en la mecánica newtoniana, el conocimiento de los sistemas mecánicos es un objetivo central en los aprendizajes de los estudiantes. Para lograr que los estudiantes alcancen una mejor comprensión de los procesos físicos de estos sistemas, hemos propuesto un ciclo de aprendizaje que consta de cuatro etapas: exploración, experimentación, modelación y predicción. Para valorar la efectividad del ciclo de aprendizaje en los estudiantes, se han considerado las habilidades de pensamiento que los estudiantes desarrollan en la práctica de este ciclo. Para este fin, se valoran los procesos de pensamiento y habilidades prácticas que se espera que los estudiantes lleven a cabo en este ciclo de aprendizaje, donde los criterios usados para realizar esta valoración son los criterios de la taxonomía de Bloom revisada. En este trabajo, se discute el ciclo de aprendizaje y su valoración mediante la aplicación de la taxonomía revisada de Bloom a un sistema dinámico en particular que consiste de la caída de objetos en el aire.

In the Laboratory of Mechanics, students learn the concepts, principles, laws, methods and techniques of Newtonian mechanics from experimentation. In particular, because of its importance in Newtonian mechanics, knowledge of mechanical systems is a central goal in student learning. To get students to achieve a better understanding of the physical processes of these systems, we proposed a learning cycle consisting of four stages: exploration, experimentation, modeling and prediction. To assess the effectiveness of the learning cycle in students, we have considered the thinking skills that students develop in the practice of this cycle. To this end, are expected thought processes and practical skills in students for this learning cycle, where the criteria used for this assessment are the criteria revised Bloom's taxonomy are valued. In this paper, the learning cycle and its valuation is discussed by applying the revised Bloom to a particular dynamic system consisting of objects falling in air taxonomy.

I. INTRODUCCIÓN

Un sistema mecánico (Sala *et al.*, 2000) se refiere al comportamiento dinámico de un sistema de una o más masas sujetas a fuerzas externas que determinan su movimiento. Las leyes de Newton son el modelo que describe el comportamiento dinámico de una o más masas del sistema mecánico, en especial, la segunda ley de Newton, la cual plantea la ecuación de movimiento para cualquiera de las masas del sistema mecánica y cuya solución establece el comportamiento de las variables que definen el movimiento de una masa en particular, con el tiempo.

Desde el enfoque experimental, el movimiento de una masa de un sistema mecánico es medido por el experimentador (estudiante) y el análisis de datos conduce al planteamiento de ecuaciones empíricas que determinan la cinemática y la dinámica de esa masa.

Dos procesos cognitivos están involucrado en un estudio teórico-experimental de un sistema mecánico: el proceso deductivo y el proceso inductivo. Ambos convergen en la explicación de la dinámica del sistema mecánico.

Los dos procesos de investigación deben ser practicados por los estudiantes para adquirir las habilidades y destrezas prácticas e intelectuales que se desarrollan para la adquisición del conocimiento científico. Para alcanzar este fin, hemos propuesto un ciclo de aprendizaje de cuatro etapas: exploración, experimentación, modelación y predicción.

En cada una de las etapas del ciclo de aprendizaje, los estudiantes desarrollan habilidades y destrezas prácticas y de pensamiento que para su valoración, deben ser identificadas por medio de los elementos concretos que ellos proporcionan en el ejercicio del ciclo de aprendizaje.

Por este motivo, es necesario proponer un marco teórico, que sirva de base para el análisis de las habilidades y destrezas prácticas e intelectuales que se espera los estudiantes desarrollen en la aplicación de cada una de las etapas del ciclo de aprendizaje. La taxonomía de Bloom revisada por Anderson y Karthwohl nos proporciona este marco teórico que podemos en cada una de las fases del ciclo de aprendizaje.

En este trabajo, se desarrollarán las siguientes etapas:

1) Trataremos como ejemplo de un sistema mecánico, la caída de un cuerpo en el aire, para establecer desde la modelación teórica, la manera en que las leyes de Newton se aplican a un caso particular y como la ecuación de movimiento se plantea y se resuelve a partir de métodos matemáticos analíticos o numéricos y resultados experimentales que permiten obtener valores experimentales de los parámetros que definen la ecuación de movimiento, con el fin de lograr un estudio completo del comportamiento del sistema mecánico.

2) se establece el proceso inductivo-deductivo que siguen los estudiantes para el estudio experimental-teórico de este sistema mecánico, por medio del ciclo de aprendizaje, donde describiremos las habilidades y destrezas prácticas y de pensamiento que los estudiantes desarrollan en las diferentes etapas del ciclo de aprendizaje y

3) la valoración de estas habilidades de pensamiento desde el punto de vista de la taxonomía de Bloom revisada.

II. SISTEMA MECÁNICO

Para ilustrar como se lleva a cabo el ciclo de aprendizaje en el curso del Laboratorio de Mecánica, se trata el siguiente sistema mecánico de este curso:

Cuerpo que cae en el aire cerca de la superficie terrestre.

En el estudio del sistema mecánico de un cuerpo de masa m que cae en el aire hacia el piso (French, 1978), es necesario identificar las fuerzas componentes de la fuerza neta que se ejerce sobre la masa m .

La fuerza de gravedad:

$$\vec{F}_g = m\vec{g}, \quad (1)$$

con $|\vec{g}|=9.8 \text{ m/s}^2$ se ejerce sobre todos los cuerpos que caen cerca de la superficie terrestre.

Además, si alrededor del cuerpo hay una atmósfera de aire, el cuerpo en su movimiento de caída al piso, es afectado por la fuerza de arrastre del aire que se ejerce en contra de su movimiento. Esta fuerza depende de la rapidez del cuerpo relativa al aire que lo rodea y se puede expresar matemáticamente de la siguiente forma:

$$\vec{F}_a = -r|\vec{v}|\vec{v}, \quad (2)$$

donde r es una constante de proporcionalidad.

La fuerza de arrastre del aire se puede intuir si se considera un auto en marcha con la ventanilla del pasajero abierta y el pasajero sacando la mano fuera de la ventanilla y con su palma contra la corriente de aire que la impacta. Si la rapidez del auto es baja, el pasajero siente una pequeña fuerza del aire sobre su palma, que trata de arrastrar su mano

hacia atrás del auto, si la rapidez del auto aumenta, la fuerza del aire sobre la mano también aumenta, pero si el aumento de la rapidez del auto es demasiado grande, entonces la mano que resiste la fuerza del aire, no es suficiente para equilibrar la fuerza del aire y termina vencida por esta fuerza.

Para determinar la fuerza neta, es necesario realizar, el siguiente diagrama de cuerpo libre:

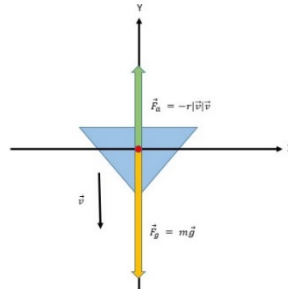


FIGURA 1. Diagrama de cuerpo libre de un cono de papel que cae en el aire.

La fuerza neta, sobre el cuerpo, está dado por:

$$F_N = mg - r|v|v, \quad (3)$$

y la ecuación de movimiento, es:

$$m \frac{d^2y}{dt^2} = mg - r|v|v. \quad (4)$$

Para que esta ecuación sea resuelta, es necesario medir m y r .

La medición de r es posible hacerla de forma experimental, ya que, conforme el cuerpo cae al piso, la rapidez y la fuerza de arrastre aumenta, de tal manera que, cuando alcanza una rapidez terminal v_T , la aceleración del movimiento es cero, y:

$$0 = -mg + rv_T^2, \quad (5)$$

de donde,

$$r = mg/v_T^2, \quad (6)$$

siempre y cuando v_T se mida experimentalmente.

La solución analítica o numérica de la ecuación de movimiento (4) determina la forma funcional de $y = y(t)$, $v = v(t)$ y $a = a(t)$.

III. CICLO DE APRENDIZAJE

El ciclo de aprendizaje de cuatro etapas (Lawson 1994 y 2002, Marek 2008 y González *et al.* 2013), ha sido diseñado para que los estudiantes, integrados en equipos de tres o cuatro personas, estudien los sistemas mecánicos en el curso de Laboratorio de Mecánica.

Las cuatro etapas de este ciclo: exploración, experimentación, modelación y predicción, son puestas en operación mediante una PREGUNTA DETONANTE, por ejemplo:

¿Cómo cae un cuerpo en el aire?

Para responder la pregunta detonante, se inicia un proceso de investigación, el ciclo de aprendizaje, que empieza con la actividad de EXPLORACIÓN.

Los estudiantes exploran la caída de diferentes objetos de diferentes formas y masas y observan que la caída de conos de papel es afectada visiblemente por la fuerza de arrastre del aire. Dado que los conos de papel pueden ser manufacturados por los propios estudiantes, ellos pueden construirlos de diferentes masas, tamaños y formas, usando diversas cantidades de papel y variando sus alturas y bases. De esa manera, al observar la caída de diferentes conos de papel, ellos se dan cuenta que no caen de la misma manera, por lo que ellos necesitan establecer un control de variables, para poder comparar la caída de diferentes conos de papel. La variable más fácil de controlar es la masa del cono; si dos conos de papel son diferentes en forma y en masa, agregando masa de plastilina en el interior del cono más ligero, se pueden igualar las masas de los dos conos de diferente forma. En la exploración, los estudiantes, por apreciación, se dan cuenta que los conos, después de un tiempo de caída, parecen alcanzar una rapidez constante.

Como la observación de esta rapidez constante, se repite para diferentes conos de papel, es oportunidad para plantear la siguiente hipótesis de trabajo:

Hipótesis: “Los conos de papel, alcanzan una rapidez constante, después de cierto tiempo y altura de caída”.

El propósito siguiente del ciclo de aprendizaje, la EXPERIMENTACIÓN, es que los estudiantes realicen un experimento, para corroborar la veracidad o falsedad de la hipótesis.

En este punto, los estudiantes deben decidir, cuál de todos los conos de papel que han construido, ellos deben de seleccionar para experimentar con él.

Una vez seleccionado el cono de papel para la experimentación, los estudiantes lo caracterizan, midiendo su masa, altura y base, y realizan un experimento como se describe a continuación:

Experimento: “El cono de papel de masa m , altura h y base b , se suelta desde una altura H del piso. El movimiento de caída se filma con una cámara digital a 30 fotogramas/s, y su movimiento se estudia con un software de captura y análisis de datos de vídeo”.

En esta fase de experimentación, la construcción de tablas de datos y el uso de los métodos gráficos son básicos para el estudio de los datos experimentales. Los datos experimentales de posición y tiempo t se grafican, y los estudiantes, con apoyo del profesor, pueden percibir que después de un tiempo de caída, la curva del movimiento, que empieza en el origen de coordenadas, se transforma de una curva a una recta, permitiendo interpretar a los estudiantes que el movimiento, después de un tiempo de caída, es un movimiento uniformemente rectilíneo y que la rapidez de caída es constante y está dado por la pendiente de la recta graficada.

En este momento, los estudiantes pueden probar la certeza de la hipótesis de trabajo y pasan a la siguiente etapa del ciclo de aprendizaje, la MODELACIÓN.

Los resultados empíricos a los que han llegado los estudiantes a través de la inducción, les dice gráficamente a los estudiantes como es el movimiento de caída de conos en el aire, de su movimiento final con rapidez constante, pero sólo les permite intuir que la fuerza del aire es dependiente de la rapidez del cuerpo en su caída y que esta fuerza al equilibrarse con la fuerza de gravedad establece una condición de equilibrio que permite que la caída final del cuerpo sea con rapidez constante, pero no explica como el cuerpo pasa del reposo a la condición de equilibrio, pues observar esta transición de la interpretación gráfica es demasiado complejo.

Para ello, es necesario que los estudiantes realicen una modelación del movimiento de caída de cuerpos en el aire, utilizando las leyes de Newton que ellos conocen previamente de sus clases teóricas. Esta modelación, ya se realizó previamente en este escrito, cuando se describió el sistema mecánico de cuerpos en caída en el aire, cerca de la superficie terrestre, en particular los conos de papel.

Siguiendo el mismo formato de exposición del modelo, dado en párrafos anteriores, se motiva a los estudiantes, hacer una discusión similar, con la guía del profesor, bajo diferentes dinámicas de discusión. Los pasos a seguir, en el caso de los conos de papel, son los siguientes:

- Realizar un diagrama de cuerpo libre para identificar las fuerzas que se ejercen sobre el cono de papel (ver Figura 1).
- Establecer las expresiones matemáticas de estas fuerzas, llamadas leyes de fuerzas (Ecuaciones 1 y 2).
- Determinar la fuerza neta que se ejerce sobre el cuerpo que cae (Ecuación 3).
- Expresar la ecuación de Newton, como una ecuación de movimiento para este sistema (Ecuación (4)).
- Resolver por métodos numéricos o analíticos la ecuación de movimiento.
- Presentar gráficamente $y = y(t)$ de la solución numérica o analítica.
- Comparar la solución gráfica de la ecuación de movimiento con la presentación gráfica de los datos experimentales.
- Revisar el buen ajuste de las comparaciones, checando en el experimento y en el modelo las condiciones iniciales y la fiabilidad de los parámetros en la ecuación de movimiento y de sus incertidumbres.
- Concluir sobre la validez del modelo teórico y de su generalidad, para investigar casos diferentes al experimentado.

La validación del modelo teórico con base experimental, lleva a los estudiantes a la siguiente y última fase del ciclo de aprendizaje, la PREDICCIÓN.

El modelo teórico, está dado por la solución numérica o analítica de la ecuación de movimiento dada en la Ecuación 4 y que se ha programado en una hoja de cálculo. A la vez, que todos los parámetros que definen esta ecuación ya han sido conocidos por medición y comprobados su precisión por la comparación con los resultados experimentales. Todo esto, permite hacer variaciones de los parámetros que definen la ecuación de movimiento, para encontrar nuevas soluciones.

La variación más sencilla que se puede hacer en la ecuación de movimiento de la Ecuación (4), es variar la masa del cono de papel, sin cambiar su forma. La solución de la ecuación de movimiento, para el cono de masa $m + \Delta m$, donde Δm es el aumento de la masa del cono, predice su movimiento. La variación material de la masa del cono se puede hacer agregando masa de plastilina en el interior del cono.

El final del ciclo de aprendizaje es realizar el experimento de la caída del cono con su masa aumentada, con la verificación de cómo se ajusta la predicción con los datos experimentales dentro del margen del error experimental.

IV. HABILIDADES DEL PENSAMIENTO

En el proceso del ciclo de aprendizaje de los estudiantes para el estudio de los sistemas mecánicos, implícitamente han ido desarrollando sus habilidades de pensamiento, es decir, los estudiantes han puesto en práctica o deben poner en práctica su pensamiento crítico en cada paso del ciclo de aprendizaje.

Según Ennis (1966), el pensamiento crítico lo describe en términos de habilidades y disposiciones (Ennis, 1991, 1996), que se fomentan en los estudiantes en el transcurso de la realización de las tareas de aprendizaje del conocimiento científico. Cuando estas tareas se refieran a la resolución de problemas, se solicita a los estudiantes que aclaren los problemas que se les plantea e identifiquen las metas pertinentes, deduciendo los datos necesarios para resolver los problemas, evaluando críticamente las fuentes de información y desarrollando estrategias de solución novedosa y en algunos casos decidiendo cuál es la mejor respuesta o estimación bajo la base de criterios establecidos, identificados como importantes por los mismos estudiantes.

Bajo estas premisas, Ennis define el pensamiento crítico, como: “Un pensamiento reflexivo que se enfoca en decidir que creer o que hacer (Hager 2003)”.

Esto es, el pensamiento crítico es un pensamiento reflexivo que se enfoca en decidir que creer o hacer.

Las habilidades y disposiciones de Ennis pueden verse como una taxonomía del pensamiento crítico (Ennis, 1987).

Una taxonomía para los objetivos educativos, fue establecido por Bloom y Krathwohl en 1956; y posteriormente Krathwohl junto con Anderson, hicieron una revisión de esta taxonomía (Anderson *et al.*, 2001). La versión revisada de Anderson y Krathwohl es una forma moderna de la antigua taxonomía de Bloom y Krathwohl, que toma en consideración las críticas que se hicieron a la taxonomía original.

En la taxonomía de Bloom revisada, como se titula en el artículo de Anderson y Krathwohl, el principal cambio es pasar de una a dos dimensiones, en donde los objetivos que describen el aprendizaje deseado como un resultado de la instrucción, se enmarcan en dos dimensiones. Esto es, la dimensión del conocimiento, y la dimensión de los procesos cognitivos.

Estas dimensiones pueden presentarse en una tabla que incluye los elementos de la taxonomía de forma cruzada (ver Tabla I), donde el eje vertical a la izquierda de la tabla considera las dimensiones del conocimiento: Factual, conceptual, procedimental y metacognitivo y en el eje horizontal, en la parte superior de la tabla los procesos cognitivos: Recordar, entender, aplicar, analizar, evaluar y crear.

TABLA I. Taxonomía revisada, según Anderson y Krathwohl (2001).

Procesos cognitivos	
Dimensiones del conocimiento 1.	
Recordar	2.
Entender	3.
Aplicar	4.
Analizar	5.
Evaluar	6.
Crear	
Factual	
Conceptual	
Procedimental	
Metacognitivo	

La estructura de la dimensión de conocimiento y la estructura de la dimensión de los procesos cognitivos se da en la Tabla II.

TABLA II. Estructura de la dimensión del conocimiento y la dimensión de los procesos cognitivos de la taxonomía revisada, según Krathwohl (2002).

Dimensión del conocimiento	Dimensión de los Procesos Cognitivos
A. Conocimiento factual - Los elementos básicos que los estudiantes deben saber para tener conocimiento de una disciplina o resolver problemas en el mismo.	
Aa. Conocimiento de la terminología.	
Ab. El conocimiento de los detalles y elementos específicos.	
B. Conocimiento conceptual - Las interrelaciones entre los elementos básicos dentro de una estructura más grande que puedan funcionar juntos.	

- Ba. Conocimiento de clasificaciones y categorías.
 - Bb. Conocimiento de principios y generalizaciones.
 - Bc. El conocimiento de las teorías, modelos y estructuras.
- C. Conocimiento de Procedimientos - ¿Cómo hay que hacer algo; métodos de investigación, y los criterios para el uso de habilidades, algoritmos, técnicas y métodos.
- Ca. El conocimiento de las habilidades y los algoritmos de temas específicos.
 - Cb. Conocimiento de las técnicas específicas de las materias y métodos.
 - Cc. Conocimiento de criterios para determinar cuándo utilizar los procedimientos adecuados.
- D. Conocimiento metacognitivo - El conocimiento de la cognición en general, así como la conciencia y el conocimiento de la propia cognición.
- Da. El conocimiento estratégico.
 - Db. El conocimiento sobre las tareas cognitivas, incluyendo conocimiento contextual y condicional apropiado.
 - Dc. Autoconocimiento.
- 1. Recuerda - Recuperando los conocimientos necesarios de memoria a largo plazo.
 - 1.1 Reconociendo
 - 1.2 Recordando
 - 2. Comprender - Determinar el significado de instrucción mensajes, incluyendo oral, escrita y gráfica comunicación.
 - 2.1 Interpretación
 - 2.2 Ejemplificación
 - 2.3 Clasificación
 - 2.4 Resumir
 - 2.5 Inferir
 - 2.6 Comparación
 - 2.7 Explicación
 - 3. Aplicar - Realización o mediante un proceso en un determinado situación.
 - 3.1 Ejecución
 - 3.2 Implementación
 - 4. Analizar - material de rompimiento en sus partes constituyentes y detectar cómo las partes se relacionan entre sí y a una estructura o propósito general.
 - 4.1 Diferenciación
 - 4.2 Organización
 - 4.3 Atribución
 - 5. Evaluar - Emitir juicios basados en criterios y normas.
 - 5.1 Comprobación
 - 5.2 Criticar
 - 6. Crear - La elaboración de elementos para formar una novela, todo coherente o crea un producto original.
 - 6.1 Generación
 - 6.2 Planificación

6.3 Producción

La dimensión de los procesos cognitivos de la taxonomía revisada de Bloom, (de Anderson y Krathwohl), se establecen a partir de verbos de acción que indican las habilidades del pensamiento que se espera que los estudiantes logren desarrollar en el cumplimiento de los objetivos de aprendizaje.

Bajo este contexto, es posible aplicar las dos dimensiones de esta taxonomía al ciclo de aprendizaje y juzgar la medida en que los aprendizajes son posibles de alcanzar en cada etapa del ciclo de aprendizaje.

V. HABILIDADES DE PENSAMIENTO EN EL CICLO DE APRENDIZAJE

En cada fase del ciclo de aprendizaje, el llenado de la matriz de la Tabla I, dará como resultado las habilidades de pensamiento que los estudiantes han de desarrollar para lograr los aprendizajes deseados.

El ciclo de aprendizaje se ha aplicado en este escrito a la caída de cuerpos en el aire, por ello, el llenado de la Tabla II, se hará a partir de este sistema mecánico, que a pesar de ser un caso particular, incluye las características generales de los sistemas mecánicos que estudian los estudiantes en la clase del Laboratorio de Mecánica.

Para facilitar el llenado de la Tabla I con las habilidades de pensamiento y destrezas prácticas que se espera desarrollen los estudiantes en el ejercicio del ciclo de aprendizaje, se usará la siguiente nomenclatura:

- A: fase de exploración
- B: fase de experimentación
- C: fase de modelación
- D: fase de predicción

De esta manera, en la Tabla III, se aplica la taxonomía revisada a (A) la fase de exploración del ciclo de aprendizaje aplicado al sistema mecánico de los cuerpos que caen el aire.

El segundo proceso cognitivo de la Tabla I de la taxonomía revisada, “entender”, debido a que se aplica a una actividad de exploración experimental, propondremos que se modifique a un “entender por observación”, considerando que los estudiantes hacen inferencias a partir del entendimiento por observación que ellos llevan a cabo en la fase de exploración.

TABLA III. Taxonomía revisada aplicada a la fase (A) de exploración del ciclo de aprendizaje.

Procesos cognitivos						
Dimensiones del conocimiento						1.
Recordar						2.
Entender (por observación)						3.
Aplicar						4.
Analizar						5.
Evaluar						6.
Crear						
Factual	A.1	A.1	A.1			
Conceptual	A.2	A.2				
Procedimental			A.3	A.3		
Metacognitivo					A.4	A.4 A.4

En esta fase, como se muestra en la Tabla III, los estudiantes (A.1) hacen uso de conceptos de la mecánica como condiciones iniciales, rapidez, velocidad y fuerza, que se clasifican dentro de la dimensión factual y cumplen con los tres primeros puntos de los procesos cognitivos. (A.2) Las relaciones entre estos conceptos, se ubican dentro de la dimensión conceptual y cumplen con los dos primeros puntos de los procesos cognitivos. (A.3) Los procedimientos experimentales que los estudiantes llevan a cabo en la exploración de la caída de los cuerpos cumplen con la dimensión

procedimental y se ubica en los procesos cognitivos 2 y 3. (A.4) En la reflexión que los estudiantes deben hacer de lo observado, deben crear una hipótesis para dar una explicación tentativa sobre las conclusiones preliminares a las que han llegado y que la ubica en la dimensión de lo metacognitivo y que cubre las últimas tres dimensiones de los procesos cognitivos.

En la Tabla III, se aplica la taxonomía revisada a la fase de experimentación del ciclo de aprendizaje aplicado al sistema mecánico de los cuerpos que caen el aire.

Igual que en la Tabla III, en (B) la fase de experimentación, el proceso cognitivo “entender”, debido a que se aplica a una actividad experimental, propondremos que se modifique a un proceso cognitivo de “entender por observación”, considerando que los estudiantes hacen inferencias a partir del entendimiento por observación que ellos llevan a cabo en esta fase.

En la fase de experimentación, los estudiantes (B.1) ensamblan el dispositivo experimental, (B.2) controlan variables y (B.3) proceden a realizar la actividad experimental de acuerdo a las condiciones que permitan verificar la hipótesis. Ellos (B.4) miden datos experimentales aplicando técnicas de captura de datos con nuevas tecnologías, (B.5) transfieren los datos a un sistema computarizado y los (B.6) analizan por medio de (B.6a) diagramas, (B.6b) tablas, (B.6c) gráficas y (B.6d) ecuaciones, utilizando programas de computadora diseñados para este fin, (B.7) evalúan sus resultados a partir de los parámetros obtenidos de las gráficas y finalmente ellos establecen (B.8) el modelo empírico que describe el comportamiento del sistema mecánico. En estas acciones, los estudiantes desarrollan habilidades de pensamiento, que podemos ubicarlas en la Tabla IV, de la siguiente manera:

TABLA IV. Taxonomía revisada aplicada a la fase (B) de experimentación del ciclo de aprendizaje.

Procesos cognitivos					
Dimensiones del conocimiento 1.					
Recordar	2.				
Entender (por observación)	3.				
Aplicar	4.				
Analizar	5.				
Evaluar		6.			
Crear					
Factual	B.2	B.2	B.2	B.6	B.7
Conceptual		B.3		B.6	B.7 B.8
Procedimental		B.1, B.3, B.4, B.5		B.3, B.4 B.1, B.3 B.1, B.3, B.4,	
B.6					
Metacognitivo				B.6	B.7 B.8

En la Tabla V, se aplica la taxonomía revisada a la fase de modelación del ciclo de aprendizaje aplicado al sistema mecánico de los cuerpos que caen el aire.

Esta fase se desenvuelve bajo una actividad mental elevada, en ella los estudiantes deben poner en ejercicios todos los conocimientos que posean sobre el tema que se estudia y aplicarlos a los hechos concretos que les correspondan.

Resumiendo los elementos teóricos en que se basa el estudio del movimiento de un cuerpo que cae en el aire y expuesto ampliamente al principio de este escrito, se tiene: (C.1) La identificación de fuerzas sobre el objeto, (C.2) su relación en un diagrama de cuerpo libre, (C.3) la representación matemática de la fuerza neta, (C.4) la derivación de la ecuación de movimiento por aplicación de la segunda ley de Newton, (C.5) la solución de la ecuación de movimiento por métodos numéricos o analíticos, (C.6) la interpretación gráfica y física de la solución, (C.7) la comparación y ajuste de la solución de la ecuación de movimiento con los datos experimentales y (C.8) la creación de un modelo del sistema

mecánico que se estudia mediante la generalización de la solución obtenida. Todos estos elementos desarrollados de la teoría, se ubican en la Tabla V, como sigue:

TABLA V. Taxonomía revisada aplicada a la fase (C) de experimentación del ciclo de aprendizaje.

Dimensiones del conocimiento	1.		
Recordar	2.		
Entender	3.		
Aplicar	4.		
Analizar	5.		
Evaluar	6.		
Crear			
Factual	C.1, C.2	C.1, C.2	C.1
Conceptual	C.1, C.2, C.3, C.5	C.1, C.2, C.3, C.5, C.7	
	C.1, C.2, C.3, C.4, C.5, C.7	C.1, C.2, C.4, C.5, C.6, C.7	
	C.2, C.4, C.5, C.7	C.8	
Procedimental	C.2, C.5, C.7	C.2, C.5, C.6	C.5, C.7
Metacognitivo		C.4, C.6, C.7, C.8	

Por último, en la Tabla VI, se aplica la taxonomía revisada a la fase de predicción del ciclo de aprendizaje aplicado al sistema mecánico de los cuerpos que caen el aire.

Esta fase, es de aplicación, ya que la solución generalizada (D.1) se aplica a nuevos casos de conos de papel que caen, (D.1a) variando uno o más de los parámetros que definen la ecuación de movimiento, (D.1b) calculando la solución para los nuevos parámetros, (D.1c) interpretando la solución en su sentido físico, (D.2) diseñando un experimento de verificación de la predicción, (D.2a) realizando el experimento, (D.2b) midiendo las variables experimentales que contrasten los resultados de la predicción, (D.2c) interpretando los resultados del procesamiento de datos, (D.2d) comparando los resultados experimentales con la predicción y (D.2e) obteniendo conclusiones de la fiabilidad de la conclusión. En esta etapa, los estudiantes deben repasar, aunque no explícitamente, casi todo el proceso teórico-experimental que siguieron para llegar a esta etapa. Así, estos elementos, se ubican en la Tabla VI, de la siguiente manera.

TABLA VI. Taxonomía revisada aplicada a la fase (D) de predicción del ciclo de aprendizaje.

Dimensiones del conocimiento	1.		
Recordar	2.		
Entender	3.		
Aplicar	4.		
Analizar	5.		
Evaluar	6.		
Crear			
Factual			
Conceptual	D.1a, D.1b	D.2a	D.1a, D.1b, D.2a
	D.1b, D.1c, D.2c, D.2d	D.1c, D.2d, D.2e	
Procedimental	D.1a, D.1b	D.2a, B.2	D.1a, D.1b, D.2a, D.2b
	D.2a, D.2d		
Metacognitivo	D.1c	D.1c, D.2c	D.2d, D.2e

VI. CONSTANTES EN EL CICLO DE APRENDIZAJE

Para profundizar en los aprendizajes de los estudiantes, los sistemas mecánicos que se estudian por medio del ciclo de aprendizaje, se dan en secuencia. Esto es, después de terminar el ciclo de aprendizaje para un sistema mecánico, el ciclo se repite con el estudio de un nuevo sistema mecánico que mantiene fuertes analogías conceptuales con el sistema mecánico anterior.

En el caso del sistema mecánico de conos de papel que caen el aire, descrito en párrafos anteriores, le sigue el sistema de balines de acero que caen en el agua (González *et al.*, 2014). Formalmente son dos sistemas diferentes, pero en ambos casos, los cuerpos caen en un medio resistivo y las fuerzas que establecen la dinámica de sus movimientos son análogas entre ellas.

De esta manera, los estudiantes recuperan experiencias tratadas en el sistema anterior para aplicarlas al nuevo sistema. Experimentalmente, el nuevo sistema manifiesta nuevas problemáticas, pero el análisis del nuevo sistema se facilita para los estudiantes al aplicar análisis análogos a los del sistema anterior.

En las fases de experimentación, modelación y predicción del ciclo de aprendizaje hay varios elementos que se mantienen independiente del sistema mecánico que se estudia: (a) La toma de datos por medio del vídeo, (b) la captura y análisis de datos por medio de Tracker, un programa de computo diseñado para este fin, (c) el desarrollo de la solución de la ecuación de movimiento por métodos numéricos en una hoja de cálculo, (d) el análisis de la comparación gráfica de los resultados de la solución numérica y los datos experimentales en la misma hoja de cálculo y (e) la variación de parámetros de la ecuación de movimiento para la realización de predicciones, todos estos elementos, se repiten en cada aplicación del ciclo de aprendizaje, reforzando en cada repetición las habilidades de pensamiento y las destrezas prácticas de los estudiantes.

VII. CONCLUSIONES

Un ciclo de aprendizaje de cuatro etapas: exploración, experimentación, modelación y predicción, se ha propuesto para el aprendizaje de los sistemas mecánicos en el curso de Laboratorio de Mecánica de la carrera de Física. Para valorar la efectividad del ciclo de aprendizaje en los aprendizajes de los estudiantes, se han propuesto examinar las habilidades y destrezas prácticas e intelectuales que los estudiantes desarrollan, o por lo menos se espera que desarrollen en el ejercicio del ciclo de aprendizaje. Específicamente, se ha elegido la taxonomía revisada de Bloom, como marco teórico, para ubicar estas habilidades y destrezas dentro de esquema concreto que sirva para su valoración.

Esta valoración, se ha hecho en este escrito, en un caso concreto de un sistema mecánico, en donde se estudia el movimiento de caída de cuerpos en el aire. El modelo teórico se ha dado desde el principio, para dar a comprender como se lleva a cabo el ciclo de aprendizaje y su valoración mediante las habilidades y destrezas prácticas y de pensamiento.

Explícitamente las habilidades y destrezas prácticas y de pensamiento que se desarrollan en el ejemplo de la caída de cuerpos en el aire, se ubican dentro de la matriz bidimensional que Anderson y Krathwohl plantean en su revisión de la taxonomía de Bloom, para dar un enfoque concreto de cómo estas habilidades y destrezas se valoran en la realidad práctica de la clase del laboratorio de Mecánica.

En esta forma se valora el proceso del ciclo de aprendizaje que considera dos subprocesos, el inductivo y el deductivo que convergen en la representación gráfica de las variables que definen el comportamiento del sistema mecánico en el tiempo.

La aplicación de este ciclo de aprendizaje por los estudiantes, facilita que ellos desarrollen sus habilidades y destrezas prácticas y de pensamiento en el aprendizaje de la dinámica de los sistemas mecánicos a un nivel de abstracción elevado a partir de hechos concretos y tangibles.

REFERENCIAS

- Anderson, L. W. & Krathwohl, D. R. (Eds.). (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: a revision of bloom's taxonomy of educational objectives*. New York: Longman.
- Ennis, R. (1962). A concept of critical thinking. *Harvard Educational Review*, 32, 81-111.
- Ennis, R. (1987). A taxonomy of critical thinking dispositions and abilities. In: J. Baron & R. Sternberg (Eds.). *Teaching thinking skills: theory and practice*. New York: Freeman.
- Ennis, R. (1991). Critical thinking: a streamlined conception. *Teaching Philosophy*, 14, 5-25.
- Ennis, R. (1996). *Critical thinking*. Englewood Cliffs-USA: Prentice Hall.
- French, A. P. (1978). *Mecánica newtoniana*. MIT Physics course. Barcelona: Reverté.
- González, H. A., Mora, C. & Segarra, A. Ma. del P. (2013). *Ciclo de aprendizaje para el estudio experimental de Sistemas dinámicos de la Mecánica Clásica*. Conferencia de la Asociación Latinoamericana de Investigación en Educación en Ciencias. LASERA 2013, Manaus, Brasil, 22 – 25 de octubre de 2013.
- González, y H. A., Ponce, R. I., Segarra, A. Ma. del P. & Mora, C. (2014). *Model of steel balls falling in a fluid*. The International Conference of Physics Education. Cordoba, Argentina, August 18-22.
- Hager, P., Sleet, R. P. & Logan, H. M. (2003). Teaching critical thinking in undergraduate science courses. *Science & Education*, 12, 303–313.
- Krathwohl, D. R. (2002). A revisión of bloom taxonomy: an overview. *Theory into practice*, 41, 212–254.
- Lawson, A. E. (1994). Uso de los ciclos de aprendizaje para la enseñanza de destrezas de razonamiento científico. *Enseñanza de las Ciencias*, 12, 165-187.
- Lawson, A. E. (2002). Chapter 4, The learning cycle. In: Fuller, R. G. (Eds.). *A love of discovery. Science education. The second career of Robert Karplus*. New York: Klumer Academic/Plenum Publisher.
- Marek, E. A. (2008). Why the Learning Cycle? *Journal of Elementary science Education*, 20, 63–69.
- Sala, A. & Bondía, J. (2000). *Comportamientos dinámicos de sistemas*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.