

Propuesta para la Enseñanza de la Caída de los Graves

Proposal for the Teaching of the Free Fall

DOI <https://doi.org/10.33262/rmc.v8i3.2308>

Alberto Sánchez Moreno¹

Centro Interdisciplinario de Investigación y Docencia en Educación Técnica, México



<https://orcid.org/0000-0002-2520-1402>

asanchez@ciidet.edu.mx

José Ricardo Aguilera Terrarts²

Centro Interdisciplinario de Investigación y Docencia en Educación Técnica, México



<https://orcid.org/0000-0001-5086-3259>

raguilera@ciidet.edu.mx

Cecilia Martínez Briones³

Instituto Tecnológico de San Juan del Río, México



<https://orcid.org/0000-0002-2660-289X>

cecilimtz@gmail.com

Omar Jaimes Gómez⁴

Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, México



<https://orcid.org/0000-0001-5059-8184>

omarjaimesg@yahoo.com.mx

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: asanchez@ciidet.edu.mx

Fecha de recepción: 20/02/2023

Fecha de aceptación: 21/05/2023

RESUMEN

La enseñanza de la Física ha recibido la atención de muchos investigadores en los últimos años. Dado el carácter abstracto de los conceptos físicos y lo anti intuitivo de ellos, la verificación experimental no resulta sencilla, y como consecuencia resulta difícil encontrar propuestas didácticas eficaces que permitan mejorar su aprendizaje. Entre los temas de física obligatorios que se enseñan en las instituciones de educación media superior y superior en México se encuentra la cinemática donde se estudia la caída de los graves, también conocida como caída libre. El estudio de la caída libre, aunque de aparente sencillez, representa uno de los retos principales de la didáctica de la Física. En este trabajo presentaremos una propuesta de secuencia didáctica, que considera a la historia, el aprendizaje basado en problemas y la experimentación, para la enseñanza de la caída libre. También se presenta un diagnóstico de la situación en la que se encuentran los estudiantes del Instituto Tecnológico de San Juan del Río con respecto a este tema.

PALABRAS CLAVE: Métodos de enseñanza y estrategias, Teoría del aprendizaje y enseñanza de la ciencia, Mecánica Newtoniana.

ABSTRACT

The teaching of physics has received the attention of many researchers in recent years. Given the abstract nature of the physical concepts and the anti-intuitiveness of them, the experimental verification is not simple; therefore, it is difficult to find effective didactic proposals that allow improving their learning. Among the physics mandatory subjects that are taught in high school and universities in Mexico is the kinematics where you study the fall of the bodies, also known as free fall. The study of the free fall, although of apparent simplicity, represents one of the main challenges of the didactics of physics. In this paper we will present a proposal of didactic sequence, which consider historical fact, the problem based learning and experimental aspects, to teach free fall concept, as well as a diagnostic about the situation of the students of Technological Institute of San Juan del Río with respect to this topic.

KEYWORDS: Teaching methods and strategies, Learning theory and science teaching, Newtonian mechanics

INTRODUCCIÓN

La importancia del conocimiento de los conceptos e ideas de la mecánica clásica se ponen de manifiesto hoy en día al ser una de las asignaturas obligatorias en las instituciones educativas de nivel medio superior (López, Flores y Gallegos, 2000; Suárez y López-Guazo, 1996), por considerarse que la ciencia sirve, es útil, y es una parte insoslayable del avance de la sociedad, no solo en los términos abstractos del “conocimiento” sino también en resultados concretos, y en las asignaturas del nivel superior que se imparten en carreras relacionadas con la ciencia e ingeniería (Ferreyra y González, 2000; Tanamachi y Ramos, 2015), ya que la física es la base de la tecnología, y por tanto, fundamental en la formación de sus estudiantes.

Lo anterior, ha llevado a poner especial atención en la didáctica de esta área del conocimiento, de modo que se han escrito una gran cantidad de trabajos relacionados con el proceso de enseñanza-aprendizaje de la física, en particular los relacionados con la parte de la mecánica clásica conocida como cinemática (Gómez, 2011; Sánchez, Moreira y Sahelices, 2005; Luna, 2004; Beichner, 1994; López, 1992; Trowbridge y McDermott, 1980).

La cinemática se encarga de describir el movimiento en el espacio sin tomar en cuenta sus propiedades materiales ni las causas que producen dicho movimiento, en particular se estudia el movimiento unidimensional bajo la acción del campo gravitacional cerca de la superficie terrestre conocido como la caída de los graves o caída libre (Hecht, 1998; Halliday, Resnick y Walker, 2009), el cual, no obstante su aparente sencillez, ha sido

motivo de diversos trabajos que atienden la problemática de su enseñanza y aprendizaje (Acevedo, 1989 ; Álvarez, 2012; Vera, Rivera, Fuentes y Romero, 2015).

Por otra parte, si bien no podemos negar que existen cursos que están bien estructurados en cuanto al contenido disciplinar, la mayoría de ellos carecen de la componente didáctica, es decir, se concretan a que el concepto está bien expresado matemáticamente pero difícilmente hay una preocupación en cuanto a que si la manera de dictar la lección ha contribuido a que el estudiante haya comprendido lo explicado.

Las instituciones y sus maestros reconocen que las consideraciones didácticas, en la práctica de la enseñanza de la Física, son indispensable en la labor docente. Así podemos encontrar hoy en día diferentes enfoques para resolver este problema, siendo el constructivismo el de mayores adeptos (Hernández y Yaya, 2010; Meneses, 1992). Una de las hipótesis planteadas desde hace tiempo (Brush, 1969) es aquella en la cual se pretende utilizar a la historia de la ciencia y sus implicaciones como solución de muchos factores que han contribuido a la falta de interés por aprender Física. Se ha comentado, por ejemplo, que una de las razones por la cual el estudiante pierde el interés por aprender Física es porque en la mayoría de los cursos esta asignatura se les presenta a los estudiantes como un conjunto de conocimientos ya terminados y que sólo es necesario aprender a reproducir (teóricamente) y verificar (experimentalmente) que éstas son correctas; sin embargo, conocer la evolución histórica de los conceptos dejaría en claro que la Física es una labor que permite la construcción de conocimientos que nos ayudan a resolver problemas, pero sobre todo, que no es una tarea acabada sino en continua evolución. Además, conociendo la historia de los descubrimientos científicos se puede dar una sensibilización del quehacer de la Física, ya que la historia puede mostrar las dificultades y vicisitudes que los hombres de ciencia tienen durante su trabajo científico. Así pues, la historia de la ciencia representa un apoyo invaluable durante el proceso de enseñanza y aprendizaje de la Física (Gagliardi y Giordan, 1986).

En este trabajo se presenta una propuesta de enseñanza del tema caída de los graves basada en la observación experimental, el uso de problemas y la historia de la ciencia.

El trabajo está organizado en su desarrollo de la siguiente manera: En la sección I presentamos una breve revisión sobre los enfoques didácticos de aprendizaje por descubrimiento; en la II, el uso de problemas como herramienta didáctica; en la sección III discutimos, desde un punto de vista histórico y disciplinar, el fenómeno de la caída libre; en las sección IV se presenta un diagnóstico sobre la comprensión que los estudiantes del Instituto Tecnológico de San Juan del Río (ITSJR) tienen acerca de la cinemática de la caída de los graves; finalmente, en la sección V integramos la propuesta didáctica para la enseñanza de la caída libre. Finalmente, se presenta un apartado para las conclusiones donde se integran las ideas desarrolladas.

DESARROLLO

Propuestas para Enseñar Física

Numerosas investigaciones sobre la problemática de la enseñanza de la física, y de la ciencia en general, (Hammer, 1994; Linder, 1993; Carrascosa y Gil, 1985; Pozo, Sanz,

Gómez y Limón, 1991) han llevado a concluir que las principales causas para que el estudiante no aprenda ciencia son sus concepciones epistemológicas, sus estrategias de razonamiento y la metacognición. La primera se refiere a considerar la idea equivocada de que para aprender ciencia es únicamente necesario el conocimiento de las ecuaciones y las definiciones que describen los conceptos físicos, dejando a un lado la comprensión de las mismas; la segunda, implica las dificultades que el alumno tiene al resolver los problemas debidos a que las estrategias que utiliza no corresponden a las de la ciencia y están basadas en su conocimiento intuitivo del medio que lo rodea; finalmente, el problema de la metacognición, toma en cuenta que el estudiante no solamente posee falsos conceptos sino que no se da cuenta ello, lo cual provoca interferencia en su aprendizaje (Baker, 1991).

Por otra parte, existen estrategias de enseñanza (García y Cañal, 1995) las cuales se definen como un conjunto de acciones que se llevan a cabo para lograr el aprendizaje significativo (Moreira, 1999), en el caso de la enseñanza de la ciencia y en particular de la física, estas estrategias deben considerar diversos factores como lo son los ya mencionados en el párrafo anterior. A continuación, describiremos brevemente cada una de ellas.

I. Aprendizaje por Descubrimiento

El aprendizaje por descubrimiento postula que la enseñanza debería basarse en el planteamiento y resolución de situaciones abiertas en las que el alumno, guiado por el docente, pueda construir los principios y leyes científicas (Bruner, 2006). En el aprendizaje por descubrimiento los estudiantes tienen una participación activa interactuando entre ellos, con el profesor, con los contenidos estudiados y con su propia estructura cognitiva, y es a través de esta interacción, que construyen su conocimiento o los significados (Baro, 2011), siendo más efectiva mientras el profesor sea el de menor interacción. En resumen, el aprendizaje por descubrimiento nos dice que el alumno será capaz de construir su propio conocimiento mediante la guía de un buen profesor, situación que se asemeja el pensamiento socrático que consideraba que las personas ya vienen con todos los conocimientos al momento de nacer, y que aprender era solo recordar mediante preguntas del maestro (Platón, 1984, p.214).

Por otra parte, la teoría del aprendizaje por descubrimiento presenta problemas al dejar la impresión de que los conceptos y leyes de la ciencia pueden ser redescubiertos, aprendidos y comprendidos tan sólo apegándonos a su método, lo cual es falso, ya que la historia nos dice que para llegar a un concepto físico fue necesario algo más que sólo una metodología, por ejemplo: ¿qué pasaría si dejáramos que un estudiante intentara por sí mismo encontrar la ley de la inercia?, seguramente que su conclusión estaría más cerca de la explicación Aristotélica que de la Galileana. En el caso de la física es extremadamente difícil descubrir el conocimiento por uno mismo, por esta razón, en casi todos los casos es necesaria la intervención directa del profesor; además, la teoría del aprendizaje por descubrimiento muestra una organización, transformación y empleo del conocimiento como un producto ordenado e integrado, que no es la manera como la historia nos indica que se construye la ciencia, piense por ejemplo en las leyes de Kepler

¿realmente se descubrieron en el orden en que nos las enseñan? (Koestler, 1986). De esta manera el aprendizaje por descubrimiento no ha estado exento de críticas (Hodson, 1994; Ausubel, Novak y Hanesian, 1983); empero, se reconoce que esta propuesta de enseñanza coadyuva en la formación de los estudiantes ya que fomenta la responsabilidad de su propio aprendizaje, le da una perspectiva de cómo trabaja la ciencia, lo disciplina en la observación científica, fomenta la reflexión y la crítica, todas ellas características importantes en el proceso de enseñanza aprendizaje de la ciencia, y en particular de la física. De esta manera si se pretende utilizar la estrategia de enseñanza por descubrimiento se debe considerar al maestro como un elemento de fuerte interacción en el proceso de enseñanza aprendizaje.

En este trabajo consideraremos este método de enseñanza como parte de la propuesta para la enseñanza del fenómeno de caída libre al proponer que el estudiante enfrente una serie de experiencias y, guiado por el profesor, se detone el conflicto cognitivo (de la Torre, 2001) que nos permitirá conocer la naturaleza de las dificultades que tiene para la comprensión del concepto o en su caso comprobar que posee los conocimientos necesarios para comprender y entender lo que se le pretende enseñar.

II. Aprendizaje Basado en Problemas

El Aprendizaje basado en problemas, denotado en español generalmente por sus siglas (ABP) surge en la escuela de medicina en la Universidad de Case Western Reserve en los Estados Unidos y en la Universidad de McMaster en Canadá en la década de los 60's (Font, 2004) con el objetivo de mejorar la docencia en medicina postulando que una mejor manera de aprender es a través de la solución de problemas vinculados con la vida real y que para su solución sea necesaria la intervención de diferentes disciplinas.

En el ABP, se busca que el conocimiento sea adquirido promoviendo que el estudiante resuelva problemas o situaciones problemáticas por medio de la dirección del docente (Díaz-Barriga, 2006). En nuestra opinión esta técnica presenta una gran semejanza con lo que se busca con el aprendizaje por descubrimiento, es decir, que el estudiante descubra el conocimiento científico por sí mismo a partir de la experimentación; de esta manera el alumno no solo aprende, sino que pone en práctica procesos de razonamiento en torno a la actividad profesional (Lazo y Zarchary, 2001).

En el ABP el maestro debe seleccionar los problemas que orientarán el aprendizaje del estudiante, y éste a su vez, utilizará para su solución diferentes fuentes de información y contenidos relevantes en la disciplina que está estudiando, no solamente la orientación docente. Así, entre mayor número de problemas resuelva, mayor será su aprendizaje.

Las ventajas que se atribuyen al ABP son las siguientes (Birch, 1986):

- Enseña a los estudiantes a afrontar la búsqueda de soluciones a situaciones problemáticas, situación común en la ciencia.
- Hace explícita la aplicación de los conocimientos teóricos a situaciones de la vida real, y por tanto fomenta la percepción de la utilidad de los mismos.
- Contribuye a incrementar la motivación intrínseca del conocimiento al mostrar su utilidad en la aplicación.

- Consigue una mejor integración de los conocimientos declarativos y procedimentales, ya que existe una interrelación continua entre teoría y aplicación práctica.

Entre las dificultades que se han planteado con respecto a esta estrategia de enseñanza se encuentran: La complejidad para seleccionar la secuencia de problemas, convencer a los alumnos para que hagan suyos los problemas elegidos por el docente, el tiempo de dedicación y el proceso de abstracción que deben llevar a cabo los alumnos por sí mismos. En general, podemos decir que el ABP busca que el alumno, al dar respuesta a los problemas planteados, consiga un aprendizaje significativo de los conceptos de la ciencia y comprenda que para ello fue necesario considerar otras áreas del conocimiento. En este sentido, el presente trabajo presenta una propuesta de enseñanza que utiliza el ABP al proponer una serie de problemas que se orienta al aprendizaje del concepto de caída libre.

III. El Uso de la Historia en la Enseñanza de las Ciencias

Uno de los primeros argumentos sobre el papel de la historia para promover la comprensión de los conceptos científicos en la enseñanza de las ciencias fue concebido por Ernst Mach quien pensaba que la "...investigación histórica no sólo promueve la comprensión de lo que ahora existe, sino que también nos abre nuevas posibilidades" (citado en Matthews, 2019, p. 163), y citaba como ejemplo que al estudiar a los autores del pasado podemos entender cómo los hombres ubicados en circunstancias distintas se forman juicios muy diferentes a los nuestros (Mach, 1886/1986, en Matthews, 2019, p. 163). Para Mach la historia nos permite ubicarnos en una tradición de pensamiento, y comprobar en qué forma sus conceptos y sus estructuras conceptuales están condicionados por ella. Otra referencia con respecto a la importancia de la historia en la enseñanza de la ciencia la podemos encontrar en un libro de Ludwik Fleck donde se lee que las concepciones de la ciencia moderna son también productos surgidos históricamente y que no pueden ser entendidos sin recurrir a su desarrollo histórico (Fleck, 1986, p.27).

Estos ejemplos nos indican que una de las razones que se tienen para incluir la historia en la enseñanza de la física es porque ayuda a comprender mejor los métodos y conceptos de la ciencia.

También se ha argumentado (Wandersee, 1985) que conocer el desarrollo histórico de una disciplina puede ayudar a los maestros a anticipar y comprender las dificultades de los alumnos contemporáneos para aprender temas, ya que estos obstáculos pueden ser los mismos o parecidos a los encontrados durante la evolución de los conceptos, y de esta manera formular métodos didácticos, como preguntas y/o experimentos, que coadyuven al cambio conceptual del estudiante.

La historia también contribuye a contrarrestar la idea de que la ciencia es aburrida, ya que conocer la vida de las personas que contribuyeron al desarrollo de la ciencia, sus éxitos, sus fracasos y el entorno social y político en el que vivieron resulta interesante y motivador. En otras palabras, la historia al examinar la vida y época de los personajes que

desarrollaron la ciencia, la humaniza y la vuelve menos abstracta y más atractiva para los alumnos.

Finalmente, la historia permite entender que la ciencia siempre ha estado vinculada con otras ramas del conocimiento (Holton, 1978), ya que se ha desarrollado acompañada de la matemática, la filosofía y la teología entre otras. Utilizar la historia en los cursos de ciencia ayuda a los estudiantes a entender esta relación entre conocimientos y les permite entender por qué para aprender ciencia, es necesario saber de matemáticas, filosofía o literatura; además, si se logra que los docentes aprecien esta aportación de la historia de la ciencia, se entenderá la necesidad de la comunicación y la colaboración entre los maestros de ciencias con los maestros de otras asignaturas, lo que podría contribuir a un mayor interés de los estudiantes a través de ejemplos interdisciplinarios.

La propuesta de enseñanza que se presenta en este trabajo tiene una fuerte componente histórica, ya que el fenómeno de la caída libre es uno de los mejores ejemplos en que la historia de la ciencia juega un papel fundamental.

La Caída de los Graves

El problema de entender y explicar por qué los objetos caen no fue una tarea sencilla, desde Aristóteles hasta Galileo muchas mentes brillantes estuvieron preocupadas por explicar este fenómeno natural. En esta sección mencionaremos brevemente, tres momentos que involucran el desarrollo del fenómeno de la caída libre.

a. Aristóteles

Nuestra idea moderna de movimiento tiene su origen en la Grecia antigua, en particular del pensamiento de uno de los más grandes personajes que han existido en la historia de la humanidad, Aristóteles. Nacido en Macedonia en el año 384 a.C., estudió en la Academia, escuela fundada por Platón y después de vivir una temporada en la isla egea de Lesbos regresó a Macedonia para ser el maestro de Alejandro Magno (Gutiérrez, 2008; Fernández y Tamaro, 2004); su obra comprende diversos temas como son la astronomía, zoología, los sueños, la metafísica, la lógica, la ética, la retórica, la política, la estética y la física (Aristóteles, 2008). Lo que distingue la obra de Aristóteles es que utiliza la razón y no la inspiración para justificar sus conclusiones lo que lo sitúa como alguien extremadamente perspicaz, agudo y avanzado para su tiempo (Hankinson, 1995). Otra característica fundamental del pensamiento aristotélico es la distinción entre lo natural y lo artificial, como se deduce del libro II de su física, donde distingue las cosas que son por naturaleza de la que son por otras causas (Aristóteles, 2008, p. 128).

Aunque pareciera que para Aristóteles lo que más llamaba su atención era lo natural, hay evidencia que lo artificial también era importante para él, por ejemplo, observo que había una demora entre el golpeo de los remos de un bote con el agua y escuchar el sonido que produce, de donde concluyó que la velocidad del sonido era finita, aunque este era un resultado de la observación y no de la intención de realizar un experimento, en el enfoque moderno que conocemos hoy en día, es en este sentido en el que se dice que Aristóteles no realizaba experimentos.

Esta distinción entre lo natural y lo artificial fue en lo que Aristóteles fundamentó sus explicaciones acerca del movimiento de proyectiles y la caída de los graves. Aristóteles enseñaba que los cuerpos sólidos caen debido a que el lugar natural del elemento tierra es hacia abajo, de este modo, una piedra recogida del suelo y soltada en el aire tendería a regresar al piso, que es su lugar natural y una vez que lo hubiera logrado se quedaría ahí en reposo. Es importante aclarar que para Aristóteles no existía el concepto de peso como lo conocemos en la actualidad, como la fuerza gravitacional sobre un cuerpo. Para Aristóteles la caída de los cuerpos se debía a una cualidad que tenían, y los llamaba graves, y eran los objetos del mundo sublunar (Erazo, 2013), formados esencialmente de los elementos tierra y agua. La física de Aristóteles también nos enseña que la velocidad de caída de los graves está en relación directa con su peso, es decir, a mayor peso mayor velocidad de caída, que el medio en el que caen los objetos ofrece una resistencia a la caída la cual actúa en proporción inversa, es decir que, a mayor resistencia menor velocidad, y que para dos cuerpos que caen en el mismo medio la relación entre sus pesos determina la proporción entre sus velocidades, esto se puede deducir del libro IV de su física, donde explica por qué un cuerpo se desplaza más rápidamente que otro (Aristóteles, 2008, libro IV, p.255). O de su tratado *Sobre el Cielo*, donde se dice que “...si tal peso se mueve tal <distancia> en tanto tiempo, tal otro <mayor> lo hará en menor tiempo, y los tiempos estarán en razón inversa a los pesos” (Aristóteles, 1996, p-36). Finalmente, podemos mencionar que en la filosofía Aristotélica los cuerpos dotados de gravedad se moverán hacia el centro del universo, que es la tierra, debido a que obedecen a una causa final determinada por su naturaleza.

b. El Ímpetus

La idea del ímpetus nació como una alternativa para explicar el movimiento (Prieto, 2009). La teoría del ímpetus planteaba que éste era una especie de capacidad que se podía transmitir o que poseían los cuerpos y que era la causa del movimiento, ya sea natural o artificial (violento). La historia cuenta que el primero en concebir esta idea fue el astrónomo y matemático griego Hiparco de Nicea (190-120 a.C.) alrededor del siglo II a.C. Hiparco argumentaba que cuando uno levanta un objeto a cierta altura esta acción impregna al objeto con cierta fuerza (fuerza impresa) o ímpetus, después de soltarlo, este ímpetus se va perdiendo, va disminuyendo, con la caída hasta agotarse, esta explicación resulta muy interesante ya que la combinación de este ímpetus con el peso del cuerpo, explica por qué el objeto se acelera, ya que al principio el ímpetus y el peso están equilibrados, pero conforme cae el ímpetus disminuye (Peduzzi, y Zylbersztajn, 1997). Después de Hiparco se sabe que el filósofo y astrónomo Bizantino Filopón, de Alejandría (490-566 d.C) en el siglo VI, considera al ímpetu para explicar el movimiento de los objetos. Para Filopón cuando un proyectil se encuentra en movimiento o un objeto en caída libre sus ímpetus o fuerza impresa disminuirán debido a la resistencia del medio y habrá una tendencia natural del cuerpo a volver a su lugar natural (Evora, 1988), una observación importante de Filopón es la que concierne a la caída de la misma altura de dos objetos de diferente peso, llegando a la conclusión de que Aristóteles se equivocó al afirmar que el objeto más pesado llegará primero a la tierra (Cohen, 1989, p.20).

Existieron otros grandes pensadores como Robert Grosseteste (1175-1253), Roger Bacon (1210-1292), Thomas Bradwardine (1290-1349) y Alberto de Sajonia (1316-1390) que aceptaron la idea del ímpetu; sin embargo, se considera que esta teoría fue elaborada sobre todo por el filósofo francés Jean Buridán (1300 -1358) en el siglo XIV en la escuela de París.

La noción de ímpetu permaneció hasta el siglo XVII, donde aún Galileo la concibe y la considera en sus investigaciones sobre la caída de los graves.

c. Galileo Galilei

La caída de los graves también fue estudiada por Galileo Galilei (1564-1642), quién a partir de la teoría de ímpetus y el modelo hidrostático de Arquímedes pudo describir este movimiento al considerar que la velocidad de caída de un cuerpo no está determinada por su peso absoluto, sino por su peso específico y relativo. Esta distinción entre pesos relativos y absolutos, y la repetida afirmación de que la caída de un cuerpo está en función de su peso relativo en un medio determinado, condujeron a Galileo a pensar que sólo en el vacío es donde los cuerpos tienen un peso absoluto y caen a una velocidad propia (Álvarez, 2012). Para deducir la ecuación que describe el movimiento de caída libre Galileo analizó dos posibilidades: que la velocidad de caída fuera directamente proporcional a la distancia recorrida y que la velocidad de caída fuera proporcional al tiempo.

Considerar que la velocidad es directamente proporcional a la distancia parecería ser la hipótesis natural en el movimiento de caída libre, puesto que nuestra intuición nos dice que si un objeto se deja caer desde una altura y_1 llegará al suelo con una velocidad distinta a la que llegaría el mismo objeto si se deja caer de una altura de $2y_1$. Galileo, en primera instancia, se deja llevar por esta observación; sin embargo corrige, argumentando que si la velocidad fuese proporcional al espacio recorrido en el instante inicial en que se deja caer el objeto, su velocidad es nula y, por tanto, el espacio recorrido también lo es y el cuerpo no cae, lo que es contrario a la hipótesis de su caída. En la actualidad con los conocimientos de cálculo diferencial e integral que poseemos el razonamiento de Galileo se puede plantear de la siguiente manera. Si v es la velocidad de caída del objeto y y su distancia recorrida, entonces, que la velocidad sea directamente proporcional a la distancia recorrida se puede escribir como,

$$\frac{dy}{dt} = ky, \quad (1)$$

donde k es la constante de proporcionalidad. Considerando al tiempo $t = 0$ s, se tenía una altura inicial y_0 y una velocidad inicial v_0 , la solución a la ecuación (1) implica las relaciones

$$y = \frac{v_0}{k} e^{kt}, \quad y \quad v = v_0 e^{kt}. \quad (2)$$

Las ecuaciones (2) nos indican que, si un objeto se deja caer desde el reposo, es decir, sin impartirle ninguna velocidad, entonces,

$$y = 0 \quad , \quad v = 0, \quad (3)$$

de donde concluimos que el cuerpo nunca se mueve. Con respecto a la segunda hipótesis, Galileo plantea que si la velocidad fuera proporcional al tiempo empleado en caer, la aceleración sería constante. En un pasaje de su libro discursos y demostraciones matemáticas en torno a dos nuevas ciencias Galileo comenta que se puede imaginar un movimiento uniforme y continuamente acelerado cuando, durante cualesquiera intervalos iguales de tiempo, se le dan incrementos iguales de velocidad (Galilei, 1914, p.160-162). Veamos esto con mayor detalle con la notación de hoy en día. Si la aceleración a de caída de los graves es constante, tenemos que:

$$v = at. \quad (4)$$

Dado que a es constante, la ecuación (4) nos indica que la velocidad es directamente proporcional al tiempo de caída¹. Es importante aclarar que Galileo estaba influenciado por el pensamiento Euclidiano y por tanto en sus estudios del movimiento siempre utiliza la geometría antes que el álgebra y por lo tanto sus concepciones de espacio, tiempo y velocidad siempre están relacionadas con una representación gráfica (Azcarate, 1984). Recurriendo a las propiedades del movimiento uniforme y al cálculo de proporciones de Euclides, Galileo demuestra que la proporción de los espacios recorridos es el doble de la proporción de los tiempos, o sea la ley cuadrática. Esto en nuestro lenguaje y notación actual sería: la velocidad media es precisamente la media aritmética de las velocidades inicial y final,

$$v_m = \frac{v}{2}. \quad (5)$$

Entonces, conociendo la velocidad media v_m es posible encontrar la distancia recorrida y por el objeto en el tiempo t , esto es,

$$y = v_m t, \quad (6)$$

sustituyendo las ecuaciones (4) y (5) en la ecuación (6) podemos escribir,

$$y = \frac{1}{2} at^2, \quad (7)$$

que es el resultado obtenido por Galileo.

IV. Comprensión de la Caída Libre en Estudiantes del ITSJR

El Instituto Tecnológico de San Juan del Río (ITSJR) es una institución educativa de nivel superior en México perteneciente al Tecnológico Nacional de México (TecNM)². El ITSJR forma profesionales en diferentes ramas de la ingeniería y por tanto, los planes de estudio de las diferentes carreras que oferta la institución contienen muchas asignaturas de física y matemáticas. Por esta razón, maestros e investigadores se encuentran preocupados por el aprendizaje y la enseñanza de estas áreas del conocimiento.

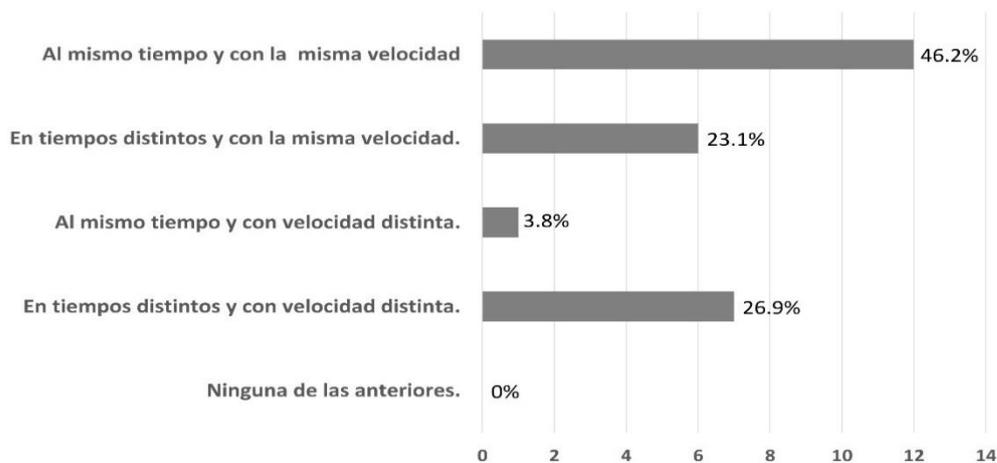
¹ La constante a se denota como g .

² Para mayor referencia de los Institutos Tecnológicos ir a <https://www.tecnm.mx/>

Para conocer de manera preliminar cuál es la situación de aprendizaje del concepto de caída libre en los estudiantes del ITSJR con respecto a la comprensión de este fenómeno, se realizó un cuestionario de 7 preguntas de opción múltiple a 26 alumnos, elegidos al azar, de entre primero y cuarto semestres de las diferentes carreras de ingeniería que se ofrecen en el ITSJR. Como ejemplos de las preguntas realizadas tenemos las siguientes:

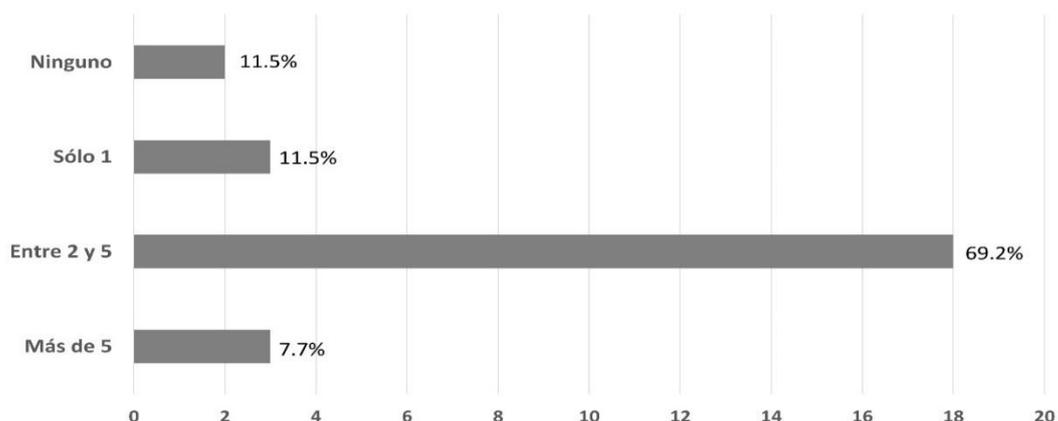
Pregunta: Desde un edificio de 10 pisos se dejan caer al mismo tiempo una bola de boliche y una pelota de pimpón, si despreciamos la resistencia del aire durante la caída, entonces, la bola de boliche y la pelota de pimpón llegan al suelo. Las opciones de respuesta y los resultados obtenidos se muestran en la Figura 1

Figura 1.
Porcentaje de respuesta a la pregunta 1.



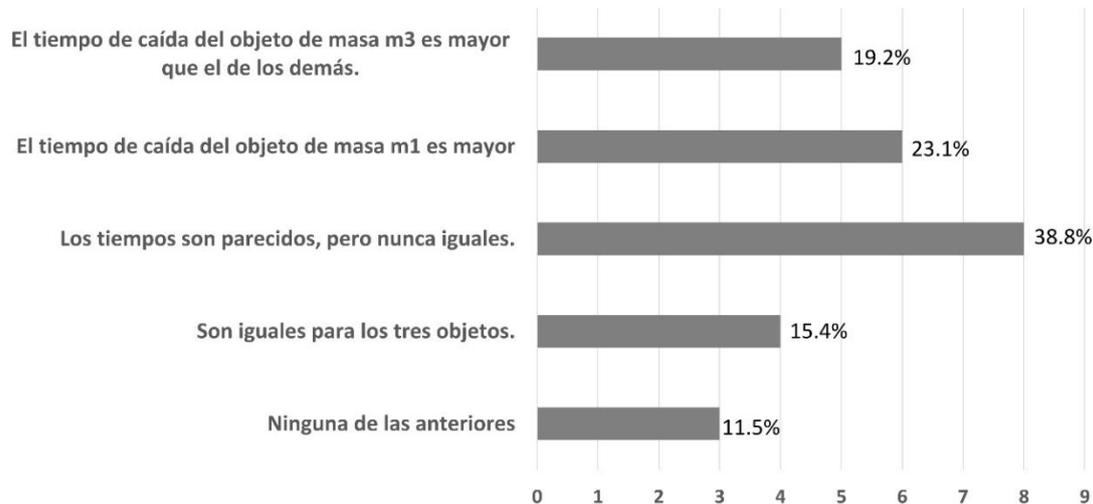
Como podemos observar se tiene un 53.8% de estudiantes que relaciona la rapidez de caída con la masa, y la forma del cuerpo, lo cual resulta preocupante dado que la mayoría de estos estudiantes han llevado entre 2 y 5 cursos de física durante su vida académica, ver Figura 2.

Figura 2.
Porcentaje de número de cursos de física que los estudiantes reconocen haber llevado.



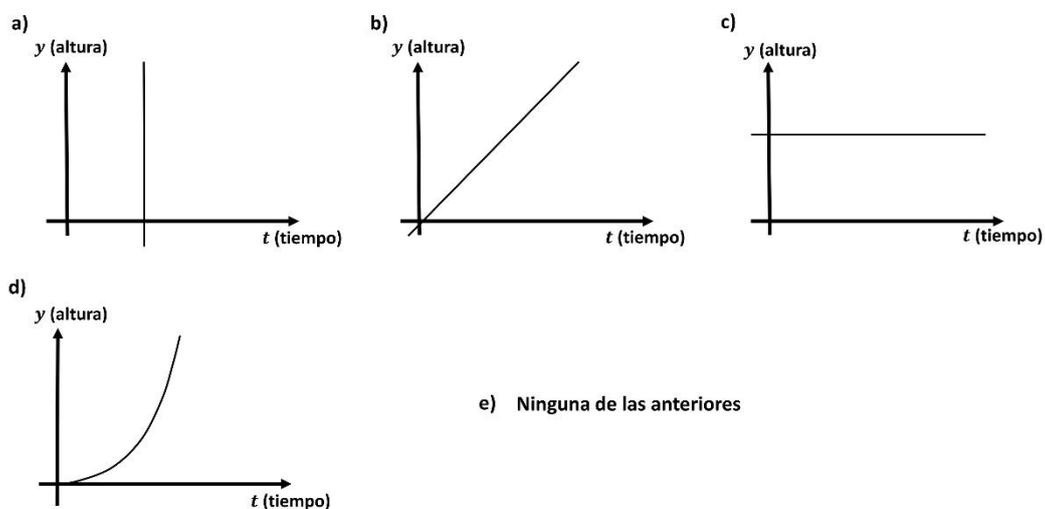
Pregunta: Si se dejan caer 3 objetos de masas m_1 , m_2 y m_3 desde la misma altura y se mide el tiempo que les lleva llegar al piso. Si $m_1 \gg m_2 \gg m_3$, entonces: Las opciones de respuesta y los resultados obtenidos se muestran en la Figura 3.

Figura 3.
Porcentaje de respuestas a la pregunta 3.



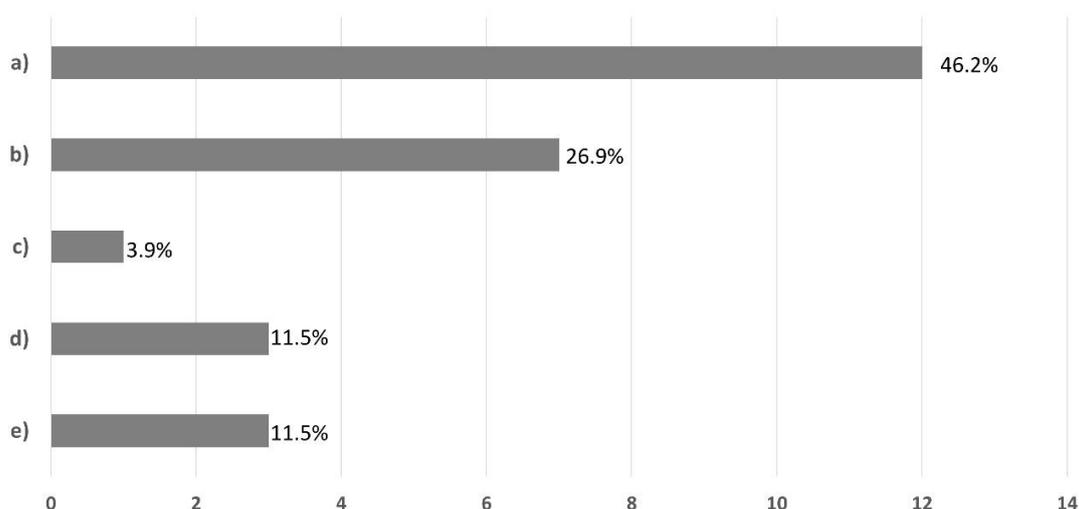
Los resultados nos indican que sólo el 15.4 % de los estudiantes encuestados contestan correctamente la pregunta, lo que nos indica que tienen la idea errónea de la dependencia de la masa en la caída de objetos o bien, no tienen la capacidad de conjeturar que cuando se usan objetos de diferentes masas en los cuales se puede despreciar la fuerza de rozamiento efectuada por el aire, los tiempos de caída son iguales en los tres objetos.

Pregunta: ¿Cuál de las siguientes gráficas describe la caída libre de una piedra desde un edificio de 3 pisos?



Los resultados de esta pregunta se muestran en la Figura 4.

Figura 4.
Porcentaje de respuestas a la pregunta 4.



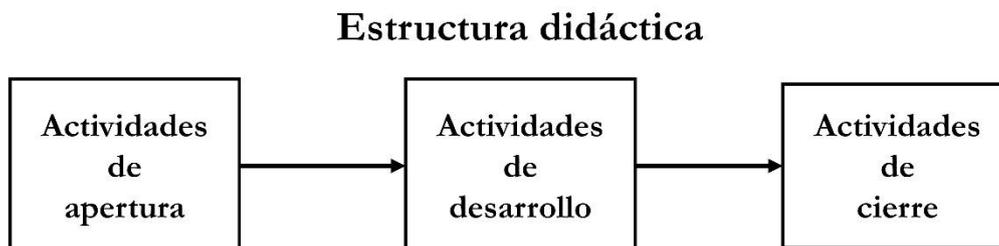
De los resultados de esta pregunta podemos conjeturar que los estudiantes encuestados carecen de la comprensión geométrica del movimiento en caída libre. Cuatro preguntas más fueron planteadas obteniéndose resultados similares, lo que indica, en primera instancia, que a este nivel educativo todavía existe el problema de la comprensión del movimiento de caída libre, y por lo tanto la necesidad de postular propuestas didácticas que coadyuven al proceso enseñanza-aprendizaje de este tema de la física.

V. Propuesta didáctica para la enseñanza de la caída libre

Considerando que una secuencia didáctica en una sucesión planificada de actividades que se llevan a cabo en el aula, ya sea presencial o virtual, y que se deben desarrollar en un determinado período de tiempo (González, Navarro, Reyes y Reyes, 2010), podemos afirmar que el maestro siempre ha utilizado esta metodología en su quehacer docente, ya que, difícilmente podemos encontrar docente responsable que no planee la manera en la que impartirá su curso o clase, pensando siempre en que debe lograr el aprendizaje significativo (Moreira, 1999) de sus alumnos o estudiantes. Sin embargo, en muchos de los casos el docente no siempre es consciente de que así lo ha hecho, por lo que desearía conocer más ejemplos que le permitirán mejorar su docencia; así, este trabajo pretende aportar en este sentido, al proponer una secuencia didáctica para la enseñanza del tema de física caída libre.

Las secuencias didácticas se derivan de una estructura didáctica (ver Figura 5) basada en generar procesos centrados en el aprendizaje (D'Hainaut, 1985). Para elaborar una secuencia didáctica es necesario conocer el programa en el que inscribe, ya sea materia, asignatura, módulo, unidad de aprendizaje o la denominación que el currículo establezca para el trabajo docente (Díaz-Barriga, 2013).

Figura 5.
Componentes de la estructura didáctica.



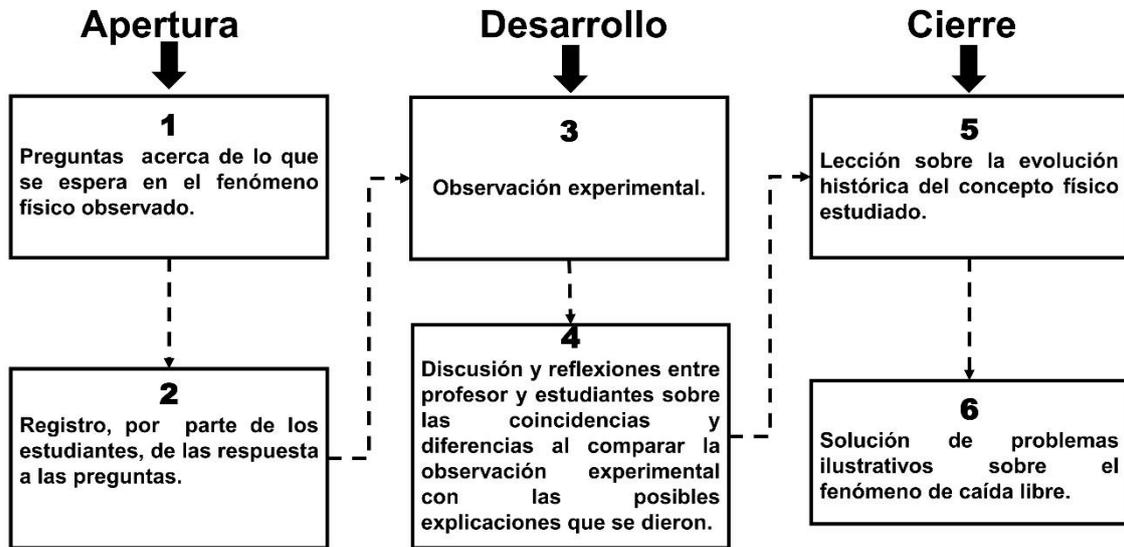
De acuerdo con la estructura didáctica una secuencia didáctica tiene que poseer tres componentes diferenciadas como actividades de apertura, desarrollo y cierre.

Las actividades de apertura son importantes porque sitúan al estudiante en el contexto del aprendizaje, de tal suerte que, deberán ser un elemento de motivación que detone el deseo de comprender y dar respuestas a través de su conocimiento previo o por su experiencia. Esta parte de la secuencias didácticas resulta particularmente complicada puesto que, quien elabora las actividades, lo deberá hacer pensando que éstas sean un reto intelectual para el estudiante.

Las actividades de desarrollo tienen como propósito que el estudiante confronte la nueva información o el nuevo conocimiento con el viejo, esto es, sus conocimientos previos del tema se verán cuestionados o confirmados ante la evidencia experimental o teórica de los conceptos tratados, y de esa manera adquirirá el conocimiento correcto de las cosas, es decir aprenderá. En esta parte de la estructura didáctica, la información puede estar dada mediante la exposición oral del profesor, la discusión de algún artículo o texto, el análisis de un video, la demostración experimental o la utilización de un simulador.

Las actividades de cierre son importantes ya que permiten una integración, organización y confirmación de lo aprendido, lo que se puede llevar a cabo mediante tareas consistentes en preguntas, ejercicios y problemas que el estudiante habrá de realizar fuera del aula o en una discusión final de la clase donde el profesor puede, mediante preguntas directas, propiciar el diálogo y la comunicación intelectual, a fin de verificar hasta qué punto el estudiante ha comprendido; también en determinados casos la actividad se podría concretar en realizar un resumen detallado de cómo el proceso de aprendizaje se llevó a cabo. Un punto importante es que las actividades de cierre podrían contribuir a la evaluación, no sólo del estudiante sino también del curso, cuyo responsable es el docente. Nuestra propuesta didáctica consiste en una secuencia de aprendizaje o secuencia didáctica con la estructura que se muestra en la Figura 6.

Figura 6.
Estructura de la secuencia didáctica



Las actividades de apertura consisten en dos etapas:

- **Etapa 1:** Preguntas acerca de lo que se espera en el fenómeno físico observado.
- **Etapa 2:** Registro, por parte de los estudiantes, de las respuestas a las preguntas.

Estas etapas tienen por objetivo conocer los conocimientos previos del estudiante, así como la manera intuitiva en que perciben los fenómenos de la naturaleza. En ellas, el profesor participa elaborando preguntas que inviten a los estudiantes a cuestionar lo observado, de modo que deben tener la confianza y estar lo suficientemente motivados para responder, de acuerdo a su propio criterio; además, registrar sus respuestas para contrastarlas o compararlas en las etapas siguientes de la secuencia didáctica.

El desarrollo de la secuencia didáctica consta de dos etapas:

- **Etapa 3:** Observación experimental.
- **Etapa 4:** Discusión, profesor-estudiantes sobre las coincidencias y diferencias al comparar la observación experimental con las posibles explicaciones que se dieron previamente.

En estas etapas los estudiantes serán testigos de cómo funciona la naturaleza, lo que posiblemente los llevará a un conflicto cognitivo (de la Torre, 2001) al comparar sus suposiciones o explicaciones dadas previamente contra la evidencia experimental. Finalmente, el cierre consistirá en las etapas siguientes:

- **Etapa 5:** Exposición sobre la evolución histórica del concepto físico estudiado.
- **Etapa 6:** Discusión y solución de problemas que refuercen el conocimiento relacionado con el fenómeno de caída libre.

En esta parte final de la secuencia didáctica, el maestro explicará y deducirá detalladamente las leyes que involucran el fenómeno natural observado, el estudiante confirmará que efectivamente estas leyes describen lo que sucede en la naturaleza. Además, como una parte igualmente importante de esta secuencia, se presentará la historia de cómo los conceptos físicos fueron evolucionando; además, se encargan

problemas que ayudarán a mejorar la comprensión del movimiento de caída libre a través de su solución y discusión.

A continuación, presentamos la secuencia didáctica propuesta, aplicada a la enseñanza de la caída libre.

Etapas 1: Algunas de las preguntas que se le pueden plantear al alumno son:

- Se dejan caer simultáneamente, desde la misma altura, dos objetos de igual masa, pero el primer objeto tiene 5 veces el volumen que el segundo, ¿cuál de los dos objetos tocará primer el piso?
- Si se dejan caer desde la misma altura un tabique y una hoja de papel y observa que el tabique llega primero al suelo, ¿por qué sucede esto?
- Desde una altura de 20 metros se deja caer un libro y una hoja de papel, de las mismas dimensiones del libro, arriba de él, ¿cuál de los dos caerá primero al suelo?

Etapas 2: Posibles respuestas de alumnos: el primer objeto caerá primero que el segundo, porque el tabique es más pesado o el libro porque pesa más.

Mediante esta actividad se pretende detonar las concepciones erróneas de los estudiantes para eliminarlas enfrentando con resultados que las desafían mediante la experimentación. Estas etapas, dan oportunidad al estudiante de formar sus propias ideas acerca del movimiento de caída libre y de formular sus propias explicaciones. También es importante, porque incita a los estudiantes a formular predicciones acerca del fenómeno y de esa manera, tomar conciencia de sus propias concepciones al enfrentar la experimentación.

Etapas 3: Se llevan a cabo los experimentos mencionados en las preguntas, dejando caer desde una misma altura: dos objetos de igual masa y diferente volumen, un tabique y una hoja de papel y un libro con una hoja de papel arriba de él.

Etapas 4: Un posible diálogo sería:

Profesor: Han observado lo que ha sucedido durante los experimentos, ¿sucedió lo que usted esperaba?

Estudiante 1: Definitivamente no, yo esperaba que el objeto de mayor volumen llegara primero al piso, no entiendo porque sucedió esto.

Estudiante 2: En el caso del tabique y la hoja si sucedió lo que Yo creía, esto me indica que mi explicación es correcta, sucede porque el tabique pesa más que la hoja de papel. De esta manera continuaría la actividad.

Etapas 5: Estas etapas corresponden a la sección III

Etapas 6: En esta etapa se puede considerar el siguiente problema:

Problema 1: considere un objeto A de masa m que se encuentra a una distancia h de otro B de masa M que tiene forma esférica,

- a) ¿Qué aceleración sufrirá la masa m ?
- b) Reemplace el objeto de masa m por otro objeto de masa $m' \gg m$, ¿cuál es la aceleración de este nuevo objeto?
- c) ¿De qué depende la aceleración del objeto?
- d) Considere dos objetos de masas $m_1 = 20 \text{ gramos}$ y $m_2 = 5 \text{ Kilogramos}$ situados a una misma distancia de $h = 20 \text{ metros}$ de un objeto esférico de masa $M =$

500 kilogramos, ¿cuál es el valor de la razón $\frac{a_1}{a_2}$ si a_1 y a_2 representan las aceleraciones de las masas m_1 y m_2 respectivamente?

Solución.

a) Consideramos la ley de gravitación universal,

$$\vec{F} = G \frac{mM}{r^2} \hat{r} \quad (8)$$

con \vec{F} y r la fuerza y distancia entre las masas. También, de acuerdo con la segunda ley de Newton,

$$\vec{F} = m\vec{a}. \quad (9)$$

Sustituyendo (9) en (8), y considerando que para este caso $r = h$, tenemos que,

$$\vec{a} = G \frac{M}{h^2} \hat{h} \quad (10)$$

b) Considerando el mismo procedimiento que en el inciso a) obtenemos las relaciones,

$$\vec{F} = G \frac{m'M}{h^2} \hat{h}, \quad \text{y} \quad \vec{F} = m'\vec{a}, \quad \Rightarrow \quad \vec{a} = G \frac{M}{h^2} \hat{h}. \quad (11)$$

c) De la masa M y de la distancia h .

d) De acuerdo con los resultados de los incisos anteriores,

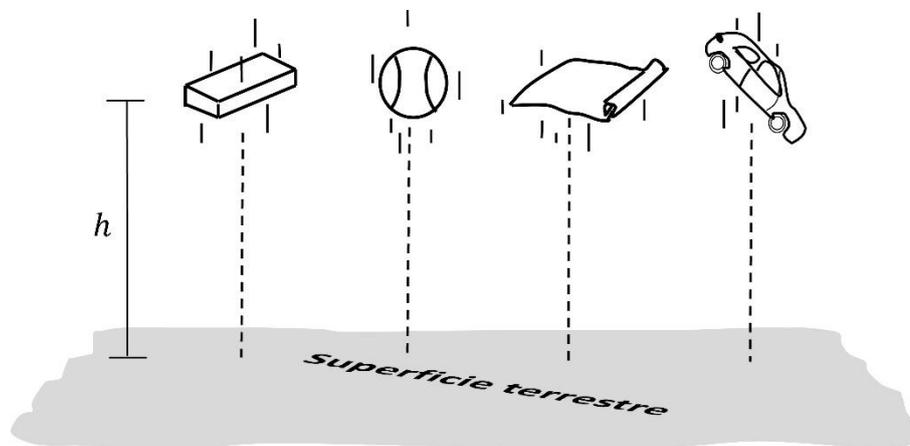
$$\vec{a}_1 = \vec{a}_2 = G \frac{M}{h^2} \hat{h}, \quad \Rightarrow \quad \frac{a_1}{a_2} = 1.$$

Discusión.

A. El profesor y los alumnos se cuestionan sobre la posibilidad de que M sea la masa de la Tierra y las distintas m 's las masas de cualesquiera otros objetos que se encuentran a una altura h de la superficie de la Tierra. Concluyendo que todos los objetos caerán con la misma aceleración, sin importar la masa de ellos.

Figura 7.

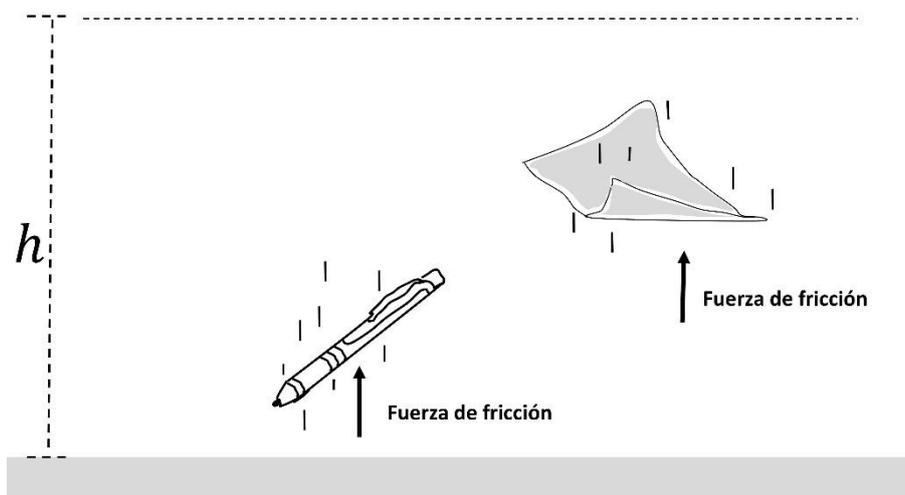
Objetos cayendo desde la misma altura cerca de la superficie de la Tierra.



- B. Profesor y estudiante discuten acerca de por qué entonces en el experimento cae primero un bolígrafo que una hoja de papel. Detonado el conflicto cognitivo y motivando la necesidad de revisar la formulación de la segunda ley de Newton, donde es necesario considerar todas las fuerzas (ecuaciones constitutivas) que intervienen. Concluyendo la presencia de otra fuerza, la de fricción, debida al aire.

Figura 8.

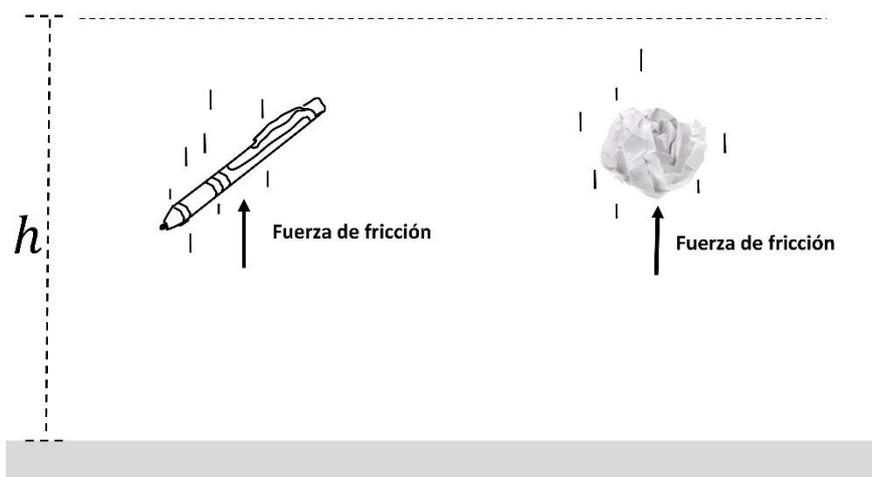
Bolígrafo cayendo antes que la hoja de papel.



- C. Se propone compactar la hoja de papel y repetir el experimento para observar en este caso que el bolígrafo y el papel compactado llegan al piso al mismo tiempo, se concluye que la fuerza de fricción será mayor en cuerpos que tengan mayor superficie de contacto con el aire, es decir rozan más y caerán más despacio, aunque tengan igual masa.

Figura 9.

La hoja compactada y el bolígrafo llegan al mismo tiempo a la Tierra.

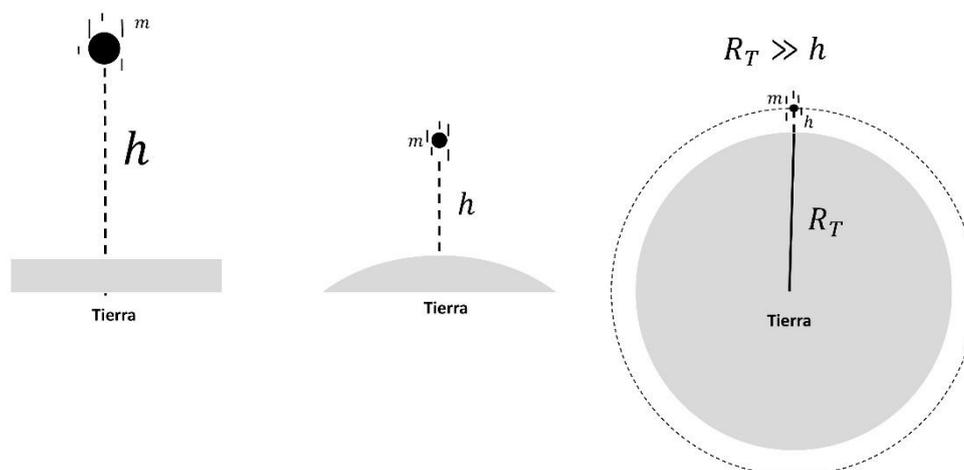


- D. El profesor, mediante un diagrama, motivará a los estudiantes a reflexionar acerca de distancias sobre la superficie de la Tierra comparadas con el radio de la Tierra. Para

concluir que toda distancia cerca de la superficie de la tierra es despreciable en comparación del radio de la misma.

Figura 10.

Las distancias consideradas son mucho menores que el radio de la Tierra.



E. El profesor, tratará de inducir a los estudiantes a sustituir en la ecuación para la aceleración encontrada, los datos de la Masa de la Tierra, la Constante de gravitación Universal y el Radio de la Tierra. Para concluir que esta cantidad es \vec{g} , la aceleración gravitacional cerca de la Tierra.

El radio de la Tierra R_T , la masa de la Tierra M_T y la constante de gravitación universal tiene los siguientes valores:

$$R_T = 6.3782 \times 10^6 m, \quad M_T = 5.9764 \times 10^{34} kg, \quad G = 6.6726 \times 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2}$$

Sustituyendo estos valores en la expresión para la aceleración. $a = G \frac{M_T}{R_T^2}$, obtenemos:

$$a = \left(6.6726 \times 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2} \right) \frac{(5.9764 \times 10^{34} kg)}{(6.3782 \times 10^6 m)^2} = 9.7985 \frac{m}{seg^2}$$

Que es el valor de la aceleración gravitacional de cualquier objeto cerca de la Tierra a la cual denotamos como g .

CONCLUSIONES

En este trabajo hemos presentado una propuesta didáctica para la enseñanza y aprendizaje conceptual del movimiento de caída de los graves. Está inscrita en el uso de la historia, el aprendizaje basado en problemas y el aprendizaje por descubrimiento, se basa en que los alumnos, a través del conflicto cognitivo, su propia experiencia sensorial y la guía docente, entiendan la cinemática de la caída de los graves.

La propuesta aquí presentada es una secuencia didáctica de seis pasos donde se propone que los estudiantes a través de la observación experimental, el entendimiento histórico

del desarrollo de los conceptos y la reflexión, obtengan un aprendizaje significativo de la caída de los graves.

La propuesta que se presenta en este trabajo, también es consistente con algunas de las recomendaciones basadas en las teorías cognitivas sobre la motivación que los estudiantes deben de tener para aprender, considerando que la motivación es fundamental para desarrollar tareas y actividades que les resulten significativas, es decir, los dispone positivamente para aprender (Naranjo, 2009). En este sentido, también aporta la historia, llevando al estudiante a la reflexión y discusión sobre el largo proceso que se ha tenido para entender la física tal y como la conocemos hoy en día.

Por otra parte, en este trabajo también se propone que los experimentos pueden contribuir al cambio conceptual (Nachtingal, 1992), ya que, al establecer situaciones experimentales que contrastan las ideas de los estudiantes, o simplemente al observar el fenómeno físico, se detona el conflicto cognitivo (Duschl & Gitomer, 1991; Grimellini, Pecori, Villani, Casadio & Pacca, 1989), lo que contribuye a modificar sus conocimientos, actitudes, destrezas, habilidades, valores y formas de razonamiento anteriores, que pueden ser erróneos.

La utilización de un diagnóstico de respuestas múltiples, ha permitido identificar la importancia de las dificultades específicas de los estudiantes del Instituto Tecnológico de San Juan del Río. Se investigó la comprensión del movimiento de caída libre en 26 estudiantes mediante 7 preguntas, obteniéndose resultados no muy favorables que nos indican que a pesar de que los estudiantes encuestados han llevado cursos de física, muchos de ellos no comprenden todavía el fenómeno de la caída de los graves. Este resultado indica la importancia de la investigación en didáctica de la física, con el propósito de proponer soluciones que coadyuven al aprendizaje y enseñanza de la física, como la presentada en este trabajo.

Cómo comentario final podemos decir que a pesar de que han pasado más de trescientos años de los trabajos de Galileo sobre la caída de los graves, continúa siendo un reto para los maestros de Física que los estudiantes comprendan la conceptualización de este tema.

REFERENCIAS

- Acevedo, J.A. (1989). Compresión Newtoniana de la Caída de los cuerpos. Un estudio de su evolución en el Bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(3), 241-246.
- Álvarez J.L. (2012). El fenómeno de la caída de los cuerpos. *Revista Mexicana de Física E* 58(1), 36–40.
- Aristóteles (1996). *Acerca del Cielo, Meteorológicos*. Editorial Gredos.
- Aristóteles (2008). *Física*. Editorial Gredos.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D. y Hanesian, H. (1983). *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo* [2ª ed.]. Trillas.
- Azcárate, C. (1984). La nueva ciencia del movimiento de galileo: una génesis difícil. *Enseñanza de las Ciencias*, 2(3), pp. 203-208.

- Baker, L. (1991). Metacognition, reading and science education, en Santa, C.M. y Alvermann, D. (eds.), Science learning: Processes and applications. Newsdale, Delaware: International Reading Association.
- Baro, A. (2011). Metodologías activas y aprendizaje por descubrimiento. *Revista Digital Innovación y Experiencias Educativas*, 40, 1-11.
- Beichner, R. J. (1994). Testing student interpretation of kinematics graphs. *American Journal of Physics*, 62(8), 750-762. <https://doi.org/10.1119/1.17449>
- Birch, W. (1986). Towards a model for problem-based Learning. *Studies in Higher Education*, 11(1), pp. 73-82. <https://doi.org/10.1080/03075078612331378471>
- Bruner, J. S. (2006). The act of discovery. Routledge.
- Brush, S. G. (1969), The role of history in the teaching of physics. *The physics teacher*, 7(5), pp. 271-280.
- Carracosa, J. y Gil, D. (1985). La "metodología de la superficialitat" i l'aprenentatge de les ciències. *Ensenanza de las Ciencias*, 3(2), 113-120.
- Cohen, I.B. (1989). *El nacimiento de una nueva física*. Alianza Editorial.
- D'Hainaut, L. (1985). *Objetivos didácticos y programación. Análisis y construcción de currículos, programas de educación objetivos operativos y situaciones didácticas*. Oikos Tau.
- De la Torre, G. A. (2001). Los conflictos cognitivos en la construcción del concepto de continuo. *Matemáticas: Enseñanza Universitaria*, IX(1), 51-70.
- Díaz-Barriga, A. (2013). *Secuencias de aprendizaje. ¿Un problema del enfoque de competencias o un reencuentro con perspectivas didácticas?* *Profesorado. Revista de Currículum y Formación de Profesorado*, 17(3), 11-33
- Díaz-Barriga, F. (2006). *Enseñanza situada: vínculo entre la escuela y la vida*. McGraw Hill.
- Duschl, R.A. and Gitomer, D.H. (1991). Epistemological Perspective on Conceptual Change: Implications for Educational Practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), pp. 839-858.
- Erazo, F. (2013). Hermenéutica acerca de la caída de los cuerpos. Un modelo filosófico-pedagógico para explicar el vacío tecnológico. *Sophia* 15, 126-146. <https://doi.org/10.17163/soph.n15.2013.04>
- Evora, F.R.R. (1988). *A revolução copernicana-galileana. Epistemologia e História da Ciência* (Vol. 1). Campinas, UNICAMP, Centro de Lógica.
- Fernández, T. y Tamaro, E. (2004). Aristóteles. Biografía. *Biografías y Vidas. La enciclopedia biográfica en línea*. Consultado el 6 de mayo de 2022 desde <https://www.biografiasyvidas.com/monografia/aristoteles/>
- Ferreya, A. y González, E. M. (2000). Reflexiones sobre la enseñanza de la física universitaria. *Enseñanza de las ciencias*, 18(2), 189-199.
- Fleck, L. (1986). *La génesis y el desarrollo de un hecho científico*. Alianza Editorial.
- Font, A. (2004). Líneas maestras del aprendizaje por problemas. *Revista interuniversitaria de formación de profesores*, 18(1), 79-95.
- Gagliardi, R. y Giordan, A. (1986). La historia de las ciencias: una herramienta para la enseñanza. *Enseñanza de las ciencias*, 4(3), 253-258.
- Galilei, G. (1914). *Dialogues concerning two new sciences*. The Macmillan company.

- García, J.J. y Cañal, P. (1995). ¿Cómo enseñar? Hacia una definición de las estrategias de enseñanza por investigación. *Investigación en la Escuela*, 25(1), pp. 5-16.
- Gómez, B. A. (2011). *Enseñanza de los conceptos de la Cinemática desde una perspectiva vectorial con los estudiantes de grado décimo del colegio José Antonio Galán Brian*. Bogotá, 160 p. Tesis.
- González, M. T., Navarro, J. C., Reyes, G., Reyes, M. A. (2010). La secuencia didáctica, herramienta pedagógica del modelo educativo ENFACE. *Universidades*, 46, 27-33.
- Grimellini, T.N., Pecori, B.B., Villani, A., Casadio, C., and Pacca, J.L. A. (1989). *Teaching Strategies and Conceptual Change: The Case of Collisions in Mechanics*. In Annual Meeting of the American Educational Research Associations, S. Frnacisco. C.A
- Gutiérrez, J. (2008). La física. Breve apunte histórico. *Vivat Academia*, (92), 1-56. DOI: <http://dx.doi.org/10.15178/va.2008.92.1-56>
- Halliday, D., Resnick, R. y Walker, J. (2009). *Fundamentos de Física* (4ª Ed., Vol. 1). Editorial Patria.
- Hammer, D. (1994). Epistemological beliefs in introductory Physics. *Cognition and Instruction*, 12(2), pp. 151-183. https://doi.org/10.1207/s1532690xcil202_4
- Hankinson, R. J. (1995). *Philosophy of Science, The Cambridge Companion to Aristotle*. Barnes Cambridge University Press.
- Hecht, E. (1998). *Física 1*, International Thomson Editores, 2ª. Edición, 1998.
- Hernández, C. H. y Yaya R. E. (2010). *Una propuesta constructivista para la enseñanza de la física*, Voces y Silencios: Revista Latinoamericana de Educación, Vol. 1, No. 1, 53-68.
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 299-312
- Holton, G. (1978), On the educational philosophy of the proyect physics course, The scinetific imagination: case studies, Cambridge, Cambridge University Press, pp 284-298.
- Koestler, A. (1986). *Los sonámbulos*. Salvat editores, Barcelona, España.
- Lazo, R. y Zarchy, M. (2001) *El Método Aprendizaje por Problemas (Problem-Based Learning) Aplicado a la enseñanza de la traducción*. Onomázein, 6, pp. 297-307
- Linder, C. (1993). *A challenge to conceptual change*. *Science Education*, 77, pp. 293-300.
- López, A., Flores, F., and Gallegos, L. (2000). La formación de docentes en física para el bachillerato. Reporte y reflexión sobre un caso. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 5(9), 113-135.
- López, C. (1992). *Una revisión sobre los fundamentos generales, primero y segundo problemas de la cinemática*. Momento N0. 6 (1992): 61-70.
- Luna, A. (2004). *Habilidades para la elaboración e interpretación de gráficas de cinemática*. Tesis de Maestría. México: Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas.
- Matthews, M. (2019). *La enseñanza de la ciencia. Un enfoque desde la historia y la filosofía de la ciencia*. Fondo de Cultura Económica.

<https://pdfcookie.com/download/enseanza-de-la-ciencia-un-enfoque-desde-la-historia-y-filosofia-de-la-ciencia-michael-r-matthews-o2n8163n1324>

- Meneses, J.A. (1992). *Un modelo didáctico con enfoque constructivista para la enseñanza de la física a nivel universitario*, Revista Interuniversitaria de formación del profesorado, No 14, pp 93-106.
- Moreira, M. A. (1999). *La teoría del aprendizaje significativo*. Brasil: Universidad Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Física. Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias y Universidad de Burgos, España.
- Nachtigall, D.K. (Ed.) (1992). *Proceeding of the International Conference on Physics Teachers' Education*, Dortmund (Germany).
- Naranjo, M. L. (2009). Motivación: perspectivas teóricas y algunas consideraciones de su importancia en el ámbito educativo. *Revista Educación* 33(2), 153-170
- Peduzzi, L.O.Q. y Zylbersztajn, A. (1997). *La física de la fuerza impresa y sus implicaciones para la enseñanza de la mecánica*, Enseñanza de las Ciencias, 15 (3), 351-359.
- Platón. (1984). *Diálogos*. Porrúa, México, D.F.
- Pozo, J.I., Sanz, A., Gómez, M.A. y Limón, M. (1991). *Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: Una interpretación desde la psicología cognitiva*. Enseñanza de las Ciencias, 9, pp. 83-94.
- Prieto, L. (2009). *Buridán, el impetus y la primera unificación de la física terrestre y celeste*, Thémata. Revista de Filosofía. Número 41.
- Sánchez, I., Moreira, M. A. y Sahelices, C. C. (2005). *Aprendizaje significativo de la cinemática a través de resolución de problemas y uso de cálculo diferencial en estudiantes universitarios*. Enseñanza de las ciencias. Número extra. VII Congreso.
- Suárez y López-Guazo, Laura. (1996). Enseñanza de la Metodología de la ciencia en el Bachillerato. *Perfiles Educativos*, XVIII(73), 1-13
- Tanamachi, G., Ramos, M. (2015). *La Escuela Nacional de Ingenieros y las Ciencias Físicas en los albores del siglo XX*, RMIE, Vol. 20, Núm. 65, PP. 557-580.
- Trowbridge, D.E. y McDermott, L.C. (1980). *Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension*. American Journal of Physics, 48.
- Vera, F., Rivera, R., Fuentes, R. y Romero, D. (2015). *Estudio del movimiento de caída libre usando vídeos de experimentos*, Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias 12 (3), 581-592.
- Wandersee, J. H. (1985), *Can the history of science help science educators anticipate students' misconceptions*, Journal of research in science teaching, vol. 23, núm. 7, pp. 581-597.