



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA
EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR
ESPECIALIDAD EN FÍSICA

RECONOCIMIENTO DE IDEAS INCORRECTAS SOBRE GRAVITACIÓN UNIVERSAL EN ESTUDIANTES DE NIVEL MEDIO SUPERIOR Y ESTRATEGIA DE CORRECCIÓN APOYADA EN APLICACIÓN MÓVIL

TESIS QUE PARA OPTAR POR EL
GRADO DE:

MAESTRO EN DOCENCIA PARA LA
EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

PRESENTA: MARTÍN OSWALDO AGUILAR VACA

TUTOR PRINCIPAL: DRA. YESENIA ARREDONDO LEÓN

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNIDAD
MORELIA

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:

DR. LUIS MIGUEL GARCÍA VELAZQUEZ

DRA. MARISOL FLORES GARRIDO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNIDAD
MORELIA

MORELIA MICHOACÁN, 3 DE DICIEMBRE DE 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por su apoyo incondicional, por estar a mi lado siempre y por todo.

A mi pareja por su comprensión y ayuda para cumplir mis metas.

A la Dra. Yesenia Arredondo León por su invaluable tiempo, apoyo, dedicación e interés en mi trabajo.

A la Dra. Marisol Flores Garrido por su orientación y apoyo.

Al Dr. Luis Miguel García Velázquez, porque gracias a él pude comenzar en tiempo y forma la maestría.

A la Dra. Susana Orozco Segovia, por las correcciones e interés en mi trabajo.

Al Dr. Ernesto Aguilar Rodríguez por sus correcciones y su valioso tiempo.

INDICE

Resumen	4
Abstract	5
Introducción	1
Justificación	6
Objetivos.....	8
Objetivo general:	8
Objetivos específicos:	8
1 Interacción Gravitacional.....	9
1.1 Gravedad	9
1.2 Fuerza.....	19
1.3 Ideas erróneas sobre gravedad.....	21
1.3.1 Idea errónea I : La gravedad no es una fuerza.....	22
1.3.2 Idea errónea II: Los objetos grandes o masivos caen más rápido porque tienen mayor fuerza de atracción	23
1.3.3 Idea errónea III: La gravedad en el espacio depende de la cercanía con el Sol.....	27
2. Fundamentación psicopedagógica.....	30
2.1 Conductismo	33
2.2 Constructivismo y aprendizaje significativo.....	35
2.3 Taxonomía EROA	38
3. Aplicaciones móviles de apoyo en la educación	44
3.1 Trabajos previos.....	47
3.2 Aplicación desarrollada en este proyecto	53
4. Metodología	61
4.1 Contexto local	61
4.2 Estrategia didáctica	64
4.4 Diseño de instrumentos.....	71
5. Análisis de resultados	72
5.1 Análisis de covarianza.....	72
5.2 Análisis de apreciación.....	81
6 Conclusiones	83
7. Bibliografía.....	86
Anexos	90

Resumen

Existen en la actualidad evidencias claras que sugieren que algunas ideas inexactas sobre el tema de gravitación universal y caída libre prevalecen en las mentes de los estudiantes de nivel medio superior, e incluso llegan a permanecer hasta la vida adulta. En el presente trabajo se reconocen algunas de estas ideas inexactas sobre el tema de caída libre y gravitación universal y se propone una estrategia didáctica constructivista, apoyada en la taxonomía Estructura del Resultado de Aprendizaje Observado (EROA) propuesta por Biggs y Collis (1982), así como en una aplicación móvil para ayudar en la comprensión de los temas elegidos.

Para el diseño experimental se propone un grupo control que aborda los temas de gravitación universal y caída libre mediante una estrategia tradicional, y un grupo experimental que aborda los mismos temas desde una estrategia de enseñanza-aprendizaje constructivista basada en la taxonomía EROA y el aprendizaje por descubrimiento a través de una aplicación móvil. Ambos grupos realizan dos pruebas equivalentes, una prueba previa a la intervención y otra posterior a la intervención. Mediante una prueba estadística de análisis de covarianza se concluye que ambos grupos mejoran su desempeño en la prueba posterior. Y, si bien en el grupo experimental, en comparación con el grupo de control, se obtuvieron más aciertos en las pruebas posteriores, se registraron además observaciones cualitativas sobre la percepción del ánimo de trabajo con los estudiantes de ambos grupos, identificando una mayor motivación hacia el aprendizaje en el grupo experimental.

Abstract

There is clear evidence that suggests that some inaccurate ideas on the subject of universal gravitation and free fall prevail in students of upper secondary level, and even remain until adulthood. In the present work some of these inaccurate ideas on the subject of free fall and gravity are recognized, and a constructivist didactic strategy is proposed, supported by the structure of observed learning outcomes taxonomy (SOLO) proposed by Biggs and Collis (1982) as well as in a mobile application to improve the comprehension of this topics.

A control group is proposed for the experimental design, this group learns the subjects of universal gravitation and free fall by means of a traditional strategy. And an experimental group addresses the same issues from a constructivist teaching-learning strategy based on EROA taxonomy and learning by discovery through a mobile application. Both groups perform two equivalent tests, one pretest and one posttest. By means of a statistical test of analysis of covariance (ANCOVA), it is concluded that the groups improve their performance in the posttest, however, the experimental group has a significantly higher performance than the control group. An average difference of 1.3 correct answers on this test.

Introducción

La asignatura de Física es una de las asignaturas básicas a nivel bachillerato y, junto con la asignatura de matemáticas son las asignaturas que históricamente más se les dificultan a los estudiantes. El origen de dicha dificultad radica en lograr que los estudiantes desarrollen un pensamiento abstracto y se familiaricen con las actividades de observación, experimentación, abstracción y predicción dentro de su entorno cotidiano; así como en entender los modelos matemáticos que describen los fenómenos analizados.

Según Gil et al. (1999), en las últimas décadas se ha realizado un desarrollo considerable en cuanto al proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias; sin embargo, varias de las correspondientes investigaciones se han llevado a cabo de manera autónoma e independiente entre sí. De manera análoga, los temas en las aulas son abordados en forma autónoma y fragmentada. Por ejemplo, se hace la separación entre conceptos, resolución de problemas matemáticos y prácticas de laboratorio, pero se falla en reconocer que son herramientas que ayudan a la comprensión de un mismo fenómeno. Esta separación ha dado como resultado una clase teórica que hace que los estudiantes perciban a las ciencias como una realidad distinta y desapegada a la del mundo en el que viven y se desenvuelven.

Un debate inacabado sobre la educación dentro de las aulas es el de la definición del término *aprendizaje*. La concepción que se tiene de la educación como una simple *transmisión-acumulación* de conocimientos e información evidencia la crisis del modelo pedagógico tradicional, modelo que requiere de una actualización ante el crecimiento precipitado del conocimiento contemporáneo, así como la inherente obsolescencia del modelo de transmisión y acumulación. Ante esto, el rol del profesor y el estudiante son modificados (Tünnermann, 2011). Debido al explosivo avance, en las dos últimas décadas, de telecomunicaciones y acceso a diversos medios de información, los estudiantes tienen actualmente la oportunidad de acceder a una gran cantidad de información de manera casi instantánea, hecho que termina desplazando al profesor como acumulador de conocimiento y lo obliga

a cambiar a un papel más activo y estratégico, a la vez que lo libera de su papel como gurú del conocimiento contemporáneo.

Una de las propuestas que apoya el cambio de roles de estudiantes y profesores es la del aprendizaje significativo, teoría desarrollada principalmente por David Ausubel. Para esta teoría, el aprendizaje implica una reestructuración activa de las percepciones y esquemas que el alumno posee previamente en sus estructuras cognitivas (Díaz Barriga Arceo y Hernández Rojas, 2010); es decir, el estudiante debe participar en la reestructuración de sus conocimientos mediante interacciones con el medio que lo rodea; además, el estudiante debe ver en el aprendizaje un beneficio y una utilidad que motiven su actuar, debe además estar ubicado en contextos que le sean familiares, o con los que pueda relacionarlos, e idealmente también debe suponer una utilidad para el sujeto que aprende.

Ante este nuevo entorno que supone el cambio de roles tanto para estudiantes como para profesores, algunos de los conceptos que importan a los educadores en su práctica educativa son la enseñanza y la didáctica que, aunque distintas en esencia, llevan a cabo una tarea similar y a menudo indispensables la una para la otra. Actualmente la Real Academia Española define el término didáctica como “Perteneiente o relativo a la didáctica o a la enseñanza” y “Que tiene como finalidad fundamental enseñar o instruir”. (2001).

Para algunos autores, la didáctica es “el arte de o la ciencia de enseñar o instruir”, (Carvajal, 2009). El término *arte* en esta definición se entiende mejor en el sentido de idealizar la labor docente y una manera de expresar la complejidad de dominar la técnica de enseñanza, más que en el sentido estricto de lo que significa el arte.

Por otra parte, la didáctica se define también como “el campo del conocimiento de investigaciones, de propuestas teóricas y prácticas que se centran sobre todo en los procesos de enseñanza y aprendizaje”, (Zabalza 2009). Para analizar esta definición, la cual pareciera darle a la didáctica el estatus de ciencia, es necesario pensar en lo que todas las ciencias tienen en común. Por ejemplo, el método científico que es el faro guía de las ciencias, ¿realmente se aplica el método

científico en la didáctica o en la práctica docente?, ¿y si se aplicara sería imparcial y libre de influencias? Si bien los docentes experimentamos, y debido a la naturaleza inmediata de la docencia, tenemos oportunidad de comprobar o refutar nuestras hipótesis sobre las actividades que son adecuadas para producir cierto tipo de aprendizaje en el estudiante, no alcanzamos a llevar a cabo un estudio formal, uno que nos lleve a través de todo el proceso de selección de grupos, detección de variables, análisis de resultados, etcétera. Incluso, a veces fallamos en hacer una reflexión sistematizada sobre lo sucedido en el aula. Sin dudas se realiza trabajo formal en el área de la didáctica y la práctica docente con todo el rigor positivista y cuantitativo que el método científico tradicionalmente requiere, pero a nivel escolar y cotidiano, pocas veces se manifiesta este aspecto formal y riguroso de la didáctica o peor aún de la práctica docente como una ciencia, ya sea por la falta de experiencia del docente, o más comúnmente, por la falta de tiempo y recursos para llevar a cabo tan útil tarea de darle el tratamiento formal de ciencia a la didáctica y la práctica docente. Lo que se ve en el día a día es una aplicación un tanto más empírica y cualitativa sobre las actividades que desembocan o no en aprendizaje, pareciese ser más una expresión de una pequeña parte de una ciencia mayor.

Hasta este punto se han referido los términos didáctica, enseñanza y práctica docente de manera muy cercana, y es que, su naturaleza así lo exige. Sin embargo, cada concepto posee sus particularidades distintivas. Grosso modo, según García Cabrero et al. (2008) podemos definir la práctica docente como la actividad que el docente desarrolla al interior del aula, que incluye los tipos de comunicación, las interacciones entre los actores educativos y las actividades de enseñanza-aprendizaje, entre otros. Por otro lado, la práctica educativa se concibe como una actividad dinámica y reflexiva que comprende los acontecimientos ocurridos en la interacción maestro-alumno. Según García Cabrero et al. (2008), la distinción entre práctica docente y educativa es meramente conceptual, en la práctica ambos conceptos convergen. Haría falta entonces presentar una definición más en forma de la didáctica que la diferenciara de las anteriores: La didáctica corresponde a las técnicas de enseñanza que se realizan con el objeto de llevar a cabo o propiciar el proceso de enseñanza, ciertamente, estas técnicas requieren muchas veces trabajar de manera colectiva con otras de la misma índole, lo cual inherentemente

sugiere la necesidad de organización e incluso un método para encaminar al estudiante a través del proceso de enseñanza (Carvajal,2009). Dicho método puede adquirir sin duda distintas tonalidades. El paradigma constructivista, apoyado por las teorías psicogenéticas, nos pudiera sugerir utilizar técnicas para que el estudiante genere su propio conocimiento, interiorizando y abstrayendo determinadas partes de su entorno para construir, a final de cuentas, el conocimiento desde una perspectiva personal (Piaget,1928) hasta el paradigma conductista nutrido por los trabajos de Pavlov sobre el condicionamiento, el cual nos encaminaría a desarrollar técnicas enfocadas en recompensar la memorización en los estudiantes y esperar que de algún modo se transforme en aprendizaje permanente y significativo (Gutierrez,1999).

Volviendo de nueva cuenta al cambio de roles de alumnos y profesores, que supone descentralizar el papel de la memorización y la acumulación de información en la enseñanza, y usarlas como herramientas de apoyo más que como pilares de los procesos de enseñanza aprendizaje, se requiere que los estudiantes tomen un papel más autónomo y responsable sobre su aprendizaje, en especial en la enseñanza de las ciencias, ya que esta requiere de una propuesta que ayude al estudiante a encontrar sentido a lo que aprende y que vea a la ciencia como una disciplina íntimamente ligada con su quehacer cotidiano y no como una disciplina inventada para evaluar y poner a prueba a los estudiantes en las escuelas. La propuesta hecha por Gil et al. (1999) para la enseñanza de las ciencias en la escuela consiste en que los estudiantes pasen de su rol de receptores y espectadores, al papel de *investigadores noveles* que en cooperación con sus semejantes aborden situaciones de interés interactuando con otros equipos, el profesor y la comunidad científica (Ibid. p. 313).

Una herramienta que puede ayudar en esta nueva visión de la enseñanza-aprendizaje, y a la que los estudiantes están expuestos en todo momento, son las tecnologías de la información y comunicación (TIC), estas tecnologías se encuentran disponibles en la actualidad desde múltiples plataformas, como son los dispositivos móviles, recursos web, plataformas multimedios, entre otras, y todas

ellas tienen distintos propósitos. Es tarea del docente discernir entre las TIC que se pueden utilizar en el proceso de enseñanza-aprendizaje para aprovechar el acceso a las tecnologías y la gran cantidad de información disponible. El vertiginoso crecimiento y rol de la tecnología presenta una necesidad de respuesta por parte de los individuos y las instituciones de educación. A medida que se implementan las tecnologías educativas, como plataformas digitales de comunicación, aplicaciones móviles, recursos web, etcétera, se descubren obstáculos de pertinencia e idoneidad sobre el diseño propio de las TIC y sobre la habilidad de los usuarios para aprovecharlas de manera eficiente (Linn, 2017).

Ejemplos de las TIC cuyo uso se populariza cada día son precisamente las aplicaciones para dispositivos móviles. Una aplicación móvil podría ayudar con las dificultades que se presentan durante la enseñanza de la Física aprovechando el atractivo visual e interactivo que estas pueden presentar al usuario capturando su atención y, sobre todo, poniéndolo en un estado receptivo y motivado que lo predisponga positivamente al conocimiento. El presente trabajo tratará de explotar esta característica de las aplicaciones móviles para apoyar en la enseñanza del tema de caída libre del plan curricular de la asignatura de Física.

El presente trabajo ofrece una propuesta para mejorar el aprendizaje de las ciencias, específicamente en el aprendizaje del tópico de gravitación y caída libre de la asignatura de Física de los planes de estudio de bachillerato. El trabajo cuenta con cinco capítulos. El primer capítulo introduce el marco contextual del concepto histórico de gravedad y las ideas previas que pueden dificultar la intervención educativa. El segundo capítulo presenta las teorías educativas seleccionadas que se consideran más pertinentes de involucrar en el proyecto. El tercer capítulo describe el estado del arte de las aplicaciones tecnológicas utilizadas en el área de la educación y presenta la aplicación a utilizar. El cuarto capítulo expone la propuesta de intervención, el diseño de experimento y se presenta una estrategia didáctica, así como la fundamentación de la misma. El quinto capítulo muestra el análisis de los resultados obtenidos, finalmente se presentan las conclusiones y se identifican las áreas de oportunidad.

Justificación

En las asignaturas escolares que corresponden al área de la ciencia, como es el caso de la Física, es de gran importancia integrar actividades de observación, experimentación, abstracción y predicción. Un medio para lograr esto consiste en incluir las actividades experimentales en las tareas de aprendizaje a desarrollar por parte de los educandos. El incluir las actividades descritas permite a los estudiantes establecer conexiones entre la teoría y la aplicación de las ciencias en su entorno cotidiano. Además, les apoya en el desarrollo de habilidades cognitivas como la observación, el análisis y la síntesis.

Desafortunadamente, algunos de los temas de Física en los bachilleratos son abordados en clase desde una perspectiva teórica y poco práctica. En parte por la complejidad que suponen ciertos experimentos, por la falta de materiales y la poca disponibilidad de tiempo.

El tema de gravitación y caída libre presentan al estudiante la oportunidad de experimentar, y como toda actividad experimental, requiere de dispositivos de medición, de materiales, de espacios adecuados y de un tiempo para su estudio. Es en este punto donde las TIC pueden ofrecer una nueva alternativa para la experimentación, ya que se puede acercar a los estudiantes los medios de los que requiere la experimentación por medio de entornos virtuales. A través de una estrategia didáctica se propone el desarrollo de actividades que permitan al estudiante construir su propio conocimiento de manera significativa, a la vez que se integra la actividad experimental de una manera accesible, esto es, mediante una simulación hospedada en una aplicación móvil.

Durante el desarrollo de este trabajo se propone utilizar una aplicación móvil como herramienta de apoyo para la enseñanza del tema de gravitación y caída libre, tópicos sobre los cuales existen algunas ideas erróneas que la enseñanza tradicional no ha podido erradicar. Se propone hacer uso de una plataforma con la que cuentan la mayoría de los estudiantes, su teléfono inteligente, como

herramienta para ejecutar una simulación que ayude en la fase de experimentación, poniendo al alcance del estudiante entornos que, de otro modo serían de difícil acceso.

Objetivos

Objetivo general:

- Identificar en estudiantes de educación media superior, ideas erróneas sobre el tema de gravitación universal y caída libre, y proponer una estrategia para la corrección de estas ideas apoyada en una aplicación móvil.

Objetivos específicos:

- Identificar las ideas previas de los estudiantes sobre el tema de gravitación universal.
- Generar una estrategia didáctica para corregir las ideas erróneas identificadas.
- Diseñar y desarrollar una aplicación móvil como herramienta para la estrategia didáctica.
- Verificar si la problemática se corrige con pruebas previas y posteriores a la aplicación de la estrategia.

1 Interacción Gravitacional

1.1 Gravedad

Desde la antigüedad, el concepto de gravedad ha evolucionado en las distintas épocas en las que han vivido los estudiosos del tema. Quizás el primer personaje que se ocupó del tema, y de quien se tiene registro, fue el filósofo Aristóteles quien vivió en la época en la que se tenía la idea de que las cosas estaban formadas de cuatro elementos fundamentales, (teoría de los 4 elementos: tierra, aire, agua y fuego). Aristóteles explicaba respecto al fenómeno de las cosas que caían, que las cosas *pesadas* estaban conformadas en su mayoría por el elemento tierra el cual *buscaba* su lugar de reposo natural en el centro del Universo (centro de la Tierra). Las cosas que eran más pesadas caerían, por lo tanto, con mayor velocidad hacia el centro de la Tierra. Para los objetos como el agua se suponía que al ser más ligeros que los objetos de tierra permanecían en la parte superior de la corteza terrestre y que los elementos compuestos de aire o el fuego tendrían un comportamiento a la inversa que los llevaría a un movimiento contrario a las cosas de tierra, la proporción en la que un objeto estuviese conformado por los elementos tierra aire agua y fuego determinaría su comportamiento.

El origen etimológico de las palabras gravedad y levitación reconoce el trabajo de Aristóteles. Estas palabras utilizadas en la actualidad son fruto de las traducciones que se hicieron al trabajo de Aristóteles para describir las cualidades de la ligereza o pesadez de los objetos, las palabras originales fueron *gravitas* y *levitas*, pesadez y ligereza, respectivamente (Kavanagh, 2006).

Durante los siglos siguientes no se realizaron muchos avances en el tema de los objetos en caída libre. La instrucción en el ámbito no se limitó mucho más que a la traducción y adaptación de los trabajos previos de Aristóteles. Quizás uno de los pocos científicos que se atrevió a cuestionar las ideas aristotélicas fue Nicole Oresme, quien fue comisionado por el Rey Carlos V de Francia alrededor del 1369 para traducir los trabajos de Aristóteles. Más tarde, Oresme, gracias a sus trabajos

sobre el movimiento acelerado llegó a pensar que no existía ninguna diferencia entre el tiempo de caída de dos objetos de diferente peso (Hallamaa, 2011). No fue sino hasta casi 2 milenios después de su surgimiento que las ideas originales de Aristóteles comenzaron a ser repensadas gracias al trabajo de Galileo Galilei.



Figura 1. Escultura de Aristóteles, filósofo griego. (O.P, 2007)

El lapso tan grande que transcurrió antes de la revisión de las ideas aristotélicas, y su permanencia en muchas de las mentes contemporáneas, se puede explicar con dos ideas principales: la primera es el hecho de que todos los seres humanos experimentamos con la caída libre de los objetos, y es posible que la aceleración de los objetos se confunda con el momentum, el cual es el producto de la masa y la velocidad de un objeto. Bajo esta lógica, un objeto pesado adquiere más momentum que un objeto ligero a la misma velocidad. Es quizás esta idea que se confunde con la aceleración. Todo niño conoce la diferencia entre ser golpeado con una pelota ligera que con una pelota pesada. Para muchos adultos les es fácil identificar que un objeto pesado que cae es más difícil de detener que uno más ligero. Sin duda, debido al empirismo y a la observación subjetiva y sensorial inherente a la interacción natural con los objetos en caída, el momentum pudiese ser confundido con la aceleración a causa de la gravedad. Sin embargo las anteriores observaciones constituyen una idea errónea sobre la fuerza de gravedad.

La segunda idea se refiere al hecho de que con el sentido de la vista que poseemos los seres humanos no podemos notar si dos objetos que se dejan caer de la misma altura caen simultáneamente, o si uno llega primero que el otro. Para apreciar diferencias en el tiempo de caída a simple vista de manera confiable se necesita una altura muy grande, lo cual hace al experimento propenso a modificaciones por la fuerza de fricción entre el objeto y el aire.

Galileo solucionó este problema con una aproximación ingeniosa. El experimento de Galileo consistió en observar la caída libre desde un punto de vista diferente. En lugar de dejar caer un objeto libremente desde cierta altura, desaceleró el fenómeno construyendo un plano inclinado de madera con una pendiente muy ligera y dejó rodar una pequeña esfera cuesta abajo, de este modo el tiempo de *caída* de la esfera podía ser cuantificado de manera más precisa.

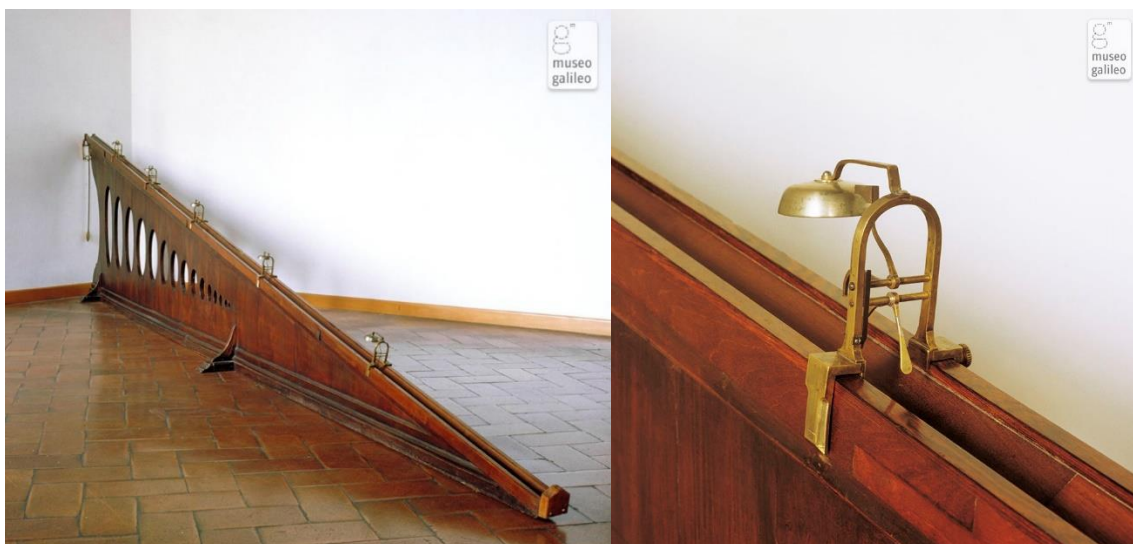


Figura 2. Fotografías del museo de Galileo en Italia: Plano inclinado y detalle de campana. Copyright 2010 Museo Galileo.

En su experimento, Galileo utilizó un reloj de agua y campanas que le permitieron cuantificar el tiempo que le tomaba a la esfera descender por el plano. De estas observaciones surgió la que se conoce como *ley de los números impares* la cual indica que en el primer intervalo de tiempo la esfera recorre una unidad en

distancia; en el segundo intervalo la esfera recorre el triple; en el tercer intervalo la esfera recorre 5 veces esa primera distancia y así sucesivamente. Al disminuir o incrementar la pendiente del plano inclinado, la proporción se mantenía simplemente las distancias recorridas disminuían o aumentaban respectivamente. Al analizar los resultados en una tabla de distancias acumuladas y tiempo transcurrido Galileo descubrió que la distancia recorrida era directamente proporcional al cuadrado del tiempo. Además infirió que este comportamiento podía ser extrapolado al movimiento en caída libre.

Galileo demostró que la aceleración de objetos en caída libre era constante y expuso estas ideas en su trabajo *Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo* (*Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo Tolemaico, e Copernicano*) (1633) la inquisición difirió de su contenido y Galileo tuvo que retractarse por gran parte de él un año después.



Figura 3. Galileo Galilei. (Shizhao, 2005)

El avance con el cual se logró una mejor comprensión de la gravedad fue con el trabajo de Isaac Newton *Principios matemáticos de la filosofía natural* (*Philosophiæ naturalis principia mathematica*) (1687) trabajo en el cual los lectores y la comunidad académica encuentran las populares leyes de movimiento Newton.

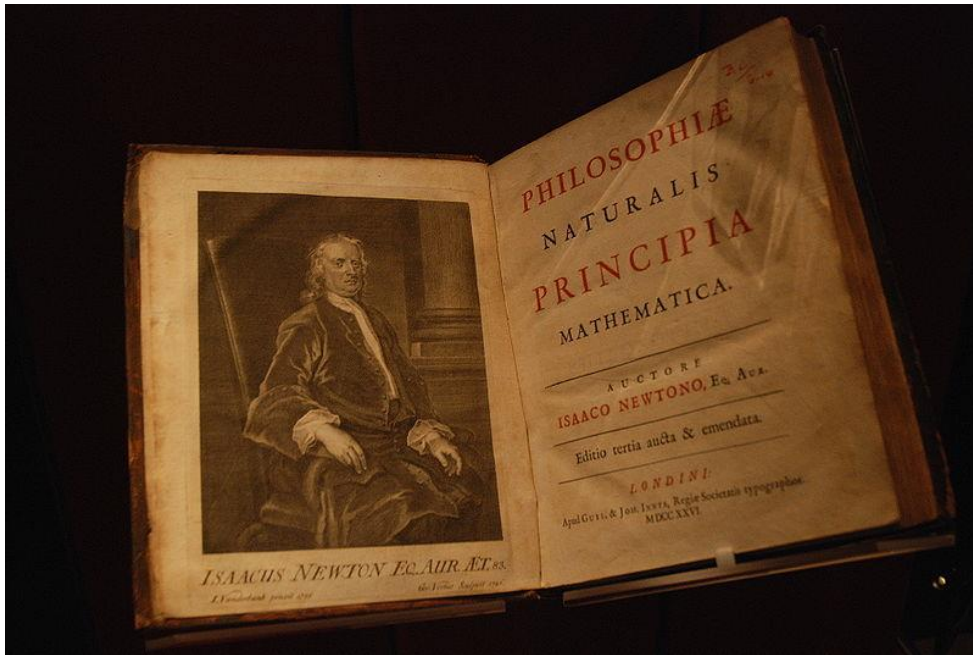


Figura 4. "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica" Isaac Newton in de "John Rylands Library" in Manchester, England. (Hermans, 2009)

La primera ley, la ley de inercia, afirma que todo cuerpo preserva su estado de reposo o movimiento en línea recta excepto en la medida en que se ve obligado a cambiar su estado por fuerzas, esta primera ley aborda los marcos de referencia. Estos marcos son llamados marcos inerciales, los observadores en diferentes marcos inerciales que se mueven a velocidad constante entre ellos medirán todos, el mismo valor de aceleración.

La segunda ley de Newton indica que: un cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa y tiene lugar a lo largo de la línea recta en la que se imprime esa fuerza, Newton definió su segunda ley en términos del cambio de momento $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$, como $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$ se obtiene que:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} + \frac{dm}{dt} \cdot \vec{v}$$

De acuerdo con esto, la fuerza que actúa sobre un cuerpo es igual a la variación temporal del momento o la cantidad de movimiento de dicho cuerpo, con

esta definición se incluye el caso de cuerpos cuya masa no es constante, como es el caso de un cohete acelerando que quema combustible reduciendo su masa. Para este caso se incluye la fuerza externa ejercida en el cohete y el empuje del cohete, obteniéndose la siguiente expresión.

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}_{ext} + \vec{V}_{rel} \frac{dm}{dt}$$

La ventaja de las expresiones que consideran el principio de conservación de la cantidad de movimiento, es que son de especial ayuda para analizar fenómenos de Física moderna como el cambio de la masa que sufren las partículas cuando se acercan a la velocidad de la luz. Para el caso de que la masa sea constante, el término $\frac{dm}{dt}$ es igual a cero y recordando la definición de aceleración se obtiene:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} + \frac{dm}{dt} \cdot \vec{v}$$

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

Siendo esta última relación entre la masa y la aceleración, la interpretación común de la segunda ley de Newton, que abarca los acontecimientos en los cuales no existe un cambio de la masa en el tiempo y que servirá más adelante para explicar (en el sentido de la mecánica clásica), porque los objetos de diferente masa caen al mismo tiempo.

Por último, la tercera ley indica que para cada acción siempre hay una reacción igual y opuesta; o que las acciones mutuas de dos cuerpos entre sí son siempre iguales, y dirigidas a partes iguales: si se presiona una piedra con el dedo, el dedo es también presionado por la roca; si un caballo jala una piedra con una cuerda, el caballo será de igual modo jalado por y hacia la piedra. De acuerdo con esto, si se tienen dos partículas m_1 y m_2 que interactúan ante la presencia de la otra, la fuerza que siente la partícula m_1 debido a la partícula m_2 es \vec{F}_{12} y la fuerza que siente la partícula m_2 debido a la partícula m_1 es \vec{F}_{21} con $|\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}|$ además,

de acuerdo con esta ley tenemos que $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ ya que ambas fuerzas se ubican en sentidos opuestos. Esta tercera ley, en colaboración con el principio de conservación de momento son de gran utilidad para analizar los sistemas de partículas. Cuando se tienen más de dos partículas en el sistema, además de fuerzas externas, para cada una de las partículas, se cumple que la razón de la variación del momento lineal con el tiempo es igual a la suma resultante de las fuerzas que actúan sobre la partícula considerada, es decir, el movimiento de cada partícula viene determinado por las fuerzas exteriores que actúan sobre dicha partícula.

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}_{ext}$$

Donde \vec{p} es el momento lineal total del sistema y \vec{F}_{ext} es la suma vectorial resultante de las fuerzas exteriores que actúan sobre el sistema de partículas.

Si se considera el caso de que dos o más partículas que pueden interactuar entre sí pero que están aisladas de los alrededores, el principio de conservación del momento lineal afirma que el momento lineal total del sistema de partículas permanece constante, si el sistema es aislado, es decir, si no actúan fuerzas exteriores sobre las partículas del sistema. El principio de conservación del momento lineal es independiente de la naturaleza de las fuerzas de interacción entre las partículas del sistema aislado

Otra de las leyes de Newton es precisamente la ley de la gravitación universal que describe la relación entre la fuerza de atracción entre dos objetos de manera directamente proporcional a las masas de ambos objetos e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre los mismos.

$$\vec{F} = G \frac{m_1 \cdot m_2}{|\vec{R}|^2} \hat{y}$$

Entonces, de acuerdo a la ley de gravitación universal donde \vec{F} es la fuerza de gravedad entre dos cuerpos, m_1 es la masa del primer cuerpo, m_2 es la masa del segundo cuerpo, \vec{R} corresponde a la distancia entre los dos cuerpos y G es la constante de gravitación universal con un valor de aceptado actualmente de

$6.6742(10) \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$. Si calculamos la fuerza de gravitación entre un objeto de masa m_1 y la Tierra de masa m_2 , con $m_1 < m_2$ y después calculamos la fuerza de gravedad entre un objeto de masa m_1' y la Tierra, con $m_1 < m_1'$ para el objeto más pesado la fuerza de gravedad resultante será sin duda mayor que para el objeto ligero, entonces, si existe una fuerza más grande que atrae el objeto pesado con mayor intensidad hacia el centro de la Tierra, ¿por qué si se dejan caer estos dos objetos desde la misma altura, no cae más rápido el objeto más pesado? Para responder esto es necesario utilizar la expresión matemática $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$. Según esto, para que un objeto acelere más rápido necesita que se le aplique más fuerza, o que por el contrario se reduzca su masa. Otra interpretación sería que entre mayor masa tenga un objeto necesitará más fuerza para acelerarlo con el mismo valor que a un objeto más pequeño, y es precisamente esta última idea la que permite decir que si un objeto más pesado es atraído hacia el centro de la Tierra con mayor fuerza que uno ligero es también necesario aplicar más fuerza a este objeto pesado para que acelere igual que el objeto ligero, el objeto más pesado, en efecto recibe una mayor fuerza de atracción, pero este excedente de fuerza comparado con el objeto ligero es utilizado para mover la diferencia de masa o masa extra que existe en el objeto más pesado.

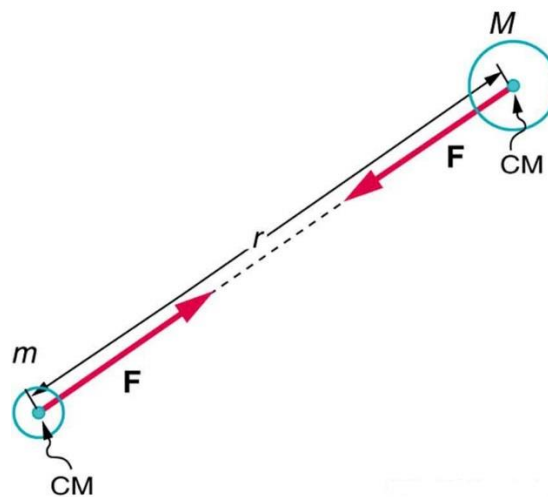


Figura 5. La atracción gravitacional tiene su acción a lo largo de una línea uniendo los centros de masa de estos dos objetos. La magnitud de esta fuerza es la misma en cada objeto, consistente con la tercera ley de Newton. Reimpresión de “1 Introduction to Science and the Realm of Physics, Physical Quantities, and Units”, por OpenStax, 2017. © 22 ago. 2017 OpenStax. Creative Commons Attribution License 4.0 license.

Entonces, si los objetos que son dejados caer desde la misma altura caen al mismo tiempo sin importar su masa ¿por qué es difícil observarlo en la vida cotidiana?, algo que impide que observemos este hecho puede ser el ejemplo de una pluma y la piedra dejadas caer desde la misma altura, sin duda alguna es fácil coincidir en que la piedra alcanzará el suelo antes que la pluma, esto puede parecer una contradicción, de acuerdo a las ideas previamente expuestas, pero no lo es. La fuerza de gravedad que están sufriendo los dos objetos debería ocasionar una aceleración igual en ambos objetos, sin embargo, en este ejemplo de la vida cotidiana influye otro aspecto importante: la fuerza de fricción debida a la interacción entre el objeto en caída y el aire, la cual se opone al desplazamiento de los objetos en este medio. Para la pluma debido a su composición y forma, la fuerza de fricción del aire es mayor, lo que disminuye su aceleración; y para la piedra, aunque ciertamente también está sujeta a una fuerza de fricción ocasionada por el aire, la magnitud de esta fuerza es menor, lo que resulta en una disminución de su aceleración pero en menor proporción que la de la pluma. Un experimento para observar el movimiento de caída libre sin fricción se puede realizar mediante una cámara de vacío, al eliminar todo el aire dentro de un espacio confinado se reduce casi por completo el efecto de la fuerza de fricción del aire, si esto se logra y dentro de la cámara de vacío se dejan caer la misma pluma y la misma piedra, se puede observar que la aceleración de ambas, y por lo tanto, su tiempo de caída es exactamente el mismo sin importar la masa de los objetos.

Como se puede observar, a veces se requiere de un trabajo extra de observación y preparación para poder analizar asuntos relacionados con la gravedad, que de lo contrario en la vida cotidiana parecen funcionar de manera diferente, al no ser un hecho común para una persona trabajar con cámaras de vacío puede pasar desapercibida esta comprobación de la aceleración de los cuerpos en caída libre. Tan maravilloso es este hecho que en 1971 en la última caminata del Apollo 15 en la luna, el comandante David Scott realizó una demostración en vivo para las cámaras de televisión. Sostuvo un martillo geológico y una pluma de ave y los soltó para que cayeran al mismo tiempo. Debido a que estaban esencialmente en el vacío y no había resistencia al aire, ambos objetos

cayeron al mismo tiempo, (Allen, 2016). Galileo había concluido esto cientos de años antes, sin embargo, en 1971, (e incluso en nuestros días) no es un hecho común que pueda ser observado por las personas a simple vista. (Allen, 2016)

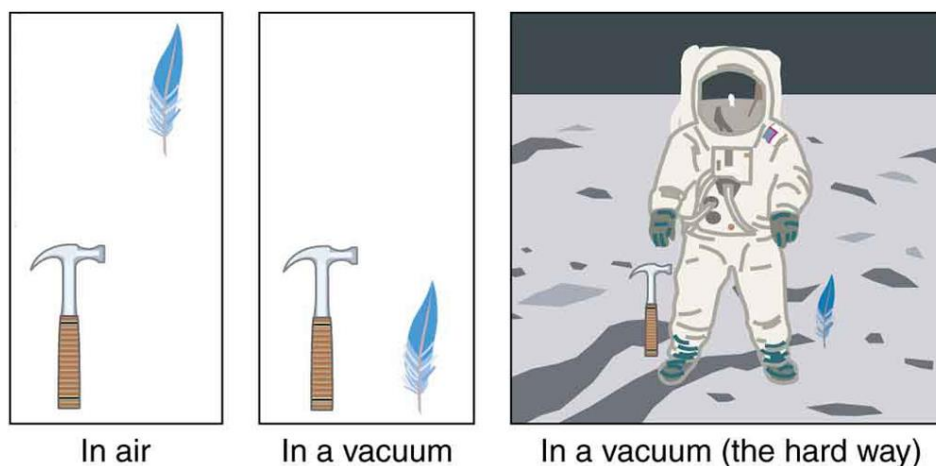


Figura 6. Un martillo y una pluma caerán con la misma aceleración constante si se considera despreciable el efecto de la resistencia del aire. Esta característica general de la gravedad no es exclusiva del planeta Tierra, como el astronauta David R. Scott lo demostró en la luna en 1971. Reimpresión de “1 Introduction to Science and the Realm of Physics, Physical Quantities, and Units”, por OpenStax, 2017. © 22 ago. 2017 OpenStax. Creative Commons Attribution License 4.0 license.

Como se puede analizar, la evolución del concepto de gravedad se dio gradualmente a lo largo de varios siglos, y es natural que este concepto deba desarrollarse y madurar en las nuevas generaciones ya que no es un hecho tan natural como se pudiera pensar. A pesar de estar expuestos a este fenómeno a lo largo de toda nuestra vida, existen varias concepciones erróneas además de la que fue tratada en esta sección. Se decidió comenzar a abordar estas ideas erróneas ya que como se mostrará más adelante, estas vaguedades pueden afectar el proceso de enseñanza-aprendizaje de la gravedad.

1.2 Fuerza

La ciencia es indudablemente un crecimiento continuo y gradual cuyos orígenes más sencillos se encuentran en las observaciones de la experiencia diaria pero que requieren de un tratamiento formal, sistemático y exhaustivo para que culmine en un desarrollo reconocido por la sociedad. Sería entonces natural pensar que muchos de los conceptos científicos siguen el mismo camino, estos se originan y surgen desde las concepciones de la experiencia diaria. La ciencia es una actividad que en ocasiones se acompaña de concepciones generadas en la experiencia ordinaria, y se vale a menudo de analogías para explicar el comportamiento de determinados fenómenos. Por ejemplo, se suele representar las fuerzas de gravedad con vectores, que asemejan cuerdas jalando un objeto, por que remiten a experiencias cotidianas familiares para las personas, incluso cuando se sabe que la fuerza de gravedad es invisible para el espectador (aunque sus efectos puedan ser claramente visibles). No es exagerado el reconocer el papel de las analogías en el progreso del conocimiento, durante el ejercicio de la analogía, se reduce lo desconocido y extraño a algo familiar y conocido. (Jammer, 2012).

Algo de esta experiencia y cotidianeidad se ve reflejada en la manera en la que se ha transmitido el conocimiento durante la historia de la humanidad, a través de la lengua oral y escrita, como menciona Jammer (2012), la idea de fuerza desde un inicio y hasta fechas contemporáneas, se ha asociado a la conciencia sobre el esfuerzo: el esfuerzo para mover un objeto, para levantar los brazos, la conciencia de sobrepasar una resistencia que se opone al levantar un objeto pesado, desde el sentido experiencial. Aun en la época contemporánea se utilizan los términos, fuerza, esfuerzo, trabajo y poder como sinónimos. En épocas tempranas, se le atribuían propiedades divinas e inmutables como *fuerzas de la naturaleza* al poder de las tormentas, inundaciones, etcétera. En la cultura Mesopotámica se le atribuiría al término *fuerza* una entidad de orden y no sólo de poder, en varios fragmentos de la biblia se le atribuyen a Dios los términos fuerza y poder, en una representación de orden en contra del caos e incluso de justicia.

En la civilización griega, se le atribuían dos características a término fuerza: la primera, desde la perspectiva de lo que hoy conoceríamos como energía se le atribuía fuerza a la energía o al estado que los cuerpos tenían por sí mismos; en segundo lugar, se le llamaba fuerza también a la acción de cambiar el estado natural de las cosas. Aristóteles reconocía sólo dos tipos de fuerza reducibles a los actos de jalar o empujar. Hasta este punto en la historia, y durante los años venideros, el concepto de fuerza no cambiaría mucho y se limitaría a describir las actividades que sucedían en las zonas físicas de contacto entre los objetos. Nunca hasta este punto desde una perspectiva a distancia. En cuanto a los objetos celestes se le atribuían solamente explicaciones divinas.

No es sino hasta que Roger Bacon en Francia alrededor del año 1260, propone su teoría de las *species* que se habla de una acción a distancia. Bacon propuso esta teoría para describir la atracción de los imanes, en la edad media se explicaba algo parecido a esto: "el imán invoca en el ambiente un *species magnetica* que se esparce esféricamente a través del medio, se multiplica a sí mismo de una porción del imán a la otra y se vuelve sujeto de movimiento local" (Jammer,2012).

Como se puede observar, el concepto de fuerza tiene orígenes muy cotidianos y cercanos a la experiencia personal de los individuos, desde los vocablos utilizados para describir el accionar de la naturaleza, hasta las interpretaciones que se le daban al término para explicar acciones o interacciones a distancia, mucho de la connotación que se le da al concepto de fuerza tiene que ver como se ha mostrado, y se mostrará más adelante, con el sentido experiencial del observador. El individuo que experimenta con el concepto de gravedad y la caída libre de los objetos también está pensando en una fuerza, la fuerza de gravedad. Este sentido experiencial de la fuerza de gravedad nos acompañará e influenciará la comprensión e interpretación que se le da al concepto de gravedad.

1.3 Ideas erróneas sobre gravedad

De manera inherente a los métodos de transmisión de conocimiento y enseñanza suelen surgir ideas equivocadas acerca de los conceptos que se tratan de comprender. Específicamente entre los jóvenes estudiantes existen algunas ideas erróneas en el área de la Física en lo que atañe al concepto de gravitación universal. Uno de los propósitos de este trabajo es identificar estas ideas equivocadas en estudiantes de bachillerato. Es por lo anterior que se vuelve necesario comenzar por conocer cuáles son algunos de los trabajos previos más destacados realizados sobre el tema.

Treagust & Smith (1986) y Smith and Treagust (1988), citado por Piburn (1988, p.2), realizaron un estudio que consistía en entrevistas libres a estudiantes de secundaria e identificaron con estas entrevistas 4 ideas erróneas sobre gravedad: 1) La gravedad de un planeta depende de su distancia con el Sol; 2) La gravedad del Sol afecta no solo a los planetas que orbitan el Sol, sino también la gravedad de un planeta en sí; 3) La falta de rotación de un planeta afecta su gravedad o los planetas de rotación lenta tienen menos gravedad que los planetas de rotación rápida; 4) La rotación de un planeta depende de su posición con respecto al Sol o su tamaño.

En años más recientes, Vicovaro (2014) llevo a cabo un estudio en el cual se pidió a estudiantes de psicología que predijeran la velocidad final de tres cajas de cartón del mismo tamaño, dejadas caer al suelo desde la misma distancia, dichas cajas estaban rellenas con un material distinto para que cada una tuviera un peso diferente, el grupo muestra se dividió en 2 categorías en la cual una parte del grupo podía sostener y tocar las cajas para tener una idea real del peso, mientras que la otra mitad solamente podía presenciar el experimento de caída libre; en su totalidad los estudiantes de nivel licenciatura coincidieron en que las cajas más pesadas tendrían una velocidad mayor al tocar el suelo. El resultado de este experimento sugiere que a pesar de que los estudiantes han llevado una educación formal en el

concepto de gravedad y caída libre, aun parecen tener ideas erróneas sobre el papel de la masa de los objetos en caída libre. Pareciera entonces que la intuición en este caso tiene una ponderación mayor que el conocimiento formal a la hora de predecir el comportamiento de los objetos en caída libre; sin embargo, en este mismo estudio se sugiere una *paradoja evolutiva*, expuesta gracias al trabajo de Lacquaniti y Maioli (1989) donde en un estudio se le pide a los individuos que atrapen pelotas de diferente masa, desde distintas alturas, el estudio reveló que el tiempo de respuesta de la señal emitida por el cerebro era dependiente de la altura del objeto pero independiente de la masa; es decir, las personas iniciaban el movimiento para atrapar la pelota al mismo tiempo sin importar que tuvieran conocimiento de que las pelotas tenían una masa distinta. Esto da indicios de que el sistema nervioso central de las personas reconoce que los objetos caen al mismo tiempo independientemente de su masa, pero la parte consciente y experiencial del cerebro humano tiene la idea de que la masa de un objeto determina su velocidad en caída libre.

Estos estudios son particularmente interesantes para explicar la dificultad de la tarea de comprender que sucede en la mente de los estudiantes ante la amplia gama de situaciones que ponen a prueba sus conocimientos sobre el concepto de la gravitación universal y sus diferentes escenarios. De estos, se han categorizado las ideas erróneas observadas en 3 grandes ideas:

1.3.1 Idea errónea I : La gravedad no es una fuerza

Halloun y Hestenes (1985) mencionan que incluso jóvenes de licenciatura siguen pensando que la caída de los objetos es un movimiento o estado natural de las cosas que no requiere de una fuerza a pesar de haber cursado la materia de Física en el bachillerato. Uno de los estudiantes universitarios menciona lo siguiente acerca de las fuerzas actuando en una pelota siendo sostenida en su mano: “Había una fuerza cuando estaba sosteniendo la pelota en la mano... pero cuando la pelota estaba descansando sobre la mesa no había fuerza en la pelota... esto es diferente. La pelota quiere ir hacia abajo, pero la mesa la está deteniendo” (p.1063).

La idea de que las cosas caen porque no tienen algo que los soporte es común en los niños pequeños y puede adoptar formas diferentes. En el caso más simple, las cosas caen porque se retira su apoyo. La idea de que la fuerza y el esfuerzo determinan si algo cae es algo más complejo y puede referirse a un agente externo o al objeto en sí. La idea del estudiante de universidad anteriormente expuesta es similar a las ideas de Aristóteles sobre la caída libre, en el que la tendencia natural de un objeto es caer hacia abajo, y los objetos inanimados no puede ejercer fuerzas por sí mismos. Se podría argumentar que el explicar la caída libre en términos de la falta de apoyo no es estrictamente hablando un error, debido a que es cierto que si se retira el apoyo un objeto caerá. Y tal vez algunos de los estudiantes que dieron respuestas relacionadas con el apoyo entendieron la gravedad perfectamente bien, pero eligieron la falta de apoyo para explicar la fuerza de gravedad. Esta serie de ideas es evidentemente errónea desde un punto de vista newtoniano (Kavanagh, 2006), debido a que no explica el tipo de interacción que existe entre el objeto y el planeta Tierra, solamente se limita a imaginar que los objetos tienden a estar sobre la superficie de la Tierra.

1.3.2 Idea errónea II: Los objetos grandes o masivos caen más rápido porque tienen mayor fuerza de atracción

La famosa leyenda del experimento de Galileo en la torre de Pisa en el cual demostró con balas de cañón como el peso de ambas balas de cañón está ligado del mismo modo a la fuerza de gravedad y a pesar de que muchos maestros en la actualidad utilizan esta anécdota para introducirlos al tema de caída libre existen varias ideas erróneas sobre este asunto.

Champagne, Klopfer, y Anderson (1980) realizaron un examen de Demostración, Observación, y Explicación de Movimiento (D. O. E.) a 110 estudiantes inscritos en un curso introductorio de Física en una de las grandes universidades de Estados Unidos.

En la prueba el instructor realiza las demostraciones y los estudiantes observan y tratan de predecir el movimiento de los objetos para responder preguntas sobre lo que ven. A pesar de que el 70% de los estudiantes habían llevado cursos de Física en el bachillerato la prueba demostró que cuatro de cada 5 estudiantes creían que los objetos pesados caen más rápido que los objetos ligeros.

También reportaron que muchos de los estudiantes creían que los objetos caen a velocidad constante (en casos en los que no aplicaba el concepto de velocidad terminal), argumentando que la velocidad solamente depende de la masa, la cual permanece constante.

Los estudiantes que habían aprendido que los objetos aceleraban en caída libre reconciliaron sus creencias inconsistentes diciendo que la aceleración debía ser debido a un aumento en la fuerza de gravedad a medida que el objeto se acercaba a suelo y posteriormente reforzaron su idea diciendo que no existe gravedad en el espacio.

Los autores de la prueba notaron el parecido de estas ideas con las de Aristóteles acerca de porque los objetos caen. Incluso algunos estudiantes reconocidos como académicamente sobresalientes comparten esta idea errónea. Gunstone y Watts (1985) indicaron que un estudiante reconocido en su escuela por su talento clamaba haber presenciado caer objetos pesados más rápido que los objetos ligeros. “Cuando los dos cubos fueron tirados, el estudiante afirmaba ver el cubo de aluminio golpear el piso primero”. Con esto se demuestra que incluso las interpretaciones erróneas de los estudiantes llegan a influenciar su objetividad al realizar u observar un experimento de caída libre.

Sequeira y Leite (1991) citado por Kavanagh (2006) condujeron varios estudios. Ellos reportaron entrevistas de estudiantes universitarios de 27 años de edad a quienes se les pidió responder preguntas sobre caída libre. Alrededor de un

52% de los estudiantes afirmó que de los objetos analizados el más pesado tendría el menor tiempo de caída porque es el más *pesado*. A pesar de que estos estudiantes habían estudiado caída libre y temas de gravedad más avanzados la idea de que los objetos más pesados caen más rápido había permanecido al igual que en los estudiantes de educación básica. Los investigadores dieron el ejemplo de un estudiante que usó una ecuación matemática para soportar su idea de que los objetos más pesados caen más rápido. “De acuerdo con la ley de gravitación universal $\vec{F} = G \frac{m_1 \cdot m_2}{|\vec{R}|^2}$ la fuerza con la que son atraídos los objetos hacia la Tierra es proporcional a su masa. Para distancias iguales, la esfera, el objeto que tiene mayor masa, es el objeto atraído más rápidamente”. (Kavanagh, 2006). Dicha afirmación es evidentemente errónea, el estudiante utilizó una ecuación que calculaba la fuerza a la que estaba sujeto el objeto más pesado para justificar una respuesta que exigía razonar acerca de la aceleración del objeto, es evidente que su error se puede inferir en la confusión entre los conceptos de fuerza y aceleración, si bien es cierto que un objeto con mayor masa será atraído hacia la Tierra con una fuerza mayor que un objeto con menor masa, tenemos que considerar que como se explicó antes, esta mayor fuerza con la que es atraída el objeto de masa superior se termina utilizando para mover un objeto más pesado, lo cual al final de cuentas resulta en una la misma aceleración. Debemos recordar que para calcular la aceleración de un objeto podemos auxiliarnos de la siguiente expresión: $\vec{a} = \vec{F}/m$, al calcular la aceleración para el objeto más ligero se tendría un valor menor de fuerza \vec{F} debida a la acción de la gravedad (comparado con el objeto de mayor masa), el cual se dividirá entre una masa m también menor con respecto al objeto más pesado; por otra parte para el objeto más pesado se tendría un valor mayor de fuerza \vec{F} debida a la acción de la gravedad (comparado con el objeto de menor masa), pero este valor se dividirá también entre una masa m mayor ya que ahora estamos calculando la aceleración para el objeto de mayor masa, lo cual a final de cuentas resulta en la misma aceleración para ambos objetos.

La comprobación matemática del enunciado anterior se obtiene a partir de las siguientes ecuaciones, para la aceleración de un cuerpo ante una fuerza externa

$$\vec{a} = \vec{F}/m_1 \quad (1)$$

donde \vec{F} es la fuerza de gravedad, \vec{a} es aceleración del objeto, m_1 es la masa del objeto y para la fuerza de gravedad

$$\vec{F} = G \frac{m_1.m_T}{|\vec{R}|^2} \quad (2)$$

Donde \vec{F} es la fuerza de gravedad, G es la constante de gravitación universal, m_1 es la masa del objeto, m_T es la masa de la Tierra y R es la distancia entre el centro de masa del objeto y el centro de masa Terrestre. Sustituyendo \vec{F} en (1) y simplificando se obtiene:

$$\vec{a} = G \frac{m_T}{|\vec{R}|^2} \quad (3)$$

Como se puede observar en (3), la aceleración que un objeto experimenta al caer libremente a causa de la fuerza de gravedad terrestre depende de la masa de la Tierra y de la distancia que existe entre el centro de masa de este objeto y el centro de masa de la Tierra; y no de la masa propia del objeto como afirmaba el estudiante citado por Kavanagh (2007).

Muchos otros errores como este son observados a diario en las aulas de bachillerato, como se puede observar estas ideas permanecen arraigadas incluso hasta niveles universitarios en gran parte de la población de estudiantes. Los estudiantes parecen compartir las ideas de Aristóteles quizás porque de manera natural parece la respuesta lógica, quizás demostrando que los fenómenos físicos no son descritos siempre por los razonamientos de sentido común, a veces los fenómenos físicos son todo menos lógicos o congruentes con los conocimientos previos de quienes los observan.

1.3.3 Idea errónea III: La gravedad en el espacio depende de la cercanía con el Sol

Existen otras ideas erróneas que atañen al concepto de gravedad en los cuales se aplica el principio a los cuerpos celestes. Como ya se mencionó antes, Treagust y Smith (1986) y Smith y Treagust (1988), aplicaron una encuesta a estudiantes australianos de décimo grado (equivalente a primer año de educación media superior) e identificaron algunas ideas erróneas. De entre estas ideas, se decide rescatar la idea general de que al parecer los estudiantes relacionan erróneamente la gravedad en el espacio solamente con la interacción de los cuerpos con el Sol, encontraron que la mayoría de los estudiantes relacionaban la existencia de los efectos de la fuerza de gravedad para un objeto con su órbita alrededor del Sol, pensaban que como la Tierra orbita alrededor del Sol debido a la acción de la fuerza de gravedad, todo lo que existía en la Tierra debía tener fuerza de gravedad o estar sujeta a los efectos de la misma y pensaban que cualquier objeto desviado de este movimiento como una nave que sale de la Tierra y no orbita el Sol (al menos no del mismo modo que la Tierra) debería por lo tanto no estar sujeto a los efectos de la fuerza de gravedad y debería flotar en el espacio fuera del alcance de cualquier fuerza gravitacional. El razonamiento erróneo anterior y quizás muchas de las imágenes que a menudo observamos de los astronautas flotando dentro de sus naves espaciales pudiera explicar por qué la mayoría de los estudiantes de educación media superior llegan a pensar que no existe gravedad en el espacio. En la figura 7 se observa una imagen de astronautas a bordo de la Estación Espacial Internacional experimentando la *falta* de gravedad, este efecto que a menudo se define como el hecho de *flotar* en el espacio se explica mediante una serie de factores como son el hecho de que los astronautas en las estaciones espaciales se encuentran en una órbita estable que los mantiene a ellos y a la nave en la que orbitan moviéndose a una velocidad constante con la misma energía cinética, con la misma energía potencial y un mismo momento angular bajo la acción de la fuerza de gravedad de la Tierra. Existe conservación de la energía y conservación del momento angular y la nave junto con los objetos en su interior se encuentran en el mismo marco de referencia, lo cual parece confundirse a menudo con falta de

gravedad o falta de peso. Otra manera de explicar esta aparente *falta de peso* es analizar el hecho de que la estación espacial internacional se encuentra orbitando la Tierra con una velocidad tangencial de 7.7 km/s (ISS, 2018), una velocidad considerable, si no existiera una fuerza gravitacional ejercida por la Tierra sobre la estación espacial, esta última saldría de la órbita de la Tierra, despedida en línea recta hacia el espacio, es gracias a la fuerza de gravedad existente en la estación espacial que la misma puede seguir orbitando alrededor de la Tierra, pero entonces si existe una fuerza gravitacional que mantiene a la estación en una órbita estable, ¿por qué los astronautas *flotan* dentro de la nave?, como ya se dijo antes los astronautas se mueven junto con la estación espacial a una rapidez relativamente constante, de hecho, tanto los astronautas como la nave están *cayendo* hacia la Tierra de manera similar a lo que experimentan los pasajeros de los aviones destinados a simular el efecto de la *ingravidez* al descender en caída libre de manera controlada o a lo que pudiera experimentar una persona en un elevador que cae libremente (Allain, 2018), sin embargo gracias a la velocidad tangencial de la nave espacial, este estado de *caída* hacia la Tierra se mantiene de manera constante a medida que la trayectoria forma una órbita curva alrededor de la Tierra.



Figura 7. Astronautas experimentando la falta de peso a bordo de la Estación Espacial Internacional. (credito: NASA). Reimpresión de “1 Introduction to Science and the Realm of Physics, Physical Quantities, and Units”, por OpenStax, 2017. © 22 ago. 2017 OpenStax. Creative Commons Attribution License 4.0 license.

Como se puede apreciar, a pesar de la universalidad del concepto de gravedad y del aparente desarrollo en la instrucción desde las épocas de Aristóteles, Galileo y Newton, hoy en día existen varias interpretaciones y concepciones erróneas acerca de la gravedad, pareciera normal y entendible que los estudiantes de educación primaria y secundaria tengan estas ideas equivocadas, sin embargo es bastante peculiar que estas ideas (algunas de ellas Aristotélicas) permanezcan a nivel Universitario en gran porcentaje de estudiantes incluso e quienes han estudiado los temas de caída libre en bachillerato y por supuesto en la etapa universitaria. Parece lógico pensar que el nivel intermedio entre la primaria y la universidad está fallando al generar un conocimiento permanente y correcto en los estudiantes y más preocupante es el hecho de que en el nivel superior no está siendo corregido con las técnicas instruccionales tradicionales.

2. Fundamentación psicopedagógica

En la sociedad moderna el conocimiento que surge de la actividad científica es altamente valorado, principalmente cuando desemboca en el desarrollo de tecnología cada vez más sofisticada que sea capaz de producir un valor en el mercado o de proporcionar alguna ventaja competitiva en determinada área de aplicación. Este hecho podría llevarnos a pensar que los individuos pertenecientes a la sociedad tendrían una actitud de interés hacia las disciplinas científicas; sin embargo, paradójicamente esto no sucede así. A pesar del impacto de la ciencia en la sociedad moderna, muchas de las personas perciben los descubrimientos científicos y la ciencia como una situación ajena a ellos, relacionando los conocimientos emanados de la actividad científica con una serie de conceptos y fórmulas que les fueron presentados en algún momento de su educación formal, que sólo algunos grupos de expertos comprenden y que nada tienen que ver con su vida cotidiana. El caso de los estudiantes de bachillerato es un ejemplo de esta situación. Muchos de los alumnos de educación media superior son renuentes a aprender sobre las ciencias, poseen una serie de prejuicios sobre las asignaturas de ciencia, encuentran poco sentido a los temas abordados con su vida real y presentan una falta de interés en aprender sobre el tema. Lo anterior dificulta el desarrollo de una curiosidad natural por aprender en el ámbito de las disciplinas científicas.

Una explicación para la falta de interés en la ciencia de los estudiantes de bachillerato pudiera ser la manera en la que por años el sistema educativo de las sociedades se ha encargado de transmitir el conocimiento. La educación, al ser el instrumento mediante el cual se transmite el conocimiento a través de las generaciones, se ha convertido en el pilar sobre el cual se deja caer la responsabilidad de asegurar la perpetuidad del conocimiento producido por la ciencia. Sin embargo, cumplir con esta responsabilidad no es tarea fácil. La educación, a través del sistema educativo, se tiene que encargar de condensar cientos de años de avances científicos en unos cuantos cursos que aglomeran todo el conocimiento acumulado por generaciones. En un intento por hacer asequible

esta tarea, el sistema de educación se ha apoyado de la instrucción formal en las aulas para entregar a los estudiantes una versión condensada, que en varias ocasiones se torna reduccionista y distorsiona la naturaleza del estudio científico, traduciéndolo la mayoría de las veces en la memorización de conceptos y la manipulación matemática de problemas establecidos que los estudiantes terminan por reproducir de manera iterativa, pero que no genera en ellos una comprensión real sobre el tema.

Como menciona Gil et al. (1999), la instrucción formal en los temas de la ciencia ha seguido un camino particular y no necesariamente paralelo a los descubrimientos científicos. Aunque se han tenido grandes avances en el área de la ciencia, la instrucción de la misma en las aulas no ha cambiado desde hace tiempo. Se sigue manteniendo una versión reduccionista que se manifiesta en tres aspectos que se tratan de manera independiente: la enseñanza de conceptos, en los cuales los estudiantes memorizan el significado de tópicos variados; los problemas de lápiz y papel, que más que problemas, son ejemplos de aplicación en los cuales el estudiante aprende a sustituir valores y obtener resultados, pero que ante una mínima variación del escenario, presenta dificultades para lograr la resolución del problema; y por último, las prácticas de laboratorio, que en el peor de los casos no desarrollan las habilidades de diseño de experimentos en los estudiantes, sino su capacidad de reproducir experimentos bajo estrictas indicaciones y procedimientos, coartando así el desarrollo de habilidades de observación y reflexión autónoma.

Esta adaptación de los conocimientos y procesos científicos a las aulas, dista mucho del actuar real de la ciencia. Se termina exponiendo a los estudiantes a una versión que no coincide con el actuar de un científico. Se vuelve necesario aclarar que no se espera que un estudiante de bachillerato se comporte como un científico, sería arriesgado pensar que el estudiante cuenta con los recursos cognitivos necesarios o que al menos los posea en el nivel requerido para la investigación formal y que las instituciones escolares pueden proveer el entorno adecuado para imitar la actividad científica; sin embargo, se vuelve comprensible el deseo de

intentar aumentar el interés de los estudiantes en las actividades de la ciencia de una manera más eficiente y cercana a la realidad que suponga un adelanto a la enseñanza tradicional de la ciencia en las aulas.

Gil et al. (1999), realiza una propuesta para mejorar el abordaje de la ciencia en las aulas y aumentar el interés de los estudiantes. Esta consiste en dejar de hacer la distinción entre aprendizaje de conceptos, problemas de papel y lápiz y prácticas de laboratorio y tratar de integrarlas en una misma actividad holística que reproduzca la actividad científica de una manera más fiel. En su propuesta no visualiza al estudiante como un ser pasivo ni como un científico experto, más bien lo concibe como un científico novato que necesita ser guiado para saber qué investigar, cómo hacerlo, qué información ignorar y a qué datos prestar especial atención, entre otras cosas, todo esto para poder alcanzar sus objetivos de aprendizaje.

Esta nueva propuesta para aumentar el interés de los estudiantes en la ciencia supone un esfuerzo para el docente, quien será el encargado de dirigir y orientar las actividades del estudiante en su nuevo rol de investigador. Para esto, es necesario entender desde distintos puntos de vista lo que significa el aprendizaje y lo que supone la enseñanza, definiciones que dependen del paradigma desde el cual se observe a la educación. A continuación, nos encargaremos de consultar algunas propuestas pedagógicas y paradigmas de la educación, resaltando las singularidades de cada corriente de manera condensada y rescatando aquellas características que servirán de apoyo para el desarrollo del presente trabajo.

2.1 Conductismo

El conductismo es uno de los primeros paradigmas reconocidos por la comunidad pedagógica, sus principales representantes son Ivan Pavlov y Frederic Skinner.

Este paradigma tuvo su origen en los trabajos sobre condicionamiento de Pavlov, quien en sus experimentos demostró cómo se podía crear un reflejo condicionado por una situación ambiental externa para lograr que, ante cierto estímulo, un perro pudiera tener un reflejo, que más tarde llamaría reflejo condicionado. Ya desde este trabajo, Pavlov proponía una extrapolación de este fenómeno hacia los humanos, quienes ante un estímulo condicionado podrían, en teoría, tener también un reflejo, es decir, desde esta perspectiva existe una asociación entre estímulo y respuesta que puede definir la conducta de un individuo (Pavlov y Anrep, 2015).

El conductismo ha sido criticado por el supuesto papel pasivo que les otorga a los estudiantes como receptores de los estímulos; sin embargo, Skinner (1974, p. 4) menciona que se tienen ciertas características comúnmente malinterpretadas sobre el conductismo, como las siguientes:

- El conductismo ignora la consciencia, sentimientos y estados de la mente.
- El conductismo formula el comportamiento como una serie de respuestas a estímulos, representando a una persona como una marioneta o robot.
- Al conductismo no le importa tomar en cuenta los procesos cognitivos.
- El conductismo no da lugar a la intención o los propósitos.
- El conductismo no puede explicar los logros creativos -en el arte, por ejemplo, o en la música, la literatura, la ciencia o las matemáticas.
- El conductismo es necesariamente superficial y no puede ocuparse de las profundidades de la mente o la personalidad.

Para Skinner, estas son interpretaciones peligrosas del conductismo que alejan a la audiencia inexperta de los avances reales obtenidos con la evidencia experimental. Sus descubrimientos lo hicieron llegar a su teoría del conductismo operante en la cual el individuo tiende a repetir las conductas que suponen consecuencias positivas en lugar de las que suponen consecuencias negativas, dicho de otro modo, proponía una asociación de las conductas acorde a sus consecuencias. Más tarde, las aportaciones de estos y otros autores desembocarían en una interpretación particular de los términos *aprendizaje* y *enseñanza* bajo los esquemas del conductismo.

De acuerdo a la teoría del conductismo, el aprendizaje es un proceso medible y observable que se puede desarrollar en los individuos de manera adecuada mediante la exposición a una serie de estímulos y respuestas, se pueden tener incentivos primarios y secundarios que se nombran así de acuerdo al grado de necesidad de los individuos, (Schunk, 2012). Ante esta percepción del aprendizaje, se hacen propuestas para la enseñanza siguiendo el paradigma del conductismo, las cuales se basan en recompensar las buenas conductas y logros de los estudiantes y corregir las malas conductas que afecten su proceso de aprendizaje, ya que desde este paradigma, el aprendizaje y el conocimiento del estudiante puede ser observado y medido, los sentimientos y otros procesos no son el centro de atención como lo es el conocimiento, no porque no sean importantes, sino porque no pueden ser cuantificados de una manera adecuada.

El aprendizaje de conocimientos conceptuales y tópicos con un factor memorístico como lo son las tablas de multiplicar, las reglas de ortografía, fórmulas, procedimientos matemáticos, etcétera, se ven beneficiados con este tipo de paradigma, ya que la repetición y el sistema de recompensas van acorde con los conceptos a aprender. La retención de cierta información es necesaria para poder acceder a otros niveles de comprensión; sin embargo, la retención memorística no garantiza la adquisición del conocimiento más allá del aprendizaje procedimental y memorístico.

El conductismo, en ciertas situaciones, concibe al alumno con un individuo que responde ante los estímulos, en consecuencia, se obtiene una respuesta medible. De acuerdo con esto, una propuesta sería dosificar el aprendizaje y entregar refuerzos positivos por parte del profesor cada vez que el estudiante realice una actividad correctamente y refuerzos negativos cuando la actividad o respuesta sea incorrecta. Esta concepción podría ser de ayuda para orientar al estudiante, ahora imaginado como un investigador inexperto, a quien se le presenta información sobre una situación problemática de manera dosificada. Ante este escenario el profesor podría guiar el proceder del estudiante, recompensándolo cuando reconozca información pertinente para la solución del problema y entregándole refuerzos negativos cuando comience a desviar su atención hacia información inútil para la resolución del problema.

2.2 Constructivismo y aprendizaje significativo

El constructivismo, más que un paradigma, es una mezcla de perspectivas que apoyan una versión más completa del aprendizaje. A diferencia del conductismo, para el constructivismo el aprendizaje no es un conocimiento que tenga que ser transmitido o adquirido mediante algún proceso acumulativo, sino es un proceso único que debe desarrollarse dentro de la mente del estudiante gracias a su propia experiencia para terminar creando una versión propia del conocimiento.

Esta postura constructivista se nutre de diversas corrientes psicológicas como el enfoque psicogenético piagetiano y la teoría de Ausubel de la asimilación, entre otras; a pesar de la diversidad de las raíces que la nutren, se tiene como denominador común la actividad constructiva del alumno (Díaz Barriga, Hernández Rojas, 2010). Desde esta visión, el alumno pasa de ser un elemento pasivo en la escuela tradicional, a ser un elemento activo que toma responsabilidad sobre las actividades que lo llevaran a construir su propia versión del conocimiento. De acuerdo con esto, podríamos pensar entonces en el beneficio que se podría obtener

de imaginar al estudiante como un investigador novato e integrarlo en la tarea de realizar sus propios descubrimientos de manera guiada, de este modo se estaría asegurando que el estudiante no sólo replique los conocimientos del profesor, sino que obtenga un aprendizaje propio mediante su experiencia personal. La enseñanza entonces debe estar basada en una buena proporción a preparar escenarios en los cuales el estudiante realice actividades que lo lleven a realizar sus propios descubrimientos de manera supervisada por el profesor.

Como se indicó antes, diversas corrientes de pensamiento nutren la visión del constructivismo. Quizás la más importante es la aportación de Piaget (1928) en la cual se postula que el aprendizaje se adquiere en 2 etapas: la asimilación y la acomodación. La primera es el proceso mediante el cual el niño o el estudiante se apropia de la nueva información del exterior obtenida mediante sus sentidos; y la segunda, la cual es la etapa en la que estos nuevos conocimientos se adaptan y reacomodan dentro de la estructura cognitiva previa del individuo.

Esta teoría distingue entre 4 etapas de desarrollo. Contrario de lo que se pensaba antes de los trabajos de Piaget, un niño no es igual a un adulto y se encuentra en un proceso de desarrollo que se divide en cuatro fases: La etapa senso-motora, la cual es la etapa en la cual los niños aprenden a adquirir la información del mundo a través de sus sentidos y adquieren consciencia sobre sus habilidades motoras; la etapa preoperacional en la cual están aprendiendo a realizar operaciones como la imaginación y el juego, además aprenden a utilizar símbolos para representar cosas; la etapa de operaciones concretas es la cual se adquiere el principio de conservación y el individuo empieza a entender conceptos básicos de matemáticas y, por último, la etapa de las operaciones formales la cual es la etapa en la que los individuos son capaces de desarrollar procesos de abstracción y capacidad de razonamiento más sofisticada, (Piaget, 1928). Es esta última etapa se encuentran los estudiantes de bachillerato quienes, en teoría al menos, deberían de ser capaces de alcanzar el nivel de razonamiento abstracto necesario para el aprendizaje de la ciencia.

Algunas características del aprendizaje que se asocian a una concepción constructivista se presentan a continuación. Díaz Barriga y Hernández Rojas (2010) afirman que:

- El aprendizaje es un proceso constructivo interno, autoestructurante.
- El grado de aprendizaje depende del nivel de desarrollo cognitivo.
- Punto de partida de todo aprendizaje son los conocimientos previos.
- El aprendizaje es un proceso de (re)construcción de saberes culturales.
- El aprendizaje se facilita gracias a la mediación o interacción con los otros.
- El aprendizaje implica un proceso de reorganización interna de esquemas.
- El aprendizaje se produce cuando entra en conflicto lo que el alumno ya sabe con lo que debería saber. (p. 36)

Como mencionan Díaz Barriga y Hernández Rojas (2010), para Ausubel el alumno se encuentra procesando continuamente información del exterior, y el aprendizaje es un fenómeno muy complejo que no puede ser sustituido por asociaciones memorísticas. Además, Ausubel señala la relevancia de permitirle al estudiante realizar sus propios descubrimientos. Sin embargo, resalta la importancia de no permitir que todo el aprendizaje sea por descubrimiento. Como alternativa, propone un aprendizaje verbal significativo, el cual está ligado a la adquisición de conocimientos de tipo declarativo y conceptual, es decir, conocimientos en forma de proposiciones y hechos, que resulta más adecuado para abarcar los contenidos curriculares que se imparten en el nivel medio y superior. Es decir, el docente podría preparar los escenarios para que el estudiante llegara a sus propios descubrimientos, pero por motivos de tiempo y practicidad sería imposible que el estudiante elucidara por cuenta propia la totalidad de los conceptos que tiene que aprender en bachillerato, en cambio se propone que el profesor también entregue conocimientos al estudiante de manera declarativa, que se ajusten con las estructuras cognitivas previas de los alumnos para lograr un aprendizaje significativo.

A manera de resumen, desde la postura constructivista, el aprendizaje se vuelve significativo cuando el estudiante logra adquirir nuevos conocimientos mediante la experiencia propia en entornos de descubrimiento y logra, además, vincular estos conocimientos nuevos con sus concepciones cognitivas previas. Al pensar entonces en una estrategia de aprendizaje para la ciencia basada en el constructivismo, no se deberían de dejar fuera las actividades que supongan para el estudiante un descubrimiento por cuenta propia que además deberían estar supervisadas por el docente y tampoco se debería escatimar en actividades que llevan al estudiante a reflexionar sobre la relación que tiene los nuevos descubrimientos con sus conocimientos previos sobre el tópico.

2.3 Taxonomía EROA

Además de los paradigmas, se han realizado distintos esfuerzos por explicar cómo se lleva a cabo el proceso de aprendizaje en los individuos, algunos de estos esfuerzos han culminado en clasificaciones o taxonomías que jerarquizan y distinguen distintas etapas o características del proceso de aprendizaje. Las explicaciones más populares para describir este proceso son la taxonomía de Bloom, desarrollada en 1956, la taxonomía Estructura del Resultado de Aprendizaje Observado (EROA) o SOLO por sus siglas en inglés, desarrollada por Biggs y Collis en 1982, y la taxonomía Fink desarrollada en 2003. Gracias a estas taxonomías es posible reconocer en qué etapa del proceso de aprendizaje se encuentra el individuo. Para el propósito de este trabajo, se centrará la atención solamente en la taxonomía EROA.

La taxonomía EROA intenta describir cómo es que los individuos o estudiantes que se encuentran en el proceso de aprendizaje pasan de una etapa de aprendizaje superficial a una etapa de aprendizaje profundo de una manera clara y estructurada.

Biggs y Collis (1982) proponen las siguientes etapas dentro del proceso de aprendizaje, comenzando por el nivel más bajo:

Preestructural: En este nivel el estudiante aún no tiene comprensión sobre la cuestión central de estudio y puede o podría recurrir a diversas estrategias para ocultar su falta de conocimiento o comprensión. El estudiante puede tener información, pero no realiza la tarea de manera adecuada, la información que posee puede ser irrelevante y no es capaz de llegar a respuestas acertadas sin una gran cantidad de ayuda.

Uniestructural: El estudiante puede haber captado cierto aspecto de la cuestión, pero su comprensión es limitada o carece de relación entre las estructuras. Uno o pocos aspectos de la tarea son realizados correctamente.

Multiestructural: En esta etapa el estudiante muestra que conoce muchos aspectos de la tarea, pero no muestra evidencias suficientes que indiquen que ha comprendido la relación de estos hechos como un todo. Las distintas piezas de información que se tiene son tratados de manera separada.

Relacional: En este nivel todas las partes relevantes e importantes de la tarea o cuestión se encuentran relacionados e integrados de manera coherente, de tal modo que se logra una comprensión adecuada.

Abstracto ampliado: En este último punto, el cual además describe la comprensión más completa. El estudiante va más allá de lo comprendido en la etapa relacional, su comprensión alcanza un nivel superior, experimenta de manera libre y le encuentra nuevos sentidos a su comprensión relacional, estas nuevas ideas las utiliza como herramienta de abstracción para generalizar, reflexionar, crear e incluso predecir resultados.

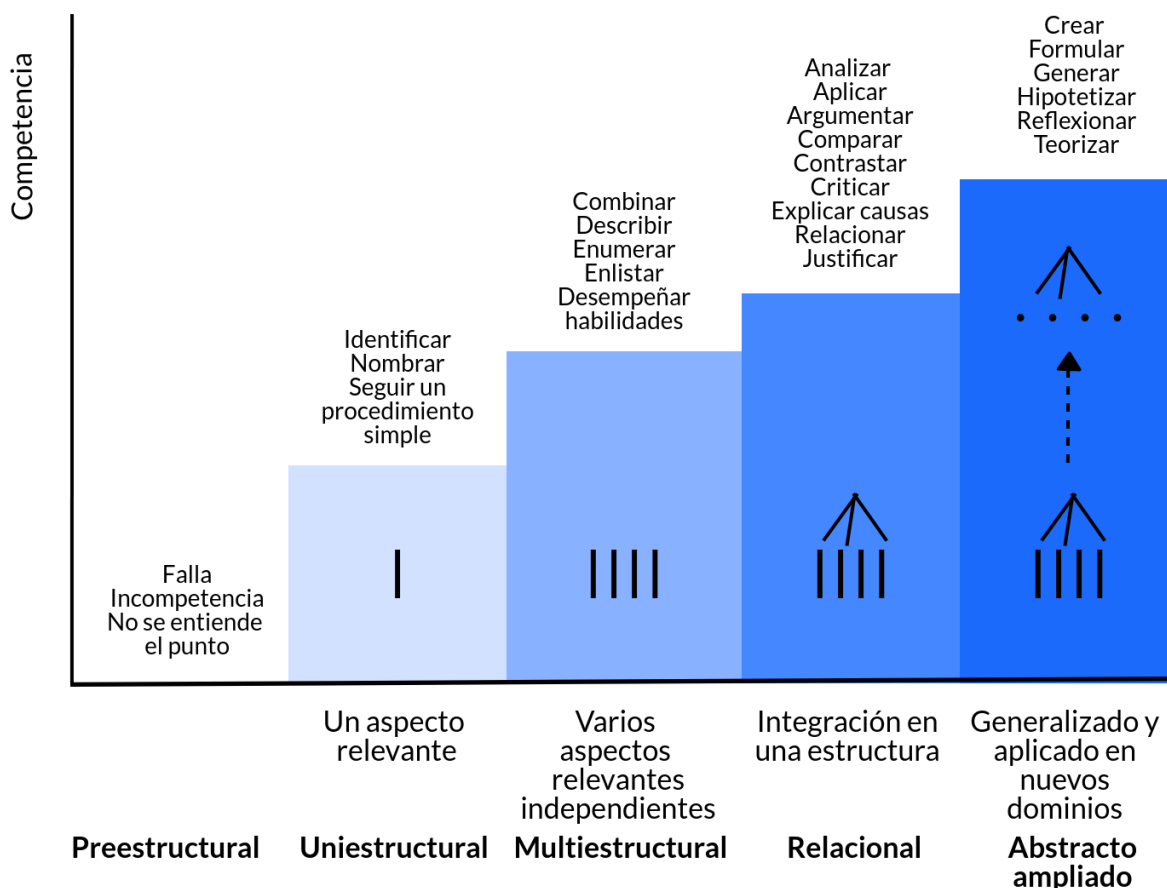


Figura 8. Taxonomía SOLO, con verbos ejemplo. (Biggs, 2016)

La valoración de las primeras tres etapas (preestructural, uniestructural y multiestructural) suele ser cuantitativa, pues se mide la cantidad de información y de aspectos que el estudiante a logrado captar, mientras que para las últimas dos etapas (relacional y abstracto ampliado) se sugiere una valoración cualitativa que se base en la sofisticación de la lógica utilizada para la respuesta del individuo; sin embargo, si al estudiante se le ha comunicado previamente una respuesta sofisticada para responder a la cuestión o tarea asignada, se necesitará que comprendan muy poco de esta para que la reproduzcan sin tener realmente una comprensión (Biggs, 2017)

Según lo analizado, el conocimiento de la taxonomía EROA podría ayudar a los profesores a realizar una mejor planeación de las experiencias o actividades de

aprendizaje para el investigador novato y le permitiría realizar una mejor retroalimentación sobre el avance del estudiante, ya que se podría saber mejor en qué etapa del aprendizaje se encuentra el mismo, además de ayudar a identificar las áreas de mejora en las cuales se puede incidir positivamente para mejorar el aprendizaje del alumno.

El utilizar la taxonomía EROA puede ayudar al profesor a tener más claro el nivel de comprensión que quiere lograr en sus estudiantes con su estrategia de aprendizaje, es decir, puede ayudar a considerar la profundidad de los aprendizajes que se intentarán promover en el practicante de ciencia novato. Existe una serie de verbos que sirven para seleccionar el tipo de actividades a desarrollar de acuerdo al nivel de comprensión que se quiera lograr; por ejemplo, para una actividad inicial de comprensión se le puede pedir a los estudiantes actividades como definir, enunciar e identificar, ideas y fenómenos básicos; más tarde, a medida que el estudiante encuentre relaciones entre los datos que en un principio parecían independientes se le puede requerir que realice actividades como secuenciar, contrastar y explicar. Por último, cuando estudiante se sienta cómodo con lo que sabe, se puede proceder a la etapa más avanzada en la cual se le requerirá que realice sus propias hipótesis, justifique o prediga determinado fenómeno o problema. Sin embargo, los beneficios no son solamente para mejorar la enseñanza del profesor, con esta taxonomía se puede ayudar a que el estudiante tenga una idea más clara sobre el desempeño propio y que además obtenga retroalimentación sobre en qué etapa de comprensión se encuentra y qué debe hacer para seguir avanzando hasta llegar a una comprensión más avanzada.

De acuerdo con las propuestas y paradigmas anteriores podríamos tener ahora una idea más clara de cómo planear una estrategia de enseñanza para el estudiante con el objetivo de lograr un aprendizaje más significativo y una comprensión más profunda en los temas de ciencia. De manera más concreta, se busca que la estrategia deseada para este proyecto contenga los siguientes elementos:

Actividades que permitan al estudiante relacionar los conceptos que está aprendiendo, o está por aprender, con sus conocimientos previos. Se desea incluir tareas que promuevan la reflexión sobre como la nueva información se ajusta con lo que se sabe previamente, para esto se puede comenzar explorando que es lo que el estudiante ya sabe acerca de determinado tópico y a medida que se avance en la estrategia será necesario detenerse para reflexionar en cómo la nueva información ha cambiado (si es que lo hace) las ideas previas que se tenían sobre el tema.

Tareas de descubrimiento por cuenta propia. En el nuevo rol que se propone para el estudiante como un investigador o científico novato, se requerirá que el estudiante, con la supervisión del docente, realice su propia indagación sobre determinado tema. Es importante que, aunque no por completo, una buena parte de la nueva información que adquirirá el estudiante llegue a ellos gracias a su propia actividad de descubrimiento y no se les sea entregada en su totalidad por el docente. Se aspira a que el estudiante tome un papel activo y responsable en su tarea de aprendizaje como lo recomienda el constructivismo.

Actividades coherentes con el nivel de desarrollo cognitivo. Como se infiere, los estudiantes de bachillerato se encuentran en una etapa en la cual puede alcanzar un pensamiento abstracto avanzado. Se encuentran en una etapa de operaciones formales por lo tanto son capaces de razonar sobre conceptos abstractos como la gravedad, sin embargo, para llegar a una etapa de comprensión avanzada, el estudiante primero debe de pasar por las etapas de aprendizaje más básicas en el orden propuesto por la taxonomía EROA. Es por esto que las actividades a desarrollar en la estrategia deberán de ser graduales en cuanto al nivel de comprensión que se espera de estudiante. Iniciando por la etapa más básica en la cual se le pedirá al estudiante que identifique características y relaciones básicas entre conceptos, hasta la etapa más avanzada en la cual el estudiante tendrá que realizar sus propias analogías, suposiciones y predicciones para resolver algún problema propuesto.

Retroalimentación formativa. No obstante, el papel activo e independiente que se propone para el estudiante, es necesario indicar que no se debe de dejar desarrollar las actividades de aprendizaje del estudiante sin supervisión y retroalimentación activa del profesor. Aunque el estudiante desarrollará ciertas actividades de manera independiente, es papel del docente guiar al investigador novato para evitar que se pueda perder en las diferentes líneas de indagación que surgen de manera natural al analizar un problema. El docente, como facilitador del escenario de aprendizaje al que se expone el estudiante, deberá de proveer estímulos formativos para encaminar el accionar del aprendiente.

3. Aplicaciones móviles de apoyo en la educación

El número de aplicaciones (apps) disponibles para los usuarios de dispositivos móviles aumenta día con día. Ciertamente algunas son más útiles o más populares que otras. Los usos que se le dan a las aplicaciones son variados, van desde el ámbito del entretenimiento hasta la ingeniería y la medicina, entre otras. La educación no es la excepción, desde hace ya varios años las instituciones educativas están invirtiendo recursos en el desarrollo de materiales que aprovechen las ventajas de los dispositivos móviles.

En el presente trabajo nos enfocaremos en revisar algunas de las aplicaciones creadas con el propósito de promover la adquisición de conocimientos, esto con el propósito de obtener orientación sobre las características con las que debería contar una app que promueva el aprendizaje sobre los temas de gravedad y caída libre en los estudiantes de bachillerato.

Idealmente, una aplicación debería explotar las ventajas que ofrecen las tecnologías multimedia y los medios interactivos para mejorar la atención de los estudiantes y acercarlos de manera tentadora y divertida hacia temas de Física que normalmente crean en los estudiantes un sentimiento de rechazo o frustración.

Las herramientas interactivas de aprendizaje han sido utilizadas en las aulas de educación básica desde hace años, la importancia de estas herramientas radica en que presentan para los estudiantes un estímulo adicional que las herramientas tradicionales de enseñanza como son los materiales impresos no ofrecen. En el mismo sentido, las aplicaciones móviles forman parte de la vida cotidiana de la mayoría de los estudiantes de bachillerato, incluso en las instituciones más apartadas existen estudiantes que cuentan ya con dispositivos móviles capaces de ejecutar dichas aplicaciones que pueden ser interactivas.

Los estudiantes de bachillerato presentan un reto especial para los desarrolladores de herramientas didácticas interactivas, la mayoría de dichas

herramientas en el mercado están diseñadas para niños en etapas tempranas de desarrollo posiblemente por el hecho de que estudiantes en etapas más tardías, en especial alumnos universitarios, requieren de un entendimiento más profundo de los conceptos estudiados que difícilmente se puede lograr con las herramientas disponibles en el mercado o que por el grado de especialización resulta poco redituable el diseño de una herramienta interactiva tan compleja. Es por esta razón que los estudiantes de bachillerato disponen de pocas herramientas interactivas enfocadas directamente a atender su etapa escolar.

Para muestra de esto, una búsqueda rápida en los principales buscadores de aplicaciones puede dar información útil, se decidió realizar la búsqueda en Google Play, que es la plataforma oficial del sistema operativo Android. Se decidió hacerlo en este sistema operativo debido a que es con el que cuentan la mayoría de los dispositivos móviles de México (75%) y la tendencia se prevé que continúe hasta al menos finales de 2017 (Guglielmo, 2013).

Una búsqueda con la palabra *Física* arroja en su gran mayoría rompecabezas y juegos para ejercitar las habilidades de pensamiento espacial los cuales no fueron considerados para el análisis en este trabajo, ya que no persiguen los mismos objetivos didácticos que este proyecto pretende.

La app de Física que cuenta con mayor número de descargas Pocket Physics del desarrollador Geckonization, cuenta hasta la fecha de este trabajo con más de 1 millón de descargas y una calificación promedio de 4.1 estrellas de 5 posibles. Esta herramienta presenta una interfaz para el usuario bastante amigable y atractiva. Los temas que abarca coinciden con la mayoría de los contenidos del plan de estudios del bachillerato para los subsistemas de la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria; sin embargo, un gran inconveniente es que el contenido está en idioma inglés lo cual dificulta su utilización en el contexto actual de la mayoría de las instituciones de bachillerato públicas del país. Otro inconveniente es que la app es básicamente un compendio de conceptos, definiciones y modelos matemáticos agrupados que son poco interactivos, posee

pocos ejemplos y no aporta ninguna oportunidad para que el usuario practique o ponga a prueba su aprendizaje y, por consecuencia, no hay manera de medirlo.

La aplicación mejor calificada es Physics I & II Test Questions con un promedio de 4,5 estrellas de 5 posibles y con más de un millar de descargas hasta la fecha. Dicha aplicación es un poco más interactiva; sin embargo, no es una aplicación didáctica en sí ya que se limita en su totalidad a la comprobación del conocimiento adquirido por algún otro medio, es decir, se trata de un test de conocimientos interactivo que presenta al usuario una serie de preguntas y al final arroja los resultados obtenidos durante la prueba. Se encontraron varios inconvenientes con dicha aplicación, el primero es que no se recibe retroalimentación sobre la resolución de los problemas, el segundo es que el idioma de la aplicación es el inglés y, por último, que los contenidos son de nivel universitario, lo cual no cumple con las necesidades de los estudiantes de bachillerato.

La necesidad de una aplicación móvil educativa y didáctica de Física para estudiantes de nivel bachillerato en México evidencia ciertas carencias en la oferta que del mercado de aplicaciones móviles, siendo el idioma quizás la mayor limitante para utilizar las herramientas que ya se encuentran al alcance, después quizá se pueda mencionar como área de mejora el enfoque mismo de la aplicación que pocas veces es el adecuado con las opciones disponibles y por último el tipo de contenidos de las aplicaciones. Esto hace evidente la falta de herramientas interactivas de aprendizaje adecuadas en el ámbito de las aplicaciones móviles para la educación a nivel bachillerato.

Existen además ciertas preocupaciones que se suman a las carencias ya mencionadas.

1.- El hecho de que no existe un organismo regulador que certifique el contenido de las aplicaciones, las plataformas de Google Play y App Store tienen control sobre las aplicaciones que los desarrolladores ponen a disposición de los usuarios en sus

servidores; sin embargo, subir una aplicación en cualquiera de las categorías no es una tarea difícil y se requiere de poco esfuerzo para poner una aplicación en tales plataformas de descarga. Dicho esto, no debería ser problema que cualquier persona desarrolle una aplicación, pague una cuota de desarrollador y suba su aplicación a la categoría de educación para que quede disponible para su descarga por cualquier persona, lo cual nos lleva al siguiente punto.

2.- Cualquier persona puede descargar una app educativa y creer que por utilizarla se está aprendiendo. Existe un gran número de aplicaciones con errores, mismos que pueden ser de carácter conceptual, como ideas erróneas sobre determinados conceptos o ideas desactualizadas; y errores de funcionamiento como errores de código. Un profesor que planea utilizar una aplicación como apoyo para facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje debe añadir a su práctica docente la costumbre de revisar a detalle los contenidos de la aplicación para asegurarse que la aplicación está libre de errores tanto conceptuales como de funcionamiento.

Hasta este punto, hemos señalado las carencias y retos que se deben cubrir para contar con una aplicación apropiada dentro del ámbito de la Física para los estudiantes de bachillerato en México y es momento de rescatar las buenas prácticas que se han identificado en trabajos previos y que pueden ser de utilidad para el desarrollo de aplicaciones educativas.

3.1 Trabajos previos

Algunos trabajos previos describen intentos de incorporar aplicaciones para enseñar algunos conceptos de las ciencias y de la disciplina de Física, por ejemplo, Van der Graaf, Segers & Verhoeven (2016) evaluaron una aplicación móvil para enseñar a niños de preescolar conceptos de Física como son el funcionamiento de palancas, planos inclinados y péndulos. La aplicación consiste en un juego en el cual se debe dar de comer y beber a un hipopótamo hambriento, esto mediante la modificación de las masas, las inclinaciones, las longitudes y otras variables

modificables del juego a fin de lograr configuraciones que hicieran llegar la comida a la boca del hipopótamo desde un sube y baja, una resbaladilla o un columpio, ver figura 9.

El estudio se realizó con un grupo de 75 estudiantes de edades de entre 4 y 6 años, el estudio pretendía medir si los puntajes de exploración del juego, y la eficiencia (porcentaje de intentos correctos entre totales) estaban relacionados, dicha relación no fue encontrada. Aunque el estudio no midió el grado de adquisición conceptual de los estudiantes sobre las leyes físicas involucradas, sí proporcionó datos importantes, como el hecho de que, para los estudiantes analizados, su desempeño en el juego estaba relacionado con el número de variables que tenían que controlar, entre mayor era el número de variables, más difícil y tardado resultaba la solución de los acertijos.



Figura 9. Capturas de pantalla de la aplicación Hippo: De izquierda a derecha, resbaladillas, sube y baja y péndulo. Reimpresión de “Discovering the laws of physics with a serious game in kindergarten”, por Van der Graff, Joep & Segers, 2016, Computers & Education, Vol 101, p. 171. Copyright 2016 por Elsevier Ltd. All rights reserved. Reimpresión con permiso.

Song (2014) Realizó un estudio que duró alrededor de un año denominado “Bring Your Own Device” (BYOD) para la exploración científica en una clase de 28 estudiantes de sexto grado de una escuela primaria en Japón, el cual adoptó una estrategia de estudio de casos para aprender sobre la anatomía de los peces. El estudio plantea una investigación de cómo los estudiantes progresan en la indagación científica en un entorno de aprendizaje más continuo, apoyado por sus propios dispositivos móviles que llevan a la escuela.

El estudio incluyó test antes y después de la intervención, observaciones de clases y diarios de campo, al final del estudio se demostró que los estudiantes avanzaron en su comprensión de la anatomía de los peces más allá de lo que se encontraba disponible en el libro de texto. Esto se logró gracias a que los estudiantes tenían oportunidad de utilizar sus dispositivos móviles en actividades guiadas por el docente y tenían acceso a internet para investigar sobre los temas. Cabe mencionar que en este proyecto no se necesitó de una aplicación propia, se utilizaron 3 aplicaciones disponibles en el mercado: Edmodo, una plataforma social de aprendizaje; Evernote, una aplicación para tomar notas y compartir información; y la app Skitch, para hacer notas con imágenes. Las aplicaciones descritas fomentan el aprendizaje colaborativo el cual fue de ayuda en el proyecto.

Otro descubrimiento hecho en la investigación es que al parecer los estudiantes demostraban tener un mayor sentido de seguridad y control sobre su propio aprendizaje, que antes no tenían cuando utilizaban los dispositivos móviles proporcionados por la escuela. Además, el acceso continuo en tiempo real a los recursos en línea mediante la señal de wifi les facilitó el desarrollo de su habilidad de indagación científica.

Ahmed y Parsons (2013), desarrollaron una aplicación llamada *ThinknLearn*, (Figura 10) la cual está diseñada para asistir a estudiantes de preparatoria en la generación de hipótesis durante investigaciones de indagación abductiva en temas de transferencia de energía. En la aplicación se promueven cuatro actividades del razonamiento inductivo (Oh, 2011; Ahmed y Parsons, 2013) exploración, examinación, selección y explicación.

En una primera etapa se presentan a los estudiantes tres recipientes de metal de diferente color con el objetivo de comparar la intensidad con la que irradian energía dependiendo del color de su superficie, para lo cual, los estudiantes tienen la oportunidad de inferir las temperaturas. En la etapa de examinación se presentan a los estudiantes una serie de preguntas sobre las observaciones realizadas para promover sus habilidades de observación y pensamiento crítico que los orientan hacia el desarrollo de una hipótesis. En la etapa de selección se les pide a los estudiantes elegir de entre un conjunto de hipótesis propuestas la que consideren

más adecuada. Por último, los estudiantes proponen una explicación con ayuda de la aplicación móvil con el propósito de que logren la comprensión del tema, misma que posteriormente se verifica a partir de una serie de pruebas.

El tamaño de la muestra fue de 161 estudiantes de bachillerato. Se dividió la muestra en dos grupos, un grupo de control que realizó el experimento de manera tradicional, y el grupo experimental que utilizó la aplicación para revisar el tema. Los resultados mostraron mejoras en el aprendizaje del grupo experimental con respecto al grupo de control en las pruebas posteriores a la aplicación de la estrategia; además, el grupo experimental mantuvo esta ventaja en los exámenes de retención posteriores y desarrollaron actitudes positivas hacia el aprendizaje con dispositivos móviles.

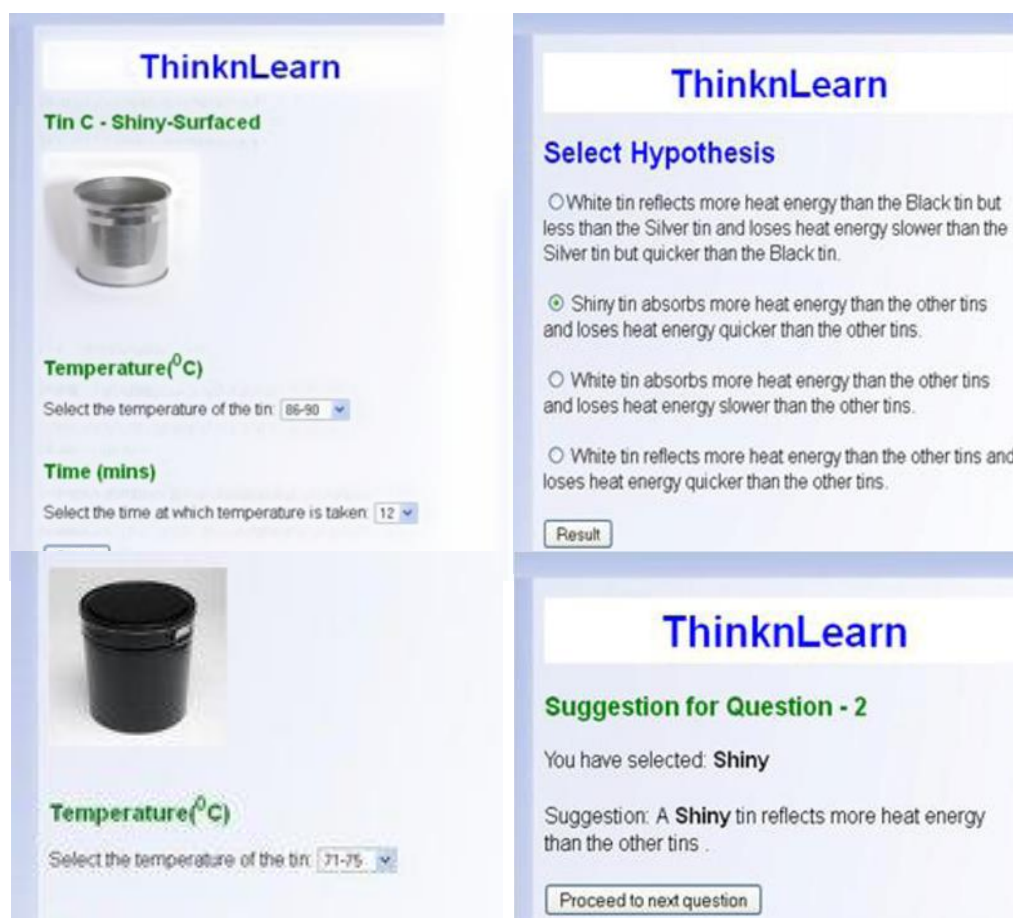


Figura 10. Capturas de pantalla de plataforma ThinknLearn. Adaptada de sourceforge, por Amhed, S., y Parsons, D. 2013. Extraído de: <https://sourceforge.net/projects/thinknlearn/>. Copyright © 2012 Elsevier Ltd. All rights reserved. Adaptada con permiso.

Hung, Hwang y Wang (2014) desarrollaron una investigación para indagar sobre el planteamiento de problemas y los mapas mentales como estrategias complementarias y simultáneas en aprendizaje móvil, el cual básicamente se realiza a través de dispositivos móviles conectados a una red en la cual interactúan alumnos y profesores. El estudio se realizó en un curso de ciencias naturales de primaria. La investigación tuvo un componente de trabajo de campo ya que la actividad se realizó al aire libre con el objetivo de aprender sobre plantas. La aplicación utilizada, proveía a los estudiantes de un hipervínculo para que pudieran observar plantas y una plataforma en línea para que pudieran realizar mapas mentales.

El estudio se realizó con un grupo de 96 estudiantes de sexto grado. La actividad duró 80 minutos. 29 estudiantes estuvieron en una clase donde los estudiantes aprendieron con el método simultáneo de planteamiento de problemas y mapas mentales; 28 estudiantes estuvieron en una clase donde el aprendizaje era basado en planteamiento de problemas; y la tercera clase, con 29 estudiantes trabajaron con el aprendizaje móvil clásico, el cual se refiere a una especie de viaje guiado por la aplicación donde se ofrece toda la información en forma de experiencia de aprendizaje.

De los resultados se observó que se alcanzaron mejores logros de aprendizaje con la estrategia de planteamiento de problemas que con la estrategia simultánea de planteamiento de problemas y mapas mentales, lo cual nos indica que, para el aprendizaje en campo, la estrategia más simple de planteamiento de problemas era más adecuada. El grupo de control o grupo que trabajo con el aprendizaje móvil clásico fue el que obtuvo el peor desempeño de los tres grupos.

Otra aplicación interesante es Solar Walk, disponible solamente a través de la tienda virtual app store de la plataforma IOS para productos de la empresa Apple. Dicha aplicación es una simulación del Sistema Solar en tercera dimensión que trata de corregir las ideas erróneas acerca de las escalas de los cuerpos celestes que integran el Sistema Solar. Schneps et al. (2014) indagaron si el hecho de exponer a los estudiantes a simulaciones virtuales en tercera dimensión mejoraba la comprensión de ideas en las que comúnmente prevalecen errores.

En el estudio, 152 alumnos de bachillerato inscritos en clases de matemáticas en una escuela de Massachusetts utilizaron iPads para ejecutar la aplicación basada en la simulación del Sistema Solar, el aprendizaje fue medido utilizando un inventario de conceptos de opción múltiple. El experimento comparó dos condiciones, el grupo A con 63 estudiantes, el cual era expuesto a una simulación que mostraba la escala de los planetas de manera precisa y el grupo B, con 89 estudiantes, en la que la escala de los planetas era exagerada a propósito con respecto a sus órbitas. El estudio duró dos días con interacciones con la aplicación de veinte minutos cada día, en el día 2 las condiciones de los grupos se invirtieron.

Se encontró que en ambos casos se mejoró la comprensión sobre los temas respecto a una sesión de educación tradicional a pesar del corto tiempo de exposición a la app. Además, el modo de simulación que es más preciso en cuanto a las escalas ayudó a mejorar los conceptos erróneos sobre las escalas de los cuerpos celestes del Sistema Solar.

Lin et al. (2013) realizó un estudio sobre cómo una simulación de realidad aumentada colaborativa apoyaba la construcción de conocimiento en temas de colisión elástica en un grupo de 40 estudiantes de licenciatura.

En el estudio, los estudiantes fueron divididos en parejas para discutir una tarea asignada ya fuese con una simulación de realidad virtual o con una simulación tradicional en dos dimensiones. El progreso de los estudiantes fue medido con un test previo y uno posterior; además, se midieron comportamientos de construcción de conocimientos de manera cualitativa.

Los resultados indicaron que los estudiantes que aprendieron con el sistema de simulación de realidad aumentada mostraron logros de aprendizaje más significativos en comparación de los que aprendieron mediante la simulación tradicional en dos dimensiones.

3.2 Aplicación desarrollada en este proyecto



Figura 11. Pantalla de bienvenida de la aplicación *Gravedapp*.

Para los propósitos del presente trabajo se desarrolló una aplicación llamada *Gravedapp*, (Figura 11), la cual está disponible en Google Play para su descarga gratuita. Esta app fue desarrollada de forma congruente con los contenidos del programa de estudios de Física I para bachilleratos tecnológicos que además están presentes en la mayoría de los sistemas de nivel medio superior y que corresponden a los temas de fuerza gravitacional, aceleración debido a la fuerza de gravedad y caída libre.

El desarrollo de la aplicación se realizó mediante el uso de la plataforma Thunkable. La cual es una plataforma abierta de desarrollo de aplicaciones móviles en línea, a la que se puede acceder desde prácticamente cualquier navegador con una conexión a internet. La aplicación fue desarrollada para dispositivos móviles que cuenten con el sistema operativo Android 4.0 en adelante.

La función de la aplicación es la de proporcionar al estudiante un entorno de indagación en el tema de gravitación universal mediante un experimento de caída libre.

De manera general las pantallas que conforman la aplicación son la pantalla de bienvenida y las pantallas de experimentación. La primera sirve como antesala para presentar el nombre de la aplicación y se pide la acción del usuario para ingresar a la aplicación. La segunda pantalla es la pantalla de la aplicación donde se realiza la experimentación, en esta pantalla se presentan al usuario los elementos necesarios para diseñar el experimento de caída libre, el cual consistirá en dejar caer objetos de masa variable, en diferentes escenarios y desde distintas alturas.

A continuación, se muestran los elementos principales que componen la aplicación. En la Figura 11 se observa la pantalla de bienvenida. En orden descendente se presentan ante el usuario los botones “¡COMENZAR!”, ¡INTENTA ALGO MÁS! Y “ACERCA DE” en los cuales se puede acceder al Nivel 1, Nivel 2 de simulación y a la pantalla de créditos, respectivamente.

En la pantalla “¡COMENZAR!”, o pantalla de caso simplificado (Figura 12), se accede al primer nivel de experimentación. Es aquí donde se presentan al usuario los elementos necesarios para diseñar el experimento de caída libre, el cual consistirá en dejar caer una pelota de masa variable, en diferentes planetas y desde distintas alturas.

En orden descendente se presentan ante el usuario dos botones desplegables en los cuales pueden ser elegidos distintos escenarios para el experimento, como son el planeta Tierra, el planeta Marte y la Luna. Una vez elegidos ambos escenarios se pide al usuario elegir la masa de una pelota en cada escenario. En seguida se pide al usuario elegir la altura desde el cual se dejarán caer las pelotas. En la parte inferior de la pantalla se muestran los botones que permiten al usuario iniciar la simulación (¡Experimenta!) y reiniciarla (Reinicio). Por último, se muestra una sección en la cual se puede observar tiempo que tardó la pelota en llegar desde la altura que fue liberada, hasta el suelo.



Figura 12. Pantalla del caso simplificado o nivel 1 de la aplicación *Gravedapp*

En la pantalla “¡INTENTA ALGO MÁS!”, sección de la app que incluye la influencia del aire (Figura 13), se accede al segundo nivel de experimentación. Al igual que en la sección “¡COMENZAR!”, de nueva cuenta se presentan al usuario los elementos necesarios para diseñar el experimento de caída libre, con la diferencia que consiste en agregar la opción de experimentar con o sin influencia del aire. Del mismo modo, se presentan ante el usuario dos botones desplegables en los cuales pueden ser elegidos distintos escenarios para el experimento, como son el planeta Tierra, el planeta Marte y la Luna. Una vez elegidos ambos escenarios se pide al usuario elegir entre distintos objetos (canicas o plumas) con diferentes formas y masas para la experimentación. En seguida se pide al usuario incluir o retirar la influencia del aire en la caída. En la parte inferior de la pantalla se muestran los botones que permiten al usuario iniciar la simulación (¡Experimenta!) y reiniciarla (Reinicio). Por último, se muestra una sección en la cual se puede observar tiempo que tardó la pelota en llegar desde la hasta el suelo.



Figura 13. Pantalla del caso con influencia del aire o nivel 2 de la aplicación *Gravedapp*.

En ambos niveles, el usuario se encuentra frente a escenarios de simulación para objetos en caída libre en distintos cuerpos celestes como son la Luna, el planeta Tierra y el planeta Marte. Además existen ciertas variables con las cuales el usuario puede experimentar (Figura 14) y tales son: la masa de los objetos a dejar caer, el tipo de objetos (una esfera sólida o plumas), la altura desde la cual se dejan caer los objetos, el cuerpo celeste en el cual se realiza el experimento (escenario) y la resistencia del aire (en caso de aplicar). El objetivo de esta aplicación es la de servir como herramienta de simulación para el usuario y presentar los escenarios de descubrimiento por cuenta propia al estudiante.

The screenshot shows the Gravedapp application interface with a table of experimental variables. The table has four columns: 'Gravedapp', 'Gravedapp', '¿? altura (m)', and '¿? masa (kg)'. The rows represent different scenarios on Earth, the Moon, and Mars, with various objects and their masses and heights.

Gravedapp	Gravedapp	¿? altura (m)	¿? masa (kg)
Tierra	Canica 40g	5	1
Luna	Canica de 30g	10	4
Marte	Canica de 10g	20	15
	Pluma de avestruz (40g)	30	50
	Pluma de águila (30g)	40	
	Pluma de golondrina (10g)	50	

Figura 14. Algunas de las variables de experimentación de la aplicación *Gravedapp*. De izquierda a derecha: escenario, objeto a dejar caer, altura el objeto, masa del objeto.

En la figura 15 se muestra un diagrama de flujo sobre el funcionamiento básico de la aplicación.

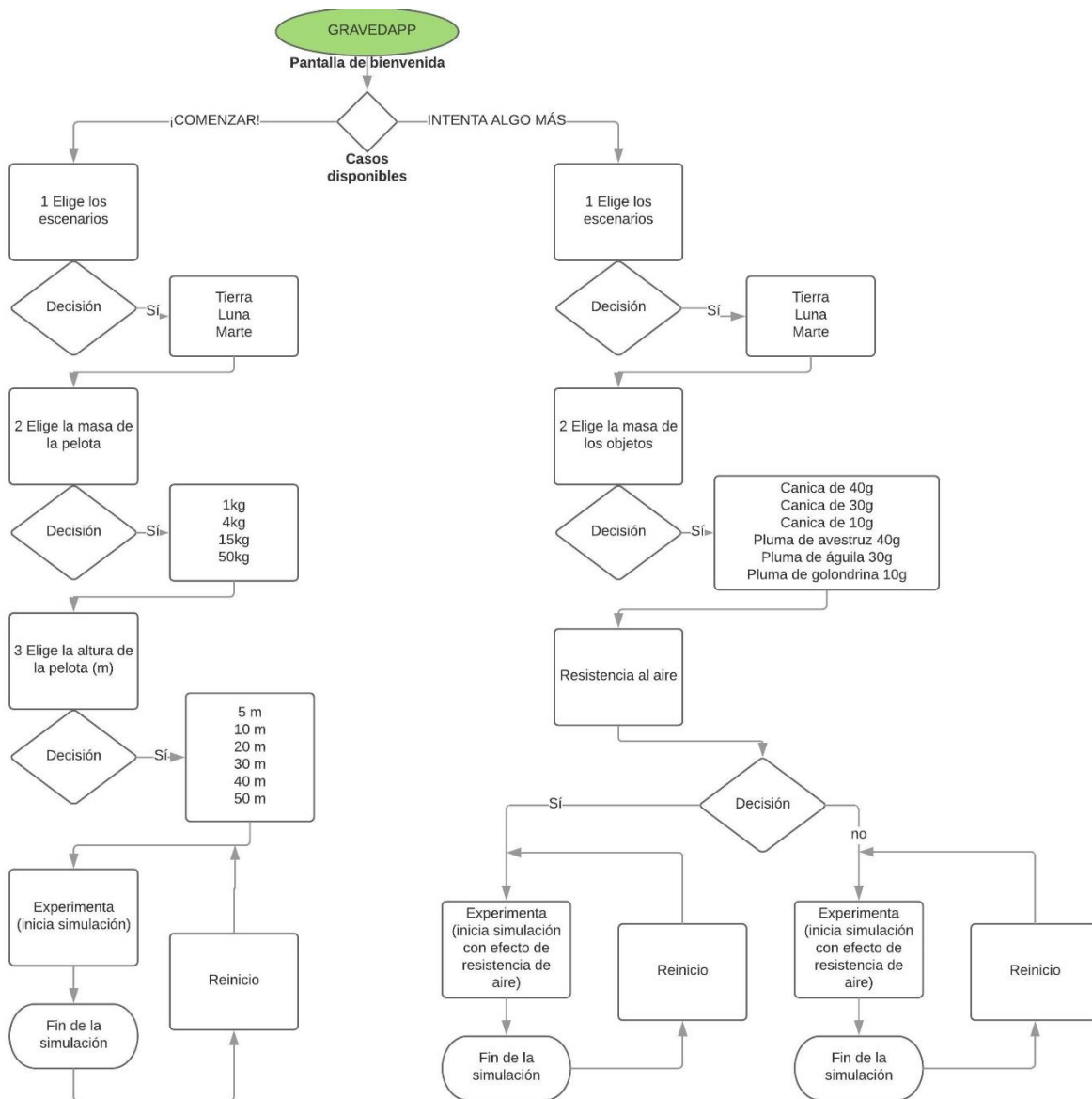


Figura 15. Diagrama de flujo de las funciones básicas de la aplicación Gravedapp.

Como ya se mencionó, durante la simulación en la aplicación móvil se presentan la opción de comparar experimentos con diferentes variables que lo ayudarán a comprender el fenómeno de la atracción gravitacional en distintos escenarios como la Tierra, Luna y Marte, esto al mismo tiempo que el estudiante de nivel medio superior juega con variables como la masa de los objetos y la altura a la que se dejan caer.

Además de la retroalimentación visual que los estudiantes obtienen de observar la simulación del objeto cayendo en la superficie de los distintos cuerpos celestes, la aplicación ofrece a los estudiantes un cronómetro en la parte inferior de la pantalla que muestra el tiempo exacto que le toma al objeto en caída libre en llegar al suelo desde el momento que se deja caer. Para iniciar cada experimento dentro de la aplicación basta con presionar el botón azul marcado con la leyenda *¡Experimenta!* una vez elegidas las variables deseadas; y para reiniciar el experimento simplemente presionar el botón rojo con el nombre *Reinicio*. De este modo el estudiante comenzará a jugar con las variables para llegar conseguir sus descubrimientos propios, mismos que serán guiados por la aplicación, así como por la estrategia didáctica estructurada por el profesor.

Los descubrimientos propios que se espera que el estudiante alcance con el acompañamiento de los dos niveles de la aplicación son los siguientes:

Nivel 1

- Los cuerpos celestes ejercen una atracción gravitacional debido a su masa.
- La aceleración debida a la atracción gravitacional que experimenta un objeto con la misma masa es distinta en la Tierra, en la Luna y en Marte.
- La atracción gravitacional afecta el tiempo de caída de los objetos.
- Sin una atmósfera que ofrezca resistencia, la masa de los objetos no influye en el tiempo de caída de los mismos sobre la superficie de los planetas

Nivel 2

- En presencia de una atmósfera que ofrezca resistencia, la masa de los objetos influye en el tiempo de caída de los mismos sobre la superficie de los planetas.
- Sin una atmósfera que ofrezca resistencia, la forma de los objetos no influye en el tiempo de caída de los mismos.
- En presencia de una atmósfera que ofrezca resistencia, la forma de los objetos influye en el tiempo de caída de los mismos.

En ambos niveles

-La fuerza de atracción gravitacional que experimenta una masa m en la Tierra es mayor que la fuerza gravitacional que experimenta la misma masa m en Marte y aún más grande que la que experimentaría en la Luna.

-La fuerza de atracción gravitacional que experimenta una masa m en Marte es mayor que la fuerza gravitacional que experimenta la misma masa m en la Luna, pero es menor que la que experimenta en la Tierra.

-La fuerza de atracción gravitacional que experimenta una masa m en la Luna es menor que la fuerza gravitacional que experimenta la misma masa m en Marte, y aún menor que la que experimenta en la Tierra.

En cuanto al acceso a la aplicación para los estudiantes, dicha aplicación fue proporcionada a los integrantes del grupo experimental hasta el momento de su utilización, se compartió con ellos por medio de bluetooth y a través de la página de Google Play.

4. Metodología

La reflexión hecha durante los capítulos previos ha permitido la identificación de una propuesta metodológica en vista de alcanzar los objetivos planteados. El uso de la aplicación móvil de simulación acompañada de una secuencia didáctica estructurada bajo la taxonomía EROA promoverá el aprendizaje significativo en los alumnos y ayuda a corregir ideas en el tema de gravitación universal y caída libre.

4.1 Contexto local

Como panorama general, los participantes de esta investigación son jóvenes estudiantes del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario (CBTA) número 181 ubicado en el municipio de Maravatío en el estado de Michoacán. Se trata de estudiantes de nivel medio superior proactivos inscritos en una institución que da la oportunidad de desarrollar habilidades complementarias a las promovidas por la enseñanza tradicional. La institución a la que asisten ofrece programas culturales y deportivos denominados *clubes* de los cuales los estudiantes tienen libre elección sobre el tipo de club al que se quieren incorporar, las opciones abarcan desde danza, basquetbol y ajedrez, hasta robótica, box y skateboarding.

Actualmente los estudiantes asisten a clases con profesores que se encuentran en un intervalo de edad bastante amplio. Y con la reciente incorporación de docentes jóvenes, como resultado de los procesos de ingreso al Servicio Profesional Docente promovido por la Secretaría de Educación, los estudiantes reciben clases no sólo de profesores muy experimentados, quienes en su mayoría utilizan métodos tradicionales de enseñanza, como ellos mismos reconocen. Sino que también reciben clases de docentes con poca experiencia, pero que, en su mayoría, trabajan con el enfoque por competencias promovido por las autoridades educativas. Esta dicotomía entre estilos de enseñanza es en cierto modo una preocupación de las autoridades de la institución, pero las mismas autoridades también reconocen la riqueza de experiencias y estilos de enseñanza que esta heterogeneidad puede generar.

En una descripción más específica, los integrantes de los grupos analizados son estudiantes de entre 15 y 17 años que muestran una buena disposición para desempeñar la mayoría de actividades educativas, culturales y deportivas que se promueven.

Con respecto al contexto general de la institución a la que asisten los estudiantes, el CBTA número 181 pertenece a la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria (DGETA); se encuentra en Tungareo, Maravatío, Michoacán, calle del estudiante número 30, y es una de las escuelas de mejor nivel en la región con casi cuarenta años de existencia, de tal manera que se reciben jóvenes de los municipios aledaños de Maravatío y también de los municipios cercanos de Guanajuato. Es un plantel con turno matutino escolarizado y un sistema de educación abierta que se imparte los días sábados para personas mayores de edad. Por el momento, el plantel atiende aproximadamente a 1,000 estudiantes en 28 grupos, y dado que es un bachillerato bivalente, ofrece cuatro carreras técnicas: Técnico Agropecuario, Técnico en Desarrollo Sustentable, Técnico en Contabilidad, Técnico en Informática y Técnico en Ofimática. El plantel está ubicado en una zona marginada, cabe mencionar, que el 70% de la población estudiantil cuenta con becas federales, estatales, municipales y escolares.

La institución tiene un alto índice de aprobación y un bajo índice de deserción. Por esta razón, los grupos en el plantel son numerosos, con un promedio de 35 estudiantes por grupo, distribuidos en las carreras antes mencionadas. En el sistema escolarizado hay 26 grupos, 8 de tercer año (sexto semestre), 9 de segundo año (cuarto semestre) y de primer año 9 (segundo semestre) dando una totalidad de 979 estudiantes. Además de 2 grupos en el sistema de educación abierta para personas fuera de la edad escolar, 1 de tercer año (sexto semestre) y uno de segundo año (cuarto semestre), haciendo un total de 80 alumnos. Reuniendo ambas modalidades de estudio (escolarizada y educación abierta), la población estudiantil atendida es de 1050 alumnos.

El plantel cuenta con 26 aulas, 4 salas de cómputo, un laboratorio de suelos, un laboratorio de Química, una amplia zona de comedores, baños para ambos

géneros, auditorio, sala audiovisual, canchas de basquetbol y futbol, talleres de frutas y hortalizas, taller de carnes, una biblioteca, oficinas de servicios administrativos, un laboratorio de ensamble y estacionamiento para el personal. A pesar de contar con estas instalaciones y equipamiento existen carencias de algunos bienes y servicios que apoyan la modernización de la enseñanza, como la insuficiencia de proyectores y equipos multimedia, de un buen equipamiento de laboratorios y de equipos de cómputo, entre otros.

La región en la que se encuentra el CBTA número 181 es una zona de desarrollo agroindustrial. El municipio de Maravatío fue fundado antes que la ciudad de Morelia, pero a pesar de eso no ha tenido un crecimiento tan fructífero. La principal ocupación del municipio es el comercio y el cultivo de frutas y verduras, entre ellas las fresas. Algunas familias se dedican a la comercialización y exportación, mientras que otras se dedican a las labores del campo. Estas características han provocado que la zona conurbada de Michoacán tenga un crecimiento demográfico acelerado y de cierto modo dispar que conlleva, entre otras cosas, a un crecimiento económico desigual que ha resultado que los estudiantes que acuden a la escuela pertenezcan principalmente a la clase baja y media. En el aspecto económico, la preparatoria solo exige a los estudiantes el pago de una cuota de inscripción al semestre de alrededor de 800 pesos y algunos estudiantes reciben la condonación de esta cuota si no cuentan con el recurso.

En cuanto a los servicios a los que acceden los estudiantes, la mayoría de las familias de la región cuentan con agua potable, drenaje y electricidad; sin embargo, el servicio de internet es accesible solo a un porcentaje bajo de la población. Para compensar esto la escuela ofrece el servicio de Internet a los estudiantes de manera parcial, la mayoría de los estudiantes acceden a internet mediante su smartphone.

Para la investigación se eligieron dos grupos de cuarto semestre del CBTA número 181. Uno de los grupos es el grupo de control, el cual revisó los temas de manera tradicional apoyado con una estrategia basada en el uso del pizarrón y el libro de texto (IV A Ofimática); el otro grupo es el grupo experimental en el cual se aplicó una estrategia constructivista apoyada con la taxonomía EROA y la aplicación

móvil (III C Ofimática). La decisión de qué grupo sería el experimental y cuál el de control fue totalmente al azar para evitar sesgar los resultados.

El grupo IV A Ofimática (control) está conformado por 27 estudiantes 19 hombres y 8 mujeres. Por otra parte, el grupo IV C Ofimática (experimental) está conformado por 33 estudiantes, 14 mujeres y 19 varones. Ambos grupos cursan la Asignatura de Física I de acuerdo al programa Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria¹, en el mismo turno y con el mismo profesor en la institución mencionada.

4.2 Estrategia didáctica

Las estrategias didácticas a utilizar fueron dos. Ambas estrategias se elaboraron de acuerdo a los contenidos del programa de estudios vigente para la educación media superior llamado *Nuevo modelo educativo*² propuesto por el gobierno federal.

Para el grupo de control la estrategia fue realizada tomando como base el método expositivo, empleando el pizarrón, presentaciones digitales y libro de texto, la estrategia tiene una duración de dos sesiones de 100 minutos (Ver anexo 1). Por otra parte, para el grupo experimental, se elaboró una estrategia basada principalmente en el método de aprendizaje por descubrimiento, utilizando la aplicación de simulación Gravedapp diseñada para el presente trabajo, presentaciones digitales y ejercicios del libro de texto, la duración de esta estrategia es de dos sesiones de 100 minutos.

1 El contenido de este programa se puede revisar en línea en la siguiente dirección <http://cosdac.sems.gob.mx/portal/index.php/en-el-aula/normatividad-de-servicios-escolares-2-a-1>

2 Para más información sobre el nuevo modelo educativo se puede consultar en línea la dirección <http://www.sems.gob.mx/curriculoems/programas-de-estudio>

Como preámbulo para la estrategia, a pesar de la universalidad del concepto de gravedad y del aparente desarrollo en la instrucción desde las épocas de Aristóteles, Galileo y Newton, hoy en día existen varias interpretaciones y concepciones erróneas acerca de la gravedad, algunas de estas han demostrado ser complejas de entender, pareciera normal y entendible que los estudiantes de educación primaria y secundaria tengan estas ideas equivocadas. Sin embargo, existen en la actualidad evidencias claras que sugieren que las ideas aristotélicas sobre caída libre prevalecen en las mentes de los estudiantes de nivel medio superior, ideas que incluso parecen permanecer hasta la vida adulta a pesar de la cotidianeidad del concepto. Por tal motivo los propósitos de la estrategia son:

I Objetivos:

- El alumno establecerá relaciones entre la gravitación y la caída libre. En esta primera etapa el alumno tendrá una aproximación inicial al tema de gravedad en el que, mediante experimentación, identificará y describirá los conceptos y variables clave del tema, así como sus relaciones, con el propósito de comprender el comportamiento de los cuerpos bajo la acción de las fuerzas gravitacionales.
- El alumno será capaz de comparar, definir relaciones, explicar y teorizar sobre las ideas sobre el concepto de gravedad para alejarse de ideas erróneas y comprender de manera precisa la interacción gravitacional entre masas.

II Habilidades cognitivas a desarrollar

Observación: Se espera que los estudiantes observen las variables involucradas en la atracción gravitacional durante la simulación.

Comparación: Se planea que los estudiantes comparen distintos escenarios de caída libre con la finalidad de comprender el comportamiento de los cuerpos bajo la acción de las fuerzas gravitacionales.

Síntesis: Se preparan actividades que tienen como objetivo que el estudiante realice una composición propia sobre el concepto de la gravitación universal.

Dedución: Durante la simulación, y con ayuda de cuestionamientos, se encausará al estudiante a razonar deductivamente para llegar a un juicio propio a partir de las observaciones generales observadas a lo largo de la estrategia.

Predicción: En la etapa final de la estrategia se espera que el estudiante extrapole su conocimientos y reflexiones personales sobre el concepto de gravitación universal hacia escenarios hipotéticos no abordados previamente y se le pedirá que anticipe a los resultados basándose en sus conocimientos actuales.

III Relación del tema con otras disciplinas:

El tratamiento de los fenómenos físicos incluye un componente de modelación matemática, por lo cual se relaciona directamente con las asignaturas de cálculo, álgebra y matemáticas aplicadas.

Al trabajar con temas de ciencia relevantes al quehacer humano se relaciona con asignaturas como tecnología sociedad y valores (1 y 2), Física 2.

IV Métodos didácticos:

Uno de los métodos didácticos utilizados en la planeación es el aprendizaje mediante juegos de simulación, el cual forma parte del aprendizaje por descubrimiento. El beneficio que se obtiene al integrar al estudiante en la tarea de realizar sus propios descubrimientos de manera guiada, es que de este modo se asegura que el estudiante no sólo sea un espectador que replique los conocimientos del profesor, sino que obtenga un aprendizaje propio, enriquecido mediante su experiencia personal. La enseñanza entonces, debe estar enfocada en gran medida a la preparación de escenarios, en los cuales el estudiante ejecute actividades que lo lleven a realizar sus propios descubrimientos de manera supervisada por el profesor. Para preparar estos escenarios se decidió utilizar la herramienta de simulación, una app móvil que presenta al estudiante escenarios de caída libre e

interacción gravitacional en los cuales tendrá que utilizar habilidades de observación, experimentación y deducción para construir su propio conocimiento.

Por otra parte, se decide utilizar además el Método expositivo; Diaz Barriga y Hernández Rojas (2010) señalan la importancia de no permitir que todo el aprendizaje sea por descubrimiento, como alternativa, propone un aprendizaje verbal significativo, que resulta adecuado para abarcar los contenidos curriculares que se imparten en el nivel medio y superior. Es decir, el docente podría preparar los escenarios para que el estudiante llegara a sus propios descubrimientos, pero por motivos de tiempo y practicidad sería imposible que el estudiante elucidara por cuenta propia la totalidad de los conceptos que tiene que aprender en bachillerato, en cambio se propone que el profesor también entregue conocimientos al estudiante de manera declarativa. Para esta estrategia, el profesor presentará algunos temas de manera expositiva, como la manipulación matemática de los ejercicios sobre gravitación y la demostración de casos reales de gravitación.

V Actividades a realizar

Como se mencionó anteriormente, en la sección 2.3, una de las consideraciones para la realización de la estrategia didáctica fue el uso de la taxonomía EROA, que, entre otras ventajas, propone una serie de verbos que pueden servir como guía para la planeación de actividades de aprendizaje. Es por esto que las actividades a desarrollar en la estrategia son graduales en cuanto al nivel de comprensión que se espera de estudiante. Iniciando por la etapa más básica (enumerar, nombrar, enlistar), hasta la etapa más avanzada en la cual el estudiante tendrá que realizar actividades más complejas (teorizar, argumentar, explicar causas).

A continuación, se muestra una tabla con las actividades incluidas en la planeación experimental (la planeación completa que se puede consultar en el Anexo 2), indicando el verbo de la taxonomía EROA que se tomó como referencia para diseñar la actividad a desarrollar por los alumnos.

Tabla 1

Actividades de la estrategia con verbo de taxonomía EROA

Actividad	Verbo EROA
<p>Cuestionario diagnóstico 1- Se inicia la clase con un cuestionario para rescatar los conocimientos previos de los estudiantes acerca del tema gravitación universal y caída libre.</p>	<p>Identifica Nombra</p>
<p>Lluvia de ideas 2.- Socialización de las respuestas a través de lluvia de ideas grupal.</p>	
<p>Simulación 3.- En parejas, los estudiantes experimentan durante 10 min con el primer nivel de la aplicación Gravedapp; mientras lo hacen, se les pide reflexionar sobre las siguientes preguntas.</p>	<p>Combina Compara Describe Enlista.</p>
<p>Preguntas guía a) Nombra cuáles son las variables que intervienen en la caída de los objetos de acuerdo a la simulación. Por ejemplo, masa, gravedad del planeta, altura, tiempo, etcétera. b) Identifica cuáles de estas variables son relevantes para determinar el tiempo que tarda en caer un objeto al suelo. c) ¿Qué pasa si dejas caer objetos de diferente peso en la Luna?, ¿Tardan lo mismo en caer?, ¿Era lo que esperabas ver? d) Compara los diferentes tiempos de caída entre los diferentes escenarios, ¿Dónde les toma menos tiempo en caer?, ¿Dónde les toma más tiempo?, ¿Se ajusta esta observación con lo que imaginabas que sucedería?</p>	
<p>4.- Se proyectan los videos: “Cómo pensar acerca de la gravedad” - Jon Bergmann TED-Ed https://ed.ted.com/lessons/jon-bergmann-how-to-think-about-gravity y “El famoso experimento sobre gravedad de Galileo” Brian Cox BBC https://www.youtube.com/watch?v=QyeF-_QPSbk.</p>	<p>Relaciona Argumenta</p>
<p>Mapa conceptual 5.- En el pizarrón se reestructuran los conceptos aprendidos durante la clase. Los estudiantes realizan su propia reestructuración de ideas a través de un mapa conceptual.</p>	<p>Relaciona Analiza Contrasta</p>
<p>Tarea. Investigación Investigar sobre el experimento del plano inclinado de Galileo, su objetivo, su funcionamiento y sus aportaciones. Investigar la ley de Gravitación Universal, su autor, en qué consiste y su modelo matemático</p>	<p>Analiza</p>
<p>6.- Se inicia la clase con un breve repaso de la clase anterior nutrido por las aportaciones de los estudiantes.</p>	
<p>Presentación del profesor 7.- El profesor realiza presentación sobre el tema de gravitación universal, explicando el recorrido histórico que llevo al desarrollo del concepto apoyado en la participación de los estudiantes que tuvieron un acercamiento previo durante la realización de su tarea. Así mismo se realizan ejercicios de aplicación sobre el tema para demostrar el tratamiento procedimental de los ejercicios matemáticos.</p>	<p>Aplica Argumenta Crítica Justifica</p>
<p>Ejercicios de aplicación</p>	<p>Aplica Justifica</p>

8.- De manera individual los estudiantes realizan ejercicios de aplicación sobre la ley de gravitación universal. El profesor comparte los resultados y realiza retroalimentación formativa.

Simulación

9.- Por pares, los estudiantes ingresan al segundo nivel de la aplicación móvil Gravedapp, en el cual tienen oportunidad de experimentar con más variables y se les pide responder los siguientes cuestionamientos.

a) ¿Por qué en Marte los objetos tardan más tiempo en caer que en la Tierra, pero menor que en la Luna? Explica

b) ¿Por qué en la Luna una pluma y una canica tardan el mismo tiempo en caer pero no en la Tierra? Argumenta

c) Si la Luna tuviera la misma masa y forma que la Tierra, pero siguiera sin atmósfera como actualmente lo está, ¿la pluma y la canica seguirían cayendo al mismo tiempo? Teoriza el porqué.

d) Si el planeta Marte fuera del mismo tamaño y masa que la Tierra, un objeto de 100g dejado caer en la Tierra, ¿tardaría el mismo tiempo en caer que uno dejado caer en este nuevo planeta Marte? ¿Qué podría influir para que cayeran al mismo tiempo o en diferentes? Hipotetiza y argumenta.

Revisión de las respuestas y análisis del grado de comprensión alcanzado por los estudiantes. Conclusiones finales

La taxonomía EROA propuesta por Biggs y Collis (1982), sugiere una serie de verbos ejemplos que pueden ser utilizados para explicar un proceso de aprendizaje gradual en cuanto a dificultad, mismos que se tomaron como ejemplo para las actividades de la planeación.

Además de los verbos que sirvieron como guía para la planeación de las actividades, se tomaron en cuenta para la planeación del grupo experimental las demás consideraciones relevantes del capítulo de fundamentación pedagógica.

Se incluyeron actividades que permiten al estudiante relacionar los conceptos que está aprendiendo, o está por aprender, con sus conocimientos previos. Se realizó el cuestionario diagnóstico y la lluvia de ideas (además del pretest) para tener referencia sobre el nivel de conocimiento previo de los estudiantes sobre el tema de gravitación universal. Las tareas siguientes están encaminadas en que el estudiante reflexionara como la nueva información que estaba obteniendo encajaba con sus preconcepciones, si es que estas diferían.

Se planearon también tareas de descubrimiento por cuenta propia. Esta necesidad se cubrió mediante la aplicación Gravedapp, que se observa durante dos momentos en la planeación. La aplicación presenta escenarios que permiten al estudiante experimentar por su cuenta propia con la gravedad en un escenario de caída libre en dos niveles, cada uno de ellos con objetivos que van de la mano, pero

Hipotetiza
Teoriza
Argumenta
Explica causas

difieren en complejidad y variables involucradas. Para ambos niveles el alumno puede trasladar el experimento a diferentes escenarios y modificar algunas variables relevantes. Como sugieren Diaz Barriga y Hernández Rojas (2010), se debe permitir al estudiante realizar sus propios descubrimientos, y el docente debe pasar a una tarea de preparar, facilitar y supervisar los escenarios de descubrimiento. En esta línea de pensamiento se plantearon algunas preguntas que servirán de guía al estudiante y que lo ayudarán a enfocarse en lo que tiene que aprender y poner atención, no se desea de ningún modo dejarlo por su cuenta propia durante todo el proceso de aprendizaje, se le acompaña como a un investigador novel.

Como proponen Diaz Barriga y Hernández Rojas (2010), una parte de la nueva información que adquirirá el estudiante debe ser entregada por el profesor de manera declarativa, y debe ser entregada mediante actividades que se ajusten con las estructuras cognitivas previas de los alumnos para lograr un aprendizaje significativo. Es por esta razón que dentro de los métodos de enseñanza-aprendizaje se incluyó además del descubrimiento por cuenta propia el método expositivo. Eso se evidencia con las presentaciones que realiza el profesor dentro de las actividades y todas aquellas veces que tiene que realizar retroalimentación formativa para encaminar y enriquecer el marco cognitivo de los estudiantes. A pesar de entregar la información de manera declarativa a los estudiantes, ya sea para demostrar la manipulación matemática necesaria para un ejercicio de aplicación, o para exponer como interviene una variable en la fórmula de gravitación universal, se espera que el estudiante tome un papel activo y responsable en su tarea de aprendizaje como lo recomienda el constructivismo.

Otro aspecto que se consideró fue el proponer actividades coherentes con el nivel de desarrollo cognitivo de los estudiantes. Se hizo un trabajo previo al planteamiento de la estrategia y se comprobó mediante un examen diagnóstico que las ideas inexactas referentes al tema de gravedad planteadas al inicio del presente

trabajo encontradas en trabajos previos, se presentaban también en la comunidad estudiantil donde se aplicó el proyecto

4.4 Diseño de instrumentos

Se diseñaron dos cuestionarios con 10 preguntas cada uno sobre los temas de gravitación universal y caída libre: el pretest, para evaluar los conocimientos antes de la aplicación de la estrategia (Anexo 3); y el posttest, para evaluar los conocimientos después de la aplicación de la estrategia (Anexo 4). Ambos instrumentos abordan los temas de gravitación universal y caída libre. Se decidió utilizar dos instrumentos distintos, uno antes y otro después de llevar a cabo la secuencia didáctica, para evitar que los estudiantes pudieran recordar las preguntas del primer examen, además se trató que ambos instrumentos fueran equivalentes. Para lograr esto, se contó con la colaboración de varios Doctores del área de Física de la Escuela Nacional de Estudios Superiores unidad Morelia quienes ayudaron en el diseño de las pruebas.

5. Análisis de resultados

5.1 Análisis de covarianza

El principal objetivo de un experimento consiste en demostrar una relación causal, por ello se analiza una variable independiente, que es la manipulada por el investigador con el objetivo de lograr modificaciones en la variable dependiente (resultado del experimento). Es más fácil demostrar la relación de causalidad cuando sólo se plantea una causa y ésta misma es la variable manipulada (independiente) sin embargo sabemos que esto pocas veces se observa en la realidad (García, 2014). En los experimentos intervienen otras variables que dificultan el análisis adecuado de la causalidad, estas variables no deseadas se pueden eliminar o bloquear para evitar que su efecto influya en la interpretación de los resultados. Se pueden bloquear variables mediante distintas técnicas como la aleatorización para asegurar que el efecto de la variable no deseada se igual en todos los grupos. Sin embargo, no siempre es posible realizar la aleatorización.

El ejemplo más común de este problema es lo que se llama diseño de grupo no equivalente. En este diseño, se eligen dos (o más) grupos intactos (p. Ej., escuelas o aulas de niños) que por razones prácticas no se pueden aleatorizar, se obtiene una medida previa en ambos grupos, el tratamiento se aplica a uno de los grupos, y los dos grupos son entonces comparados con alguna medida posterior a la prueba, como suele ser el caso de los pretests y los posttests. Dado que los sujetos no están asignados a los grupos al azar, no tenemos ninguna base para suponer que las diferencias que existen en la prueba previa se deben atribuir a la casualidad. Del mismo modo, no tenemos ninguna base para esperar que los dos grupos tengan la misma media en el examen posterior en ausencia de un efecto de tratamiento real” (Understanding Analysis of Covariance ANCOVA, s.f. p. 7).

Para abordar el análisis de los grupos con diseños no equivalentes existe la opción de utilizar el análisis de covarianza o ANCOVA, el cual es un análisis estadístico que permite medir los efectos de una variable independiente sobre una

variable dependiente en un experimento, pero que además permite controlar los efectos de una variable llamada covariable³ que no se puede bloquear o eliminar durante el diseño del experimento, mediante la eliminación de la variación atribuida a esta variable adicional. De esta manera, el investigador es capaz de investigar los efectos de la variable independiente que está manipulando de manera más adecuada, ya que se retira la influencia de la covariable. La prueba ANCOVA evalúa si las medias de la variable dependiente de una población (ajustadas para diferencias en la covariable) difieren entre sí. (Understanding Analysis of Covariance ANCOVA, s.f.).

Por tanto, el análisis estadístico ANCOVA ayuda a eliminar el efecto de una variable que está produciendo ruido en la relación causa-efecto estudiada. Puede tratarse de una o más variables, a las que se les denomina covariables. (García, 2014).

De acuerdo al diseño de experimentos elegido para el presente trabajo, conformado por un grupo de control con estrategia de enseñanza tradicional y un grupo experimental con estrategia basada en EROA y simulación, ambos con pretest y posttest, se determinó que los grupos iniciales no son equivalentes en sus conocimientos previos, por lo cual se decide utilizar el análisis de covarianza para tratar de ajustar los resultados después de la intervención (resultado del posttest) con los conocimientos previos de cada grupo (resultado del pretest); esto de acuerdo a la recomendación de Dimitrov y Rumrill (2003).

Para dar validez sobre la aplicación del análisis elegido se realizaron pruebas a los datos para cumplir con los supuestos que requiere el análisis estadístico de la covarianza.

³ Covariable: una variable que un investigador busca controlar (restar estadísticamente los efectos de) usando técnicas como análisis de regresión múltiple (MRA) o análisis de covarianza (ANCOVA) (Leech, Barrett, & Morgan, 2005; Vogt, 1999).

El primer supuesto a probar para poder utilizar el análisis de covarianza fue la homogeneidad de las curvas de regresión. Hubo una relación lineal entre el número de aciertos antes y después de la intervención para cada tipo de estrategia didáctica como se pudo evaluar mediante una inspección visual del diagrama de dispersión (Figura 16). En el cual se observa la pendiente de ambas curvas de regresión de manera paralela, comprobando así que existe una relación lineal.

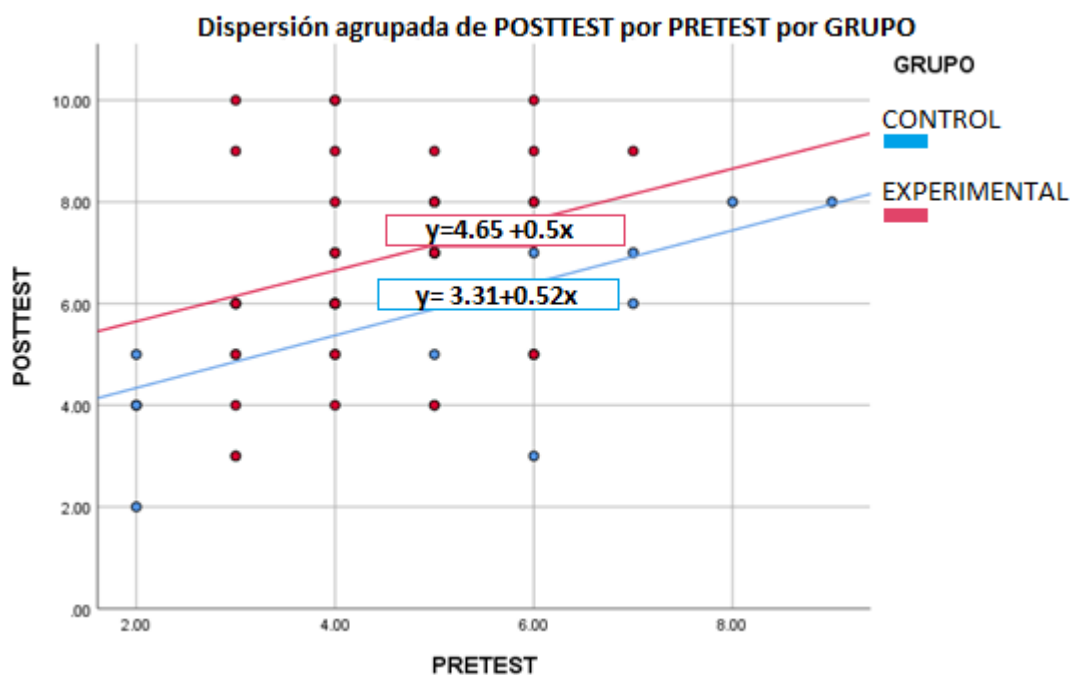


Figura 16. Se puede observar mediante una inspección visual del gráfico de dispersión que existe una relación lineal entre los resultados del examen pre y post para cada tipo de intervención (control y experimental).

Además de esto, el estadístico que ayuda a corroborar el supuesto anterior es la prueba de los efectos entre sujetos. Esta prueba examina las diferencias entre individuos. Los efectos entre sujetos determinan si los estudiantes difieren en el número de aciertos correctos obtenidos en el pretest, dependiendo de su grupo (si están en el grupo experimental o de control). La variación entre grupos es la variación entre las medias de los diferentes tratamientos debidas al azar (error de muestreo) y al efecto de los tratamientos, si es que existe.

Una interacción significativa entre la covariable y el factor sugeriría que las diferencias en la variable dependiente entre grupos varían como una función de la

covariable. Si la interacción resultara significativa, los resultados de un ANCOVA no serían relevantes y el análisis de covarianza no debería ser realizado en este punto. Sin embargo los resultados obtenidos en el software SPSS statistics sugieren que la interacción no es significativa ya que el valor de interacción de la pruebas de efectos inter-sujetos no fue estadísticamente significativo, $F(1,56)=0.002$, $p=0.963$ (prestar atención sólo a la fila GRUPO*PRETEST de la Tabla 2). Cabe mencionar que el software SPSS statistics entrega información muy completa en las tablas, misma información que fue incluida por motivos de escrupulosidad pero que no es relevante para el análisis.

Tabla 2
Pruebas de efectos Inter-sujetos

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	49.800	3	16.600	5.521	0.002
Intersección	73.818	1	73.818	24.550	0.000
GRUPO	2.093	1	2.093	0.696	0.408
PRETEST	26.837	1	26.837	8.925	0.004
GRUPO * PRETEST	0.006	1	0.006	0.002	0.963
Error	168.383	56	3.007		
Total	2663.000	60			
Total corregido	218.183	59			

De acuerdo a la pruebas de efectos inter-sujetos existe homogeneidad en las pendientes de regresión ya que el valor para la interacción no fue estadísticamente significativo, $F(1,56)=0.002$, $p=0.963$.

Variable dependiente: POSTTEST

El siguiente supuesto que se probó fue el de homogeneidad, para esto se utilizó el residuo estandarizado, el cual es un tratamiento que sirve como ayuda para detectar valores atípicos. Para esto se empleó la prueba estadística de normalidad Shapiro-Wilk para los residuos estandarizados donde el resultado (Ver valores resaltados de la Tabla 3) muestra que el nivel de significancia $p>0.05$ para ambos grupos. Lo cual indica que los datos siguen una distribución normal, apropiada para el análisis de covarianza.

Tabla 3
Pruebas de normalidad

	GRUPO	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Grados de libertad	Significancia
Residuo estandarizado para POSTTEST	CONTROL	0.962	27	0.404
	EXPERIM	0.964	33	0.335

Nota: Los valores estandarizados de los residuos para ambas intervenciones presentan una distribución normal, como lo muestra la prueba Saphiro-Wilk's ($p > 0.05$).

Para comprobar el supuesto de homogeneidad de varianzas se evaluó por inspección visual de un diagrama de dispersión de los residuos estandarizados para posttest por valor pronosticado para posttest por grupo (Fig. 16) Si hay homogeneidad de varianzas, los puntos de cada una de las diagramas de dispersión no exhibirán ningún patrón y se extenderán aproximadamente de forma constante (en el eje "y") a través de los valores predichos (eje "x"). (Ver figura 17)

Dispersión Simple de Residuo estandarizado para POSTTEST por Valor pronosticado para POSTTEST por GRUPO

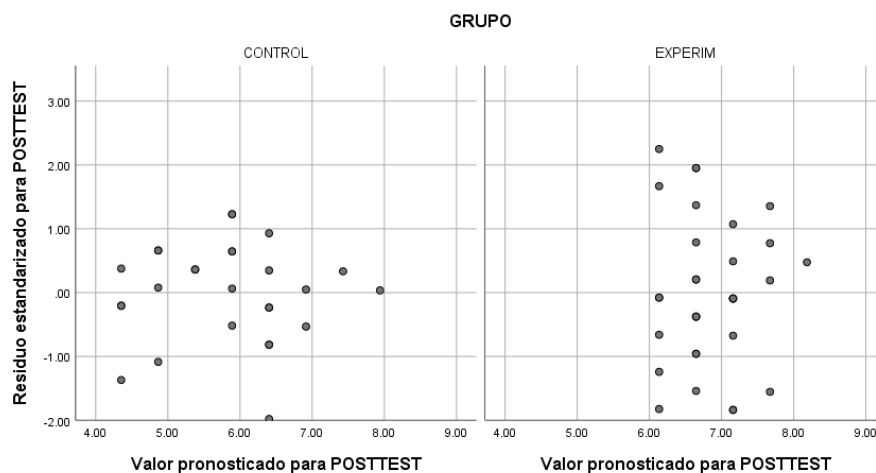


Figura 17. Gráfico de dispersión. Para el supuesto de igualdad de varianzas, se puede comprobar mediante una inspección visual de los residuos estandarizados graficados contra los valores predichos.

Los residuos estandarizados en la gráfica de dispersión anterior aparecen aleatoriamente dispersos y con una dispersión aproximadamente constante. Por lo tanto hubo homogeneidad de varianzas según se evaluó por inspección visual de los residuos estandarizados representados frente a los valores predichos.

La prueba estadística que ayuda a comprobar la homogeneidad de varianzas es la prueba de Levene (Ver Tabla 4)

Tabla 4
Pruebas de igualdad de Levene de varianza de error

F	Grados de libertad1	Grados de libertad2	Significancia
3.680	1	58	0.06

Nota: Hubo homogeneidad de varianzas de acuerdo a la prueba de Levene para la homogeneidad de varianzas ($p = .060$). Variable dependiente: POSTTEST. Prueba la hipótesis nula de que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.

La columna importante de la tabla anterior es la columna “Significancia”, que presenta el valor de significación (es decir, valor p) de la prueba. Si la prueba de Levene es estadísticamente significativa (es decir, $p < 0.05$), no tiene varianzas iguales y ha violado la hipótesis de la homogeneidad de las varianzas (es decir, tiene varianzas heterogéneas). Por otro lado, si la prueba de Levene no es estadísticamente significativa (es decir, $p > 0.05$), tiene varianzas iguales y no ha violado la hipótesis de la homogeneidad de las varianzas. En nuestro ejemplo, el valor de significancia (es decir, valor p) es 0.06 (es decir, $p = 0.06$), que es mayor que 0.05. Hubo homogeneidad de varianzas, según lo evaluado por la prueba de homogeneidad de varianza de Levene ($p = 0.06$). (Ver tabla 4)

Otro de los supuestos comprobados para poder aplicar el análisis de covarianza fue el comprobar que no hubo valores atípicos en los datos. Como se observa en el gráfico de cajas (ver Fig. 18) no existió ningún caso de residuos estandarizados mayores a ± 3 desviaciones estándar.

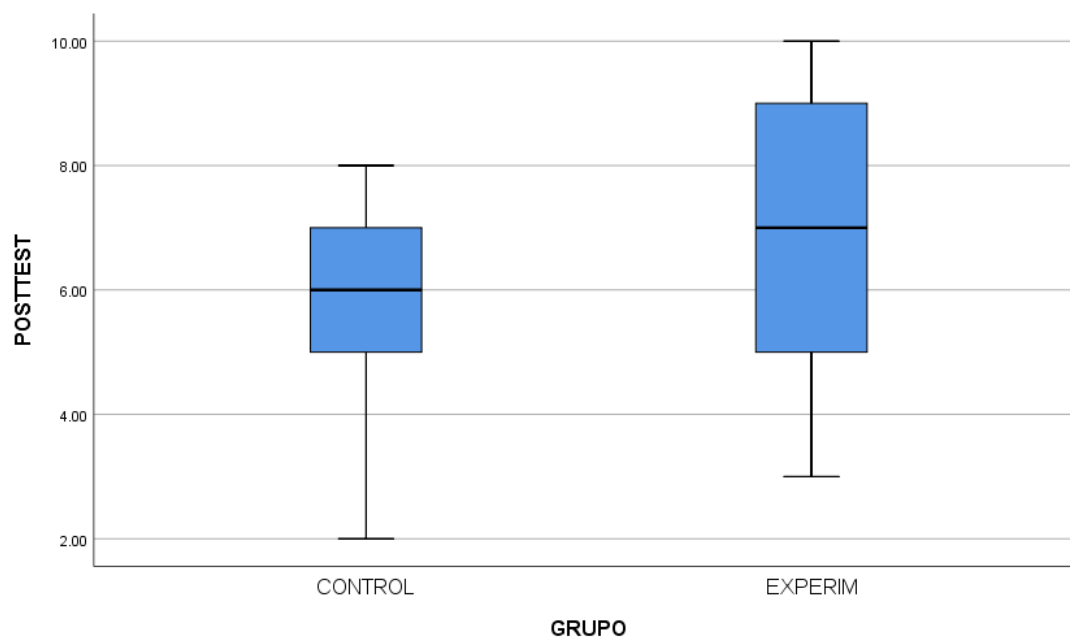


Figura 18. Gráfico de cajas. No hubo valores atípicos fuera de las cajas.

Una vez revisados los supuestos que se exigen sobre los datos para poder realizar el análisis de covarianza se procedió a realizar el análisis con la variable posttest como variable independiente, los grupos como variable independiente y la variable pretest como covariable, del procedimiento se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 5).

De la tabla 5 estamos específicamente interesados en descubrir si la variable independiente fue estadísticamente significativa. Dicho de otra forma, si hubo una diferencia estadísticamente significativa en los resultados de la prueba (posttest) después de la intervención entre las diferentes intervenciones (grupo) una vez que se ajustaron sus medias para los resultados de la prueba previa (pretest) que en este caso fue la covariable. Para saber esto, se necesita leer en la fila "GRUPO" resaltada hasta llegar a la columna "Significancia", que proporciona el valor de significación estadística 0.05. Si el resultado es estadísticamente significativo (es decir, $p < 0.05$), se puede concluir que no todos los medios del grupo ajustado son iguales en la población (es decir, al menos una media del grupo ajustado es diferente a otra media del grupo ajustado). Alternativamente, si $p > .05$, no tiene ninguna diferencia estadísticamente significativa entre los medios ajustados del

grupo. Para nuestro caso el valor después del ajuste del número de aciertos o conocimientos previos con el pretest antes de la intervención, se observó que hubo una diferencia significativa en las calificaciones del posttest entre el grupo de control y el experimental, $F(1,57)=7.895$, $P=0.007 < 0.05$ (Tabla 5).

Tabla 5
Pruebas de efectos inter-sujetos

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Media cuadrática	F	Significancia
Modelo corregido	49.794 ^a	24.897	8.428	0.001
Intersección	86.250	86.250	29.196	0.000
PRETEST	33.927	33.927	11.484	0.001
GRUPO	23.324	23.324	7.895	0.007
Error	168.390	2.954		
Total	2663.000			
Total corregido	218.183			

Una vez observado que existía una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos se realizó un análisis post hoc con ajuste Bonferroni, la cual sirve para saber cómo difieren ambos grupos en cuando a su media después de la intervención, se puede saber cuál de los dos grupos tuvo un mejor desempeño mediante la columna “Diferencia de medias” (ver Tabla 6) dependiendo del signo de la columna se puede saber cuál de los dos grupos obtuvo la media más grande. Para nuestro caso se observó en la comparación por parejas que las calificaciones fueron significativamente más grandes en el grupo experimental (6.954 ± 0.301 aciertos) comparado con el grupo de control (5.686 ± 0.333 aciertos), una diferencia media de 1.268 (95% Intervalo de Confianza, 0.364 a 2.172) aciertos, $p = 0.007$. (Tabla 6).

Tabla 6
Comparaciones por parejas

(I) GRUPO	(J) GRUPO	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Significancia	95% de intervalo de confianza para diferencia ^b	
					Límite inferior	Límite superior
CONTROL	EXPERIM	-1.268*	0.451	0.007	-2.172	-0.364
EXPERIM	CONTROL	1.268*	0.451	0.007	0.364	2.172

Se basa en medias marginales estimadas. Variable dependiente: POSTTEST

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

b. Ajuste para varias comparaciones: Bonferroni.

Tabla 7
Estadísticos descriptivos para el pretest y posttest sin ajuste para ambos grupos

GRUPO		POSTTEST	PRETEST
CONTROL	Media	5.8148	4.8519
	N	27	27
	Desv. Desviación	1.64169	1.89541
EXPERIM	Media	6.8485	4.3636
	N	33	33
	Desv. Desviación	2.03287	.99430
Total	Media	6.3833	4.5833
	N	60	60
	Desv. Desviación	1.92302	1.47627

Tabla 8
Medias marginales estimadas para el posttest (ajustadas)

GRUPO	Media	Desv. Error	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
CONTROL	5.686 ^a	0.333	5.019	6.353
EXPERIM	6.954 ^a	0.301	6.352	7.556

a. Las covariables que aparecen en el modelo se evalúan en los valores siguientes: PRETEST = 4.6000. Variable dependiente: POSTTEST

Además de que hubo una diferencia significativa entre ambos grupos, siendo mayor la puntuación en el grupo experimental (tabla 6) la tabla 7 muestra que ambos grupos tuvieron una mejora en sus puntuaciones después de la intervención ya fuese con la estrategia tradicional (control) o con la estrategia constructivista basada en la taxonomía EROA y la aplicación móvil (experimental).

Tabla 9.

Medias y variabilidad sin ajuste y ajustadas para los aciertos obtenidos en el posttest con la calificación del pretest como covariable.

	N	<i>Sin ajuste</i>		<i>Con ajuste</i>	
		M	DE	M	ES
Control	27	5.8148	1.64169	5.019	0.333
Experimental	33	6.8485	2.03287	6.352	0.301

Nota: N=número de participantes, M=Media, DE=Desviación estándar, ES=Error estándar, Control=Grupo con estrategia tradicional, Experimental=Grupo con estrategia EROA y simulación mediante aplicación móvil. Número de aciertos correctos en el posttest.

5.2 Análisis de apreciación

Además de los resultados obtenidos mediante el análisis de covarianza donde se demostró que ambos grupos mejoraron su desempeño después de la intervención y que el grupo experimental obtuvo un mejor resultado en el posttest. Existieron otros fenómenos durante la intervención que no pudieron ser analizados mediante instrumentos, pero que sin duda fueron observados y son importantes para la reflexión sobre trabajo realizado.

Una de estas observaciones (aunque es totalmente subjetiva) es que en la percepción general del grupo experimental pareció ser que los estudiantes tuvieron una mayor motivación al trabajar con la aplicación móvil en la modalidad de aprendizaje por descubrimiento, comparada con los del grupo de control que siguieron una estrategia tradicional. La mayoría de los estudiantes se mostraron interesados en utilizar la aplicación móvil dentro del aula de clases y trabajaron en ella el tiempo que se les pidió que lo hicieran. Lo cual sin duda es una buena noticia que corrobora las bondades de utilizar aplicaciones móviles como herramientas auxiliares en la educación, como lo descubrieron diversos autores en trabajos previos, algunos de los cuales se mencionaron en las primeras partes de este trabajo.

Otra de las observaciones pertinentes es que, aunque la media grupal aumentó después de la intervención en ambos grupos, algunos de los estudiantes

tuvieron un desempeño menor después de la misma como se pudo comprobar con los resultados del posttest, esto sucedió en ambos grupos, valdría la pena reflexionar si este fenómeno se puede atribuir a anomalías en la intervención o a errores propios de los estudiantes al momento de responder las pruebas. De cualquier modo, para saber exactamente qué pasó se necesitaría entrevistar individualmente a cada uno de los estudiantes que tuvieron este comportamiento, lo cual se podría hacer en una siguiente etapa que no se abarcará en este trabajo.

La aplicación móvil aún tiene aspectos que pueden mejorarse, algunos de los estudiantes que lograron entender el tema lamentaron que la aplicación no tuviera más niveles que les permitiera seguir avanzando en su comprensión. Esto sin duda es un aspecto que se puede mejorar para continuar con el trabajo posterior y mejorar la intervención. Este es otro punto que puede ser considerado para el trabajo posterior, quizá será bueno aumentar el número de niveles de la aplicación para aumentar su complejidad y mejorar la comprensión del tema.

6 Conclusiones

El objetivo del presente trabajo consistió en identificar en estudiantes de educación media superior ideas erróneas sobre el tema de gravitación universal y caída libre, y proponer una estrategia para la corrección de estas ideas.

Para esto se diseñó, creó y probó una aplicación móvil que apoyara el aprendizaje por descubrimiento en su modalidad de simulación y se respaldó en una estrategia constructivista basada en la taxonomía EROA propuesta por Biggs y Collis (1982). Para comprobar la efectividad de la intervención se realizó un diseño cuasi experimental con dos grupos, control y experimental, a los cuales se le aplicó una prueba previa y posterior para verificar si hubo mejora en sus puntajes. De la prueba previa se encontró que las ideas erróneas encontradas en ambos grupos coincidían con las identificadas por los autores de los trabajos previos expuestos en el capítulo uno. En cuanto a la prueba posterior a la intervención, aunque en el grupo experimental se observó una mejora en los puntajes de la prueba comparada con los del grupo de control, la mejora no fue tan significativa como se esperaba.

Otra observación interesante es que a pesar de que en el grupo experimental se tuvo una mejora con respecto al grupo de control, en ambos grupos se mejoró el desempeño en la prueba posterior comparado con la prueba previa, lo cual quiere decir que ambos grupos fueron sensibles a la intervención y hubo un avance en la comprensión de los temas de gravedad y gravitación universal seleccionados.

Por lo observado en los resultados, es importante reconocer que no se corrigieron del todo las ideas previas de los estudiantes, sin embargo, su mejora es sin duda reconocible. Es complicado explicar los orígenes de estas ideas imprecisas o su permanencia en etapas posteriores a la educación media superior como lo demostró Vicovaro (2014) con su experimento de las cajas, e incluso parece contradictorio que el sistema nervioso central de algunas personas pareciera entender cómo funciona la caída libre de los objetos, pero el raciocinio de los mismos individuos parece tener una idea imprecisa sobre el mismo fenómeno como

se demostró en el estudio de Lacquaniti y Maioli (1989). A pesar de estas y otras dificultades es necesario tratar de avanzar en la comprensión del tema de gravitación universal y caída libre y alejarnos de las ideas aristotélicas que muchos de los estudiantes de educación media superior parecen albergar.

Trabajos como el presente pueden ayudar a clarificar el procedimiento a seguir para mejorar la comprensión del tema y orientar a otros profesores que identifiquen esta misma problemática. Estadísticamente se pudo sustentar que el uso de una estrategia constructivista apoyada en el aprendizaje por descubrimiento en su modalidad de simulación mediante una aplicación móvil y con apoyo de la taxonomía EROA mejoró el aprendizaje del tema en cuestión y además la estrategia desarrollada, así como la aplicación móvil pueden ser utilizadas para ser aplicadas en otros grupos, se espera que se pueda extrapolar su aplicación a otros estudiantes e idealmente también los resultados obtenidos.

Si bien existen más programas educativos que pueden ayudar en la tarea, pocos de ellos se apoyan en los contenidos de los modelos educativos actuales, incluso se encuentran barreras de idioma entre los programas encontrados y los usuarios, existe además una desconexión entre las personas que diseñan el software educativo y quienes lo aplican, es por esta razón que se realizó el esfuerzo de diseñar, crear y aplicar una estrategia en la que estuvieran mejor alienadas las necesidades educativas y las soluciones específicas para el problema.

Otra de las reflexiones surgidas durante el desarrollo del trabajo, es que el software educativo por sí mismo no puede suplir todo el proceso de enseñanza, necesita estar acompañado de una estrategia que lo soporte, y que lo utilice como una herramienta educativa más, para apoyar en el proceso de enseñanza aprendizaje, el uso del software puede aumentar los resultados de aprendizaje e incluso la motivación de los estudiantes si se aplica con una fundamentación apropiada y lógica.

Es cada vez más común que los docentes hagan el esfuerzo de crear sus propios materiales digitales que sean más eficientes y adecuados para sus situaciones particulares de enseñanza y las necesidades específicas de aprendizaje

de sus estudiantes. Este trabajo es un esfuerzo más por cerrar la brecha entre los desarrolladores de material digital y los aplicadores del mismo en las aulas. Y sobre todo ha sido un esfuerzo por generar aprendizaje significativo en los estudiantes en el tema de gravitación universal y caída libre. Esfuerzos como estos sin duda revelan una preocupación de los docentes por mejorar la calidad educativa de las aulas de educación media superior.

7. Bibliografía

- Allain, R. (2018). Why Do Astronauts Float Around in Space?. Retrieved from <https://www.wired.com/2011/07/why-do-astronauts-float-around-in-space/>
- Allen, J. (2016). The Apollo 15 Hammer-Feather Drop. NASA. Recuperado el 25 de Octubre de 2017, de: https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/apollo_15_feather_drop.html
- Amhed, S., y Parsons, D. (2013). Abductive science inquiry using mobile devices in the classroom. *Computers and education*, 63, 62-72, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2012.11.017>
- Biggs, J. B., & Collis, K. F. (1982). Evaluating the quality of learning: The SOLO taxonomy (structure of the observed learning outcome). New York: Academic Press.
- Biggs, J. (2016). SOLO Taxonomy with sample verbs. Retrieved from <http://www.johnbiggs.com.au/academic/solo-taxonomy/>
- Biggs, J. (2017). Biggs' structure of the observed learning outcome (SOLO) taxonomy. 1st ed. [ebook] Queensland: Teaching and Educational Development Institute University of Queensland, p.2. Available at: <http://www.uq.edu.au/teach/assessment/docs/biggs-SOLO.pdf> [Accessed 31 Aug. 2017].
- Champagne, Audrey & Klopfer, Leopold & H. Anderson, John. (1980). Factors Influencing the Learning of Classical Mechanics. *American Journal of Physics*. 48. 1074-1079. 10.1119/1.12290.
- Díaz Barriga Arceo, F. and Hernández Rojas, G. (2010). Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. Distrito Federal: McGraw-Hill Interamericana.
- Dimitrov, Dimiter & D Rumrill, Phillip. (2003). Pretest-Posttest Designs and Measurement of Change. *Work* (Reading, Mass.). 20. 159-65.
- García García, J. (2014). Metodología de la investigación bioestadística y bioinformática en ciencias médicas y de la salud. 2nd ed. Mexico: McGraw Hill, pp.347-352.

- Gil, D., Furió, C., Valdés, P., Salinas, J., Martínez-Torregrosa, J., Guisasola, J. et al. (1999). "¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de resolución de problemas de papel y lápiz y realización de prácticas de laboratorio?". *Enseñanza de las Ciencias*, No. 2, Vol. 17, pp. 311-390.
- Graham, George, "Behaviorism", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2017 Edition), Edward N. Zalta (ed.), <https://plato.stanford.edu/archives/spr2017/entries/behaviorism>
- Gutiérrez, Germán; (1999). Ivan Petrovich Pavlov (1849-1936). *Revista Latinoamericana de Psicología*, . 557-560.
- Hallamaa, O. (2011). Nicholas Oresme. In *Encyclopedia of Medieval Philosophy*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Halloun, Ibrahim & Hestenes, David. (1985). Common Sense Concepts About Motion. *American Journal of Physics - AMER J PHYS*. 53. 1056-1065. 10.1119/1.14031.
- Hermans, P. (2009). "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica" van Isaac Newton in de "John Rylands Library" in Manchester, England. Retrieved from https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Manchester_John_Rylands_Library_Isaac_Newton_16-10-2009_13-54-26.JPG
- Hirsh-Pasek, K., Zosh, J. M., Golinkoff, R. M., Gray, J. H., Robb, M. B., & Kaufman, J. (2015). Putting Education in "Educational" Apps. *Psychological Science in the Public Interest*, 16(1), 3–34. <https://doi.org/10.1177/1529100615569721>
- Hung, C. M., Hwang, G. J., & Wang, S. Y. (2014). Effects of an integrated mind-mapping and problem-posing approach on students' in-field mobile learning performance in a natural science course. *International Journal of Mobile Learning and Organisation*, 8(3), 187e200. <http://dx.doi.org/10.1504/IJMLO.2014.067019>
- ISS, International Space Station. (2018). Retrieved from https://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/International_Space_Station/ISS_International_Space_Station
- Joep van der Graaf, Eliane Segers, Ludo Verhoeven, Discovering the laws of physics with a serious game in kindergarten, *Computers & Education*, Volume 101, 2016, Pages 168-178, ISSN 0360-1315, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2016.06.006>.
- Kavanagh, Claudine & Sneider, Cary. (2006). Learning about Gravity I. Free Fall: A Guide for Teachers and Curriculum Developers. *Astronomy Education Review*. 5. . 10.3847/AER2006018.
- Laerd Statistics (2017). One-way ANCOVA using SPSS Statistics. Statistical tutorials and software guides. Extraído de <https://statistics.laerd.com/>

- Lacquaniti F., Maioli C. (1989) Adaptation to suppression of visual information during catching. *J Neurosci* 9: 149–159
- Leech, N. L., Barrett, K. C., & Morgan, G. A. (2005). *SPSS for Intermediate Statistics: Use and Interpretation* (2nd ed.). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lin, T.-J., Duh, H. B.-L., Li, N., Wang, H.-Y., y Tsai, C.-C. (2013). An investigation of learners collaborative knowledge construction performances and behavior patterns in an augmented reality simulation system. *Computers & Education*, 68, 314-321. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2013.05.11>.
- Linn, Marcia. (2017). Promover la educación científica a través de las tecnologías de la información y comunicación (TIC). *Enseñanza de las Ciencias : revista de investigación y experiencias didácticas*; Vol.: 20 Núm.: 3.
- Museo Galileo. (2010). Piano inclinato. Recuperado de: <https://catalogo.museogalileo.it/oggetto/PianoInclinato.html>
- Newton, Isaac, (1687). *Philosophiæ naturalis principia mathematica*. Londini :Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater.
- O.P, L. (2007). Aristotle, greek philosopher. Retrieved from <https://www.flickr.com/photos/35409814@N00/378344845/>
- OpenStax CNX. (2017). La atracción gravitacional tiene su acción a lo largo de una línea uniendo los centros de masa de estos dos objetos. La magnitud de esta fuerza es la misma en cada objeto, consistente con la tercera ley de Newton.. Recuperado de: <http://philschatz.com/physics-book/contents/m42143.html>
- OpenStax CNX. (2017). Un martillo y una pluma caerán con la misma aceleración constante si se considera despreciable el efecto de la resistencia del aire. Esta característica general de la gravedad no es exclusiva del planeta Tierra, como el astronauta David R. Scott lo demostró en la luna en 1971. Recuperado de: <http://philschatz.com/physics-book/contents/m42143.html>
- OpenStax CNX. (2017). Astronautas experimentando la falta de peso a bordo de la Estación Espacial Internacional. (crédito: NASA). Recuperado de: <http://philschatz.com/physics-book/contents/m42143.html>
- Pavlov, I. and Anrep, G. (2015). *Conditioned reflexes*. Mansfield Centre, CT: Martino Publishing, pp.395-411.
- Piaget, J.(1928). *The Child's Conception of the World*. London: Routledge and Kegan Paul Ltd

- Piburn, M. D., Baker, D. R., y Treagust, D. F. 1988, "Misconceptions about Gravity Held by College Students," documento presentado en la 61^a reunión anual de la Asociación Nacional de Investigación en Ciencias de la Enseñanza en 1988 Lake of the Ozarks, MO.
- Pozo, J. (2009). Teorías cognitivas del aprendizaje. Madrid: Morata.
- Schneps, M. H., Ruel, J., Sonnert, G., Dussault, M., Griffin, M., & Sadler, P. M. (2014). Conceptualizing astronomical scale: Virtual simulations on handheld tablet computers reverse misconceptions. *Computers & Education*, 70, 269e280. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2013.09.001>
- Schunk, D. (2012). Teorías del aprendizaje. Distrito Federal: Pearson Educación.
- Skinner, B.F. (1974). *About Behaviorism*. 1 ed. New York: Vintage books.
- Song, Y. (2014). "Bring Your Own Device (BYOD)" for seamless science inquiry in a primary school. *Computers & Education*, 74, 50e60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2014.01.005>.
- Tünnermann Bernheim, Carlos; (2011). El constructivismo y el aprendizaje de los estudiantes. *Universidades*, Enero-Marzo, 21-32.
- Understanding Analysis of Covariance ANCOVA. (s.f.). [ebook] Arizona: Northern Arizona University, pp.1-8. Available at: <http://oak.ucc.nau.edu/rh232/courses/eps625/handouts/ancova/understanding%20ancova.pdf> [Accessed 5 Jul. 2018].
- Van der Graaf, Joep & Segers, Eliane & Verhoeven, Ludo. (2016). Discovering the laws of physics with a serious game in kindergarten. *Computers & Education*. . 10.1016/j.compedu.2016.06.006.
- Vogt, W. P. (1999). *Dictionary of Statistics and Methodology: A Nontechnical Guide for the Social Sciences* (2nd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Vicovaro, Michele. (2014). Intuitive physics of free fall: An information integration approach to the mass-speed belief. *Psicológica*. 35. 463-477.
- Zabalza, M. (1990) *La Didáctica como estudio de la Educación*. En Medina Rivalla, A. y Sevillano García, M. L. (Coords) *Didáctica-adaptación. El currículum: fundamentación, desarrollo y evaluación*. Tomo I. Madrid.

Anexos

Anexo 1 Planeación para el grupo de control

<p style="text-align: center;">UNAM ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNIDAD MORELIA MAESTRIA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR FORMATO DE PLANAECIÓN DIDÁCTICA</p>			
Profesor: Martín Oswaldo Aguilar Vaca		Grupo: IV A Agropecuario (Control)	
Tema: Gravitación universal		Fecha: Sesión 1	
<p>Objetivo: El alumno establece relaciones entre la gravitación y la caída libre. En esta primera etapa el alumno hace una aproximación inicial hacia el tema de gravedad en el que mediante experimentación identifica y describe los conceptos y variables clave del tema, así como sus relaciones, con el propósito de comprender el comportamiento de los cuerpos bajo la acción de las fuerzas gravitacionales.</p>			
Contenidos	Situaciones de aprendizaje	Producto de aprendizaje	Evaluación
<p>Conceptuales:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gravitación universal - Caída libre - Peso <p>Procedimental:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Experimentación. -Investigación documental vía internet -Recopilación de datos, planteamiento de problemas. <p>Actitudinal: El estudiante tendrá la oportunidad de trabajar en equipo, donde su participación sea colaborativa, con respeto y tolerancia, para enfrentar y solucionar problemas, utilizando su propio criterio de razonamiento. Todas las actividades propuestas están diseñadas para que los estudiantes aprendan, expliquen e interpreten algunos fenómenos de tu vida cotidiana</p>	<p>Apertura</p> <p>1.- Se inicia la clase con un cuestionario para rescatar los conocimientos previos de los estudiantes acerca del tema gravitación universal y caída libre</p> <p>2.- Socialización de las respuestas a través de lluvia de ideas grupal.</p> <p>Desarrollo</p> <p>3.- De manera individual los estudiantes revisan la lectura sobre el tema de gravedad y caída libre en el libro de texto. Además, por parejas, los estudiantes realizan experimento con hojas de papel del mismo tamaño, una arrugada hasta formar una pelota y otra sin dobleces, ambas hojas de papel se dejan caer y se observa cual de las dos toca primero el suelo. Los estudiantes discuten el porqué de este fenómeno.</p> <p>4.- El profesor proyecta a los estudiantes el video sobre gravedad de beakman, e interviene en varias ocasiones para realizar aclaraciones y contestar preguntas: https://www.youtube.com/watch?v=UOY0qMeGHYUhttps://www.youtube.com/watch?v=UOY0qMeGHYU</p> <p>Cierre</p> <p>5.- En el pizarrón se reestructuran los conceptos aprendidos durante la clase. Los estudiantes realizan su propia reestructuración de ideas, a través de un mapa conceptual.</p> <p>Tarea.</p> <p>Investigar sobre el experimento del plano inclinado de Galileo, su objetivo, su funcionamiento y sus aportaciones. Investigar la ley de Gravitación Universal, su autor, en que consiste y su modelo matemático.</p>	<p>Cuestionario diagnóstico</p> <p>Apuntes</p> <p>Mapa mental</p> <p>Apuntes</p>	<p>Diagnóstica, rescate de ideas previas.</p> <p>Formativa Participación y trabajo en el desarrollo de la sesión.</p> <p>Respeto para la expresión de opiniones.</p> <p>Sumativa</p> <p>Desempeño en trabajo individual.</p>

**UNAM ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNIDAD MORELIA
MAESTRIA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR
FORMATO DE PLANAECIÓN DIDÁCTICA**

Profesor: Martín Oswaldo Aguilar Vaca		Grupo: IV A Agropecuario (Control)	
Tema: Gravitación universal		Fecha: Sesión 2	
Objetivo: El alumno es capaz de comparar, definir relaciones, explicar y teorizar sobre las ideas sobre el concepto de gravedad para alejarse de ideas erróneas y comprender el verdadero funcionamiento de la gravedad.			
Contenidos	Situaciones de aprendizaje	Producto de aprendizaje	Evaluación
<p>Conceptuales:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gravitación universal - Caída libre - Peso <p>Procedimental:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dialogo y participación activa. - Tratamiento matemático en ejercicios de aplicación. <p>Actitudinal: El estudiante tendrá la oportunidad de trabajar en equipo, donde su participación sea colaborativa, con respeto y tolerancia, para enfrentar y solucionar problemas, utilizando su propio criterio de razonamiento. Todas las actividades propuestas están diseñadas para que los estudiantes aprendan, expliquen e interpreten algunos fenómenos de tu vida cotidiana</p>	<p>Apertura</p> <p>6.- Se inicia la clase con un breve repaso de la clase anterior nutrido por las aportaciones de los estudiantes.</p> <p>7.- El profesor realiza presentación sobre el tema de gravitación universal, explicando el recorrido histórico que llevo al desarrollo del concepto apoyado en la participación de los estudiantes que tuvieron un acercamiento previo durante la realización de su tarea. Así mismo se realizan ejercicios de aplicación sobre el tema para demostrar el tratamiento procedimental de los ejercicios matemáticos.</p> <p>Desarrollo</p> <p>8.- De manera individual los estudiantes realizan ejercicios de aplicación sobre la ley de gravitación universal. El profesor verifica los resultados y realiza retroalimentación.</p> <p>9.- El profesor explica el experimento a realizar, caída entre hoja de papel y bola de papel.</p> <p>Cierre</p> <p>9.- Se proyecta a los estudiantes casos hipotéticos de diversos planetas y como caerían los objetos en dichos cuerpos celestes, los estudiantes participan con preguntas y aportaciones. Se pide a los estudiantes teorizar e hipotetizar sobre lo que sucedería en cada caso.</p>	<p>Apuntes</p> <p>Ejercicios resueltos</p> <p>Experimento</p> <p>Apuntes</p>	<p>Formativa Participación y trabajo en el desarrollo de la sesión.</p> <p>Sumativa</p> <p>Desempeño en trabajo individual y grupal.</p> <p>Revisión de las respuestas a la actividad de reforzamiento.</p>

Anexo 2 Planeación para el grupo experimental

UNAM ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNIDAD MORELIA MAESTRIA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR FORMATO DE PLANAECIÓN DIDÁCTICA			
Profesor: Martín Oswaldo Aguilar Vaca		Grupo: IV B Agropecuario (Experimental)	
Tema: Gravitación universal		Fecha: Sesión 1	
Objetivo: El alumno establece relaciones entre la gravitación y la caída libre. En esta primera etapa el alumno hace una aproximación inicial hacia el tema de gravedad en el que mediante experimentación identifica y describe los conceptos y variables clave del tema, así como sus relaciones, con el propósito de comprender el comportamiento de los cuerpos bajo la acción de las fuerzas gravitacionales.			
Contenidos	Situaciones de aprendizaje	Producto de aprendizaje	Evaluación
<p>Conceptuales:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gravitación universal - Caída libre - Peso <p>Procedimental:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diseñar experimentos <p>Investigación documental vía internet, proyecto experimental, recopilación de datos, planteamiento de problemas, aplicación del método científico y de modelos matemáticos.</p> <p>Actitudinal: El estudiante tendrá la oportunidad de trabajar en equipo, donde su participación sea colaborativa, con respeto y tolerancia, para enfrentar y solucionar problemas, utilizando su propio criterio de razonamiento. Todas las actividades propuestas están diseñadas para que los estudiantes aprendan, expliquen e interpreten algunos fenómenos de tu vida cotidiana</p>	<p>Apertura</p> <p>1.- Se inicia la clase con un cuestionario para rescatar los conocimientos previos de los estudiantes acerca del tema gravitación universal y caída libre</p> <p>2.- Socialización de las respuestas a través de lluvia de ideas grupal.</p> <p>Desarrollo</p> <p>3.- En parejas los estudiantes experimentan durante 10 min con el primer nivel de la aplicación Gravedapp, mientras lo hacen, se les pide reflexionar sobre las siguientes preguntas.</p> <p>a) Nombra cuales son las variables que intervienen en la caída de los objetos de acuerdo a la simulación. Por ejemplo, masa, gravedad del planeta, altura, tiempo, etc.</p> <p>b) Identifica cuales de estas variables son relevantes para determinar el tiempo que tarda en caer un objeto al suelo.</p> <p>c) ¿Qué pasa si dejas caer objetos de diferente peso en la Luna? ¿Tardan lo mismo en caer? ¿Era lo que esperabas ver?</p> <p>d) Compara los diferentes tiempos de caída entre los diferentes escenarios, ¿Dónde les toma menos tiempo en caer? ¿Dónde les toma más tiempo? ¿Se ajusta esta observación con lo que imaginabas que sucedería?</p> <p>4.- Se proyectan los videos: “Cómo pensar acerca de la gravedad” - Jon Bergmann TED-Ed https://ed.ted.com/lessons/jon-bergmann-how-to-think-about-gravity y “El famoso experimento sobre gravedad de Galileo” Brian Cox BBC https://www.youtube.com/watch?v=QyeF-QPSbk.</p> <p>Cierre</p> <p>5.- En el pizarrón se reestructuran los conceptos aprendidos durante la clase. Los estudiantes realizan su propia reestructuración de ideas, a través de un mapa conceptual.</p> <p>Tarea.</p>	<p>Cuestionario diagnóstico</p> <p>Lluvia de Ideas</p> <p>Cuestionario</p> <p>Mapa Conceptual</p> <p>Apuntes</p>	<p>Diagnóstica, rescate de ideas previas.</p> <p>Formativa Participación y trabajo en el desarrollo de la sesión.</p> <p>Participación y respeto para la expresión de opiniones.</p> <p>Sumativa</p> <p>Desempeño en trabajo individual.</p>

	<p>Investigar sobre el experimento del plano inclinado de Galileo, su objetivo, su funcionamiento y sus aportaciones.</p> <p>Investigar la ley de Gravitación Universal, su autor, en que consiste y su modelo matemático.</p>		
--	--	--	--

**UNAM ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNIDAD MORELIA
MAESTRIA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR
FORMATO DE PLANAECIÓN DIDÁCTICA**

Profesor: Martín Oswaldo Aguilar Vaca **Grupo:** IV B Agropecuario (Experimental)

Tema: Gravitación universal **Fecha:** **Sesión 2**

Objetivo: El alumno es capaz de comparar, definir relaciones, explicar y teorizar sobre las ideas sobre el concepto de gravedad para alejarse de ideas erróneas y comprender el verdadero funcionamiento de la gravedad.

Contenidos	Situaciones de aprendizaje	Producto de aprendizaje	Evaluación
<p>Conceptuales: - Gravitación universal - Caída libre - Peso</p> <p>Procedimental: - Dialogo y participación activa. - Tratamiento matemático en ejercicios de aplicación.</p> <p>Actitudinal: El estudiante tendrá la oportunidad de trabajar en equipo, donde su participación sea colaborativa, con respeto y tolerancia, para enfrentar y solucionar problemas, utilizando su propio criterio de razonamiento. Todas las actividades propuestas están diseñadas para que los estudiantes aprendan, expliquen e interpreten algunos fenómenos de tu vida cotidiana</p>	<p>Apertura 6.- Se inicia la clase con un breve repaso de la clase anterior nutrido por las aportaciones de los estudiantes.</p> <p>7.- El profesor realiza presentación sobre el tema de gravitación universal, explicando el recorrido histórico que llevo al desarrollo del concepto apoyado en la participación de los estudiantes que tuvieron un acercamiento previo durante la realización de su tarea. Así mismo se realizan ejercicios de aplicación sobre el tema para demostrar el tratamiento procedimental de los ejercicios matemáticos.</p> <p>Desarrollo 8.- De manera individual los estudiantes realizan ejercicios de aplicación sobre la ley de gravitación universal. El profesor comparte los resultados y realiza retroalimentación.</p> <p>Cierre 9.- Por pares, los estudiantes ingresan al segundo nivel de la aplicación móvil Gravedapp, en el cual tienen oportunidad de experimentar con más variables y se les pide responder los siguientes cuestionamientos.</p> <p>a) ¿Por qué en Marte los objetos tardan más tiempo en caer que en la Tierra, pero menos que en la Luna? Explica</p> <p>b) ¿Por qué en la Luna una pluma y una canica tardan el mismo tiempo en caer pero no en la Tierra? Argumenta</p> <p>c) Si la Luna tuviera la misma masa y forma que la Tierra, pero siguiera sin atmósfera como actualmente lo está, ¿la pluma y la canica seguirían cayendo al mismo tiempo? Teoriza el porqué.</p> <p>d) Si el planeta Marte fuera del mismo tamaño y masa que la Tierra, un objeto de 100g dejado caer en la Tierra, ¿tardaría el mismo tiempo en caer que uno dejado caer en este nuevo planeta Marte? ¿Qué podría influir para que cayeran al mismo tiempo o en diferentes? Hipotetiza y argumenta.</p> <p>Revisión de las respuestas y análisis del grado de comprensión alcanzado por los estudiantes. Conclusiones finales.</p>	<p>Apuntes</p> <p>Ejercicios resueltos</p> <p>Cuestionario</p>	<p>Formativa Participación y trabajo en el desarrollo de la sesión.</p> <p>Sumativa Desempeño en trabajo individual y grupal.</p> <p>Revisión de las respuestas y análisis del grado de comprensión alcanzado por los estudiantes.</p>

Anexo 3 Pretest

ENCUESTA SOBRE CONOCIMIENTOS DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL

Nombre: _____ Sexo: _____ Edad: _____ Semestre: _____

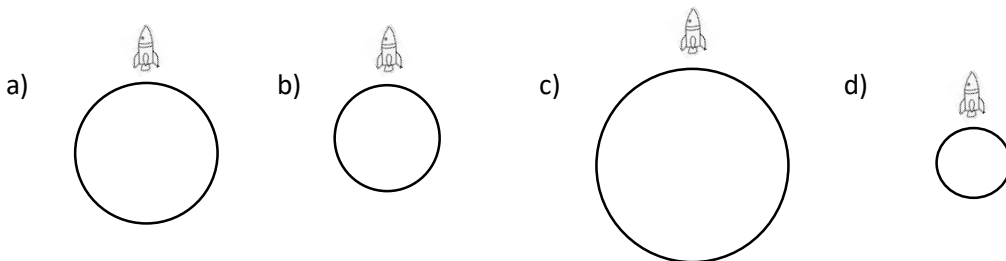
1.- Si las siguientes bolas de boliche con diferente masa, se dejan caer al mismo tiempo, y desde la misma altura, ¿cuál de ellas tocará el suelo primero?



- a) La bola de 0.5 kg
- c) La bola de 2kg

- b) Todas tocarán el suelo al mismo tiempo
- d) La bola de 5kg

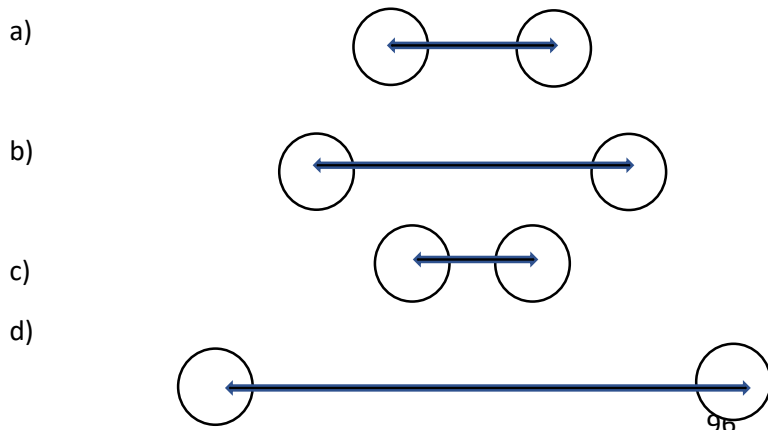
2.- ¿En cuál de los siguientes planetas será más difícil para la nave despegar?



3.- Si lanzas una pelota hacia arriba con la mano, ¿cuál de los siguientes enunciados describe mejor lo que sucede?

- a) La pelota cae al suelo por su tendencia natural a descansar sobre la superficie de la Tierra.
- b) La pelota irá hacia arriba con una fuerza que se hará cada vez más pequeña hasta detenerse y después la fuerza de gravedad la jalará hacia el suelo con una fuerza cada vez mayor.
- c) La pelota comenzará a reducir su velocidad desde el momento que deja la mano de quien lo lanza con una fuerza prácticamente constante hacia abajo, hasta que se frene totalmente en un punto máximo y ahora se mueva hacia abajo por la acción de la misma fuerza constante.
- d) La pelota mantiene la misma velocidad en todo momento, solo cambia de dirección.

4.- En cuál de los casos siguientes la fuerza de gravedad será mayor entre los objetos?

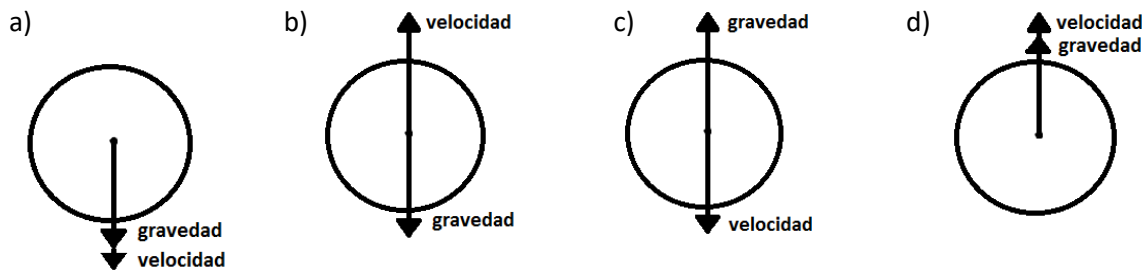


5.- Si dejas caer una manzana desde la azotea de una casa, ¿cual de los siguientes enunciados es correcto?

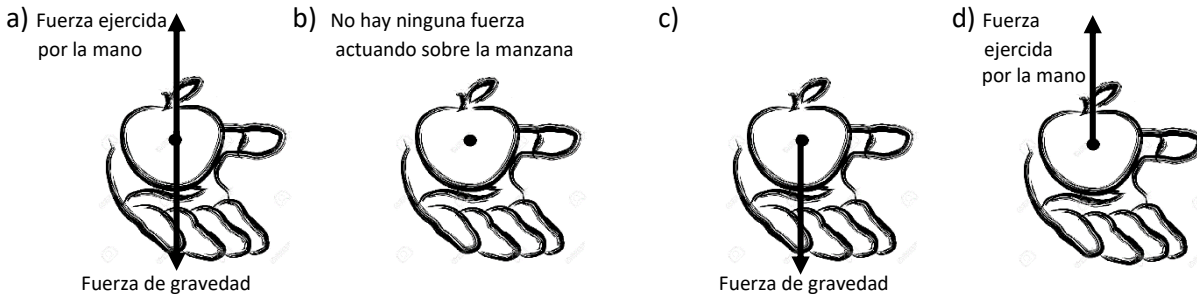
- a) La manzana acelera rápidamente, después cae a una velocidad constante hasta que toca el suelo.
- b) La manzana acelera mientras cae por que la fuerza de gravedad se vuelve cada vez más fuerte mientras se acerca al suelo.
- c) La manzana cae porque es una reacción natural; las cosas tienden a acercarse a la superficie de la Tierra.
- d) La manzana cae porque la fuerza del aire la empuja hacia abajo y la fuerza de gravedad la jala hacia el suelo.



6) Los siguientes diagramas muestran un objeto que fue lanzado hacia arriba y sigue subiendo: ¿Cuál de los siguientes casos muestra mejor lo que está pasando con el objeto?



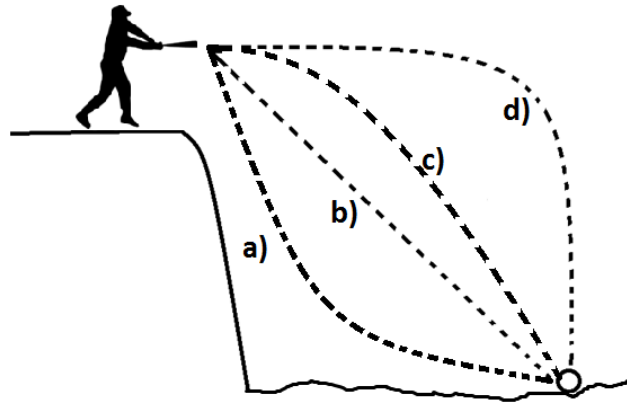
7) Para una manzana que está siendo sostenida con la mano, ¿Qué diagrama representa mejor las fuerzas que están en actuando sobre la manzana?



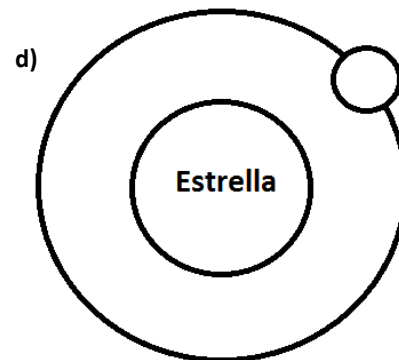
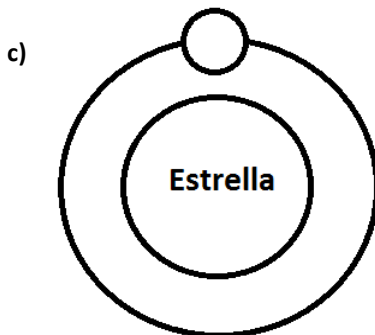
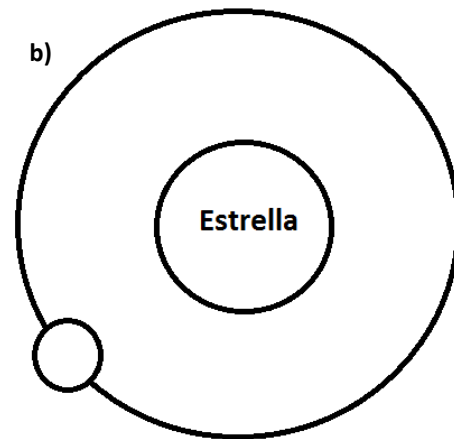
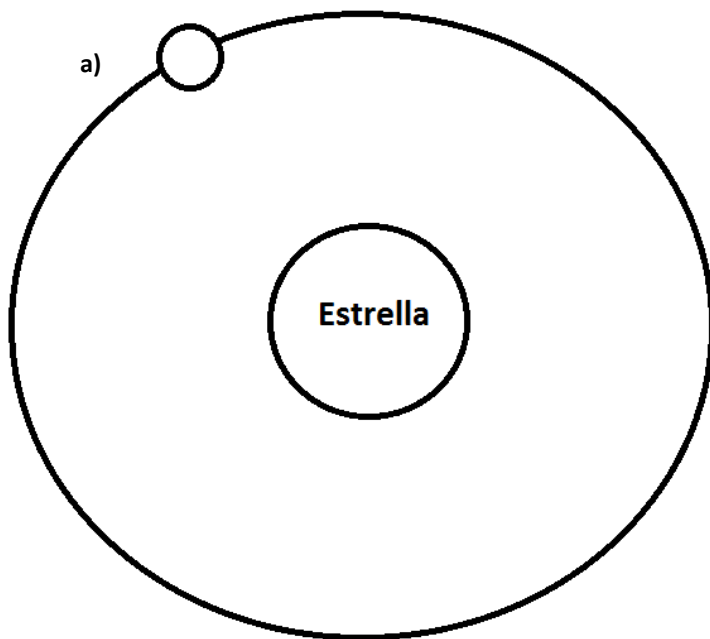
8) Si lanzas una pelota hacia arriba y la atrapas cuando está cayendo a la misma altura a la que la lanzaste, ¿cómo es la velocidad que lleva la pelota en ese momento?

- a) Es menor y en sentido contrario del que lo lancé.
- b) Es igual y en sentido contrario del que lo lancé
- c) Es mayor y en el mismo sentido.
- d) Es igual y en el mismo sentido.

9.- Un beisbolista golpea una pelota desde el borde de un precipicio como se muestra en la figura, ¿cuál de las siguientes trayectorias representa mejor la trayectoria que sigue la pelota?



10.- Si todos los planetas y todas las estrellas son del mismo tamaño, ¿cuál de los siguientes planetas sentirá una menor atracción gravitacional hacia la estrella?

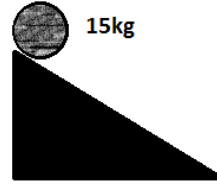
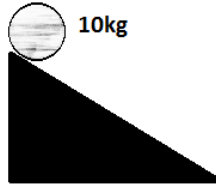
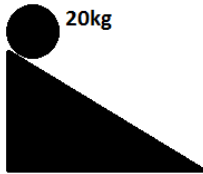


Anexo 4 Post test

ENCUESTA SOBRE CONOCIMIENTOS DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL

Nombre: _____ Sexo: _____ Edad: _____ Semestre: _____

1) ¿Cuál de las siguientes esferas llegará primero al final de la pendiente si todas las pendientes tienen la misma inclinación?

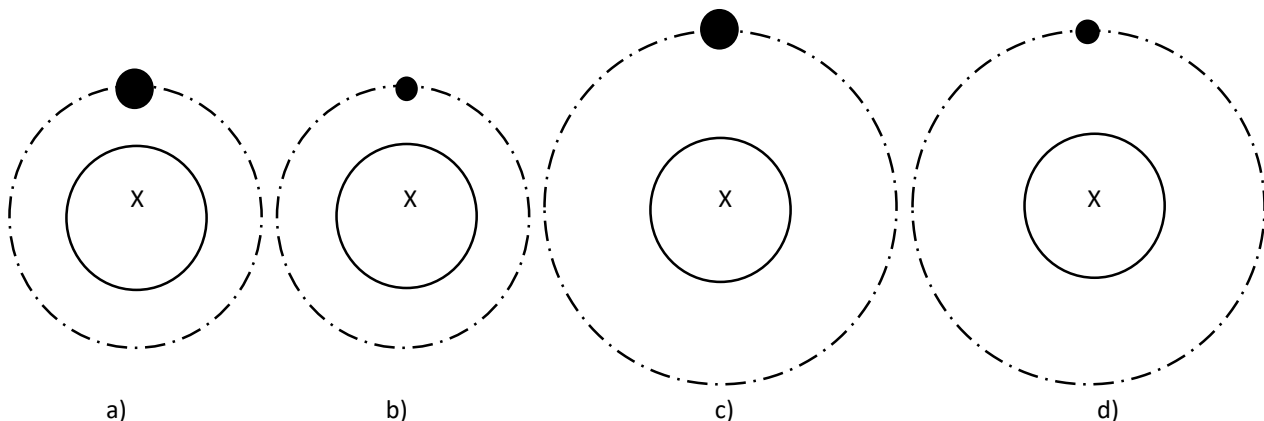


- a) La esfera más ligera (10kg)
- b) Todas llegarán al mismo tiempo.
- c) La esfera más pesada (20kg)
- d) La esfera de 15kg.

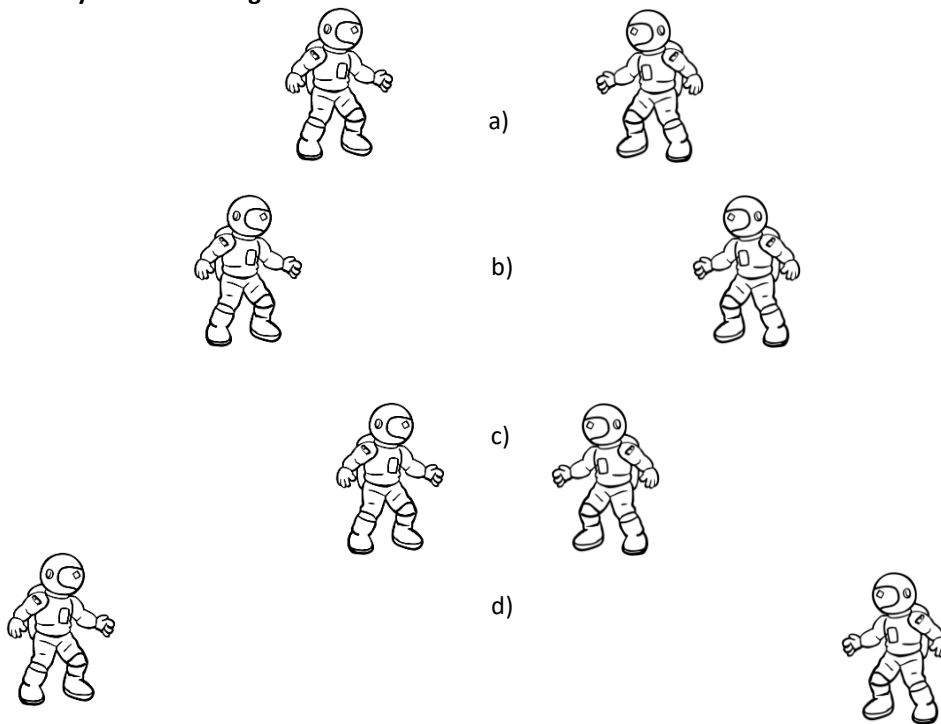
2) Si la masa del planeta Tierra aumentara repentinamente, a una nave espacial que se encuentra en la Tierra le costaría....

- a) Menos trabajo salir de la atmósfera terrestre
- b) Más trabajo salir de la atmósfera terrestre
- c) El mismo trabajo para salir de la atmósfera terrestre
- d) No se puede saber

3) Todos los planetas marcados con "X" son del mismo tamaño y masa, identifica en cuál de los casos el planeta tiene una mayor interacción gravitacional con su asteroide.



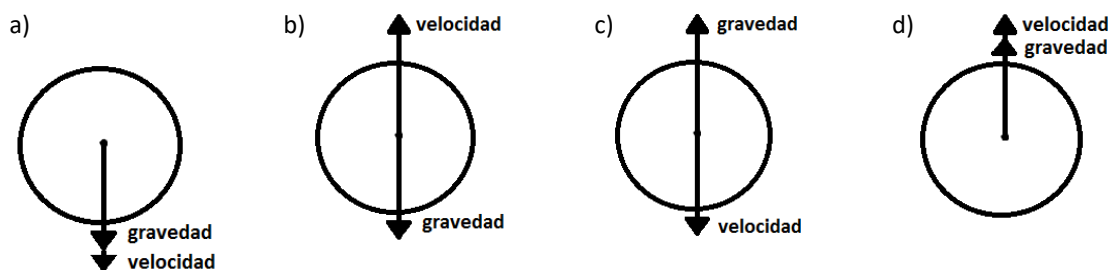
4) Si dos astronautas se encuentran en el espacio lejos de cualquier objeto con gran masa, ¿en cuál de los siguientes casos existirá una mayor interacción gravitacional entre ellos?



5) Para un automóvil que se encuentra descansando sobre el pavimento, ¿cuál de los siguientes enunciados describe mejor las interacciones entre los cuerpos?

- a) No existe ninguna fuerza actuando porque el auto está en reposo.
- b) La fuerza de gravedad está manteniendo el automóvil sobre el suelo.
- c) Sobre el auto actúan dos fuerzas: la de la gravedad hacia abajo y la del pavimento hacia arriba.
- d) No se tienen suficientes datos para saber sobre las fuerzas involucradas.

6) Los siguientes diagramas muestran un objeto que está cayendo hacia el suelo. ¿Cuál de los siguientes casos muestra mejor lo que está pasando con el objeto?



7) ¿Qué es lo que hace que un objeto lanzado hacia arriba regrese de nueva cuenta a la superficie de la Tierra? Elige la opción que describa mejor lo que sucede.

- a) La presión de la capa de aire que existe sobre la Tierra hace que el objeto vuelva a la superficie de la Tierra.
- b) Los objetos pesados tienen una tendencia natural a permanecer en la superficie de la Tierra.
- c) La fuerza de gravedad atrae al objeto hacia el centro de la Tierra y deja de actuar cuando llega al suelo.
- d) La fuerza de gravedad atrae el objeto hacia la superficie de la Tierra y sigue actuando cuando está en el suelo.

8) Si un astronauta en la luna deja caer una moneda desde la altura de su bolsillo, ¿cuál de los siguientes enunciados describe mejor lo que sucede?

- a) La moneda cae al suelo con una velocidad mayor a la que caería en el planeta Tierra.
- b) La moneda flotará y se quedará suspendida en el aire.
- c) La moneda flotará y se irá al espacio exterior.
- d) La moneda caerá al suelo a velocidad menor a la que caería en el planeta Tierra.

9) Una persona en el planeta Mercurio experimentará una fuerza gravitacional _____ comparada con la de la Tierra.

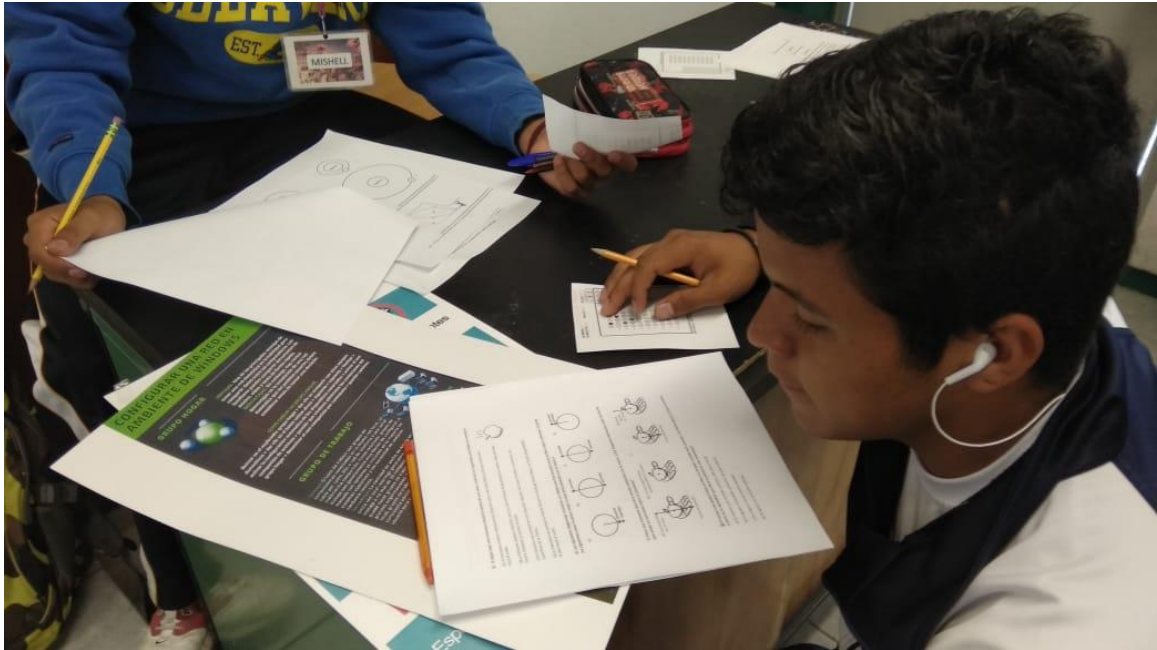
- a) Más fuerte, porque el planeta se encuentra más cercano al Sol.
- b) Más fuerte, porque Mercurio tiene mayor masa que la Tierra.
- c) Más débil, porque Mercurio tiene menor masa que la Tierra.
- d) Más débil, porque Mercurio se encuentra más cercano al Sol.

10) Para un objeto que se lanza hacia arriba, llega a un punto máximo y después empieza a caer ¿cuál de los siguientes enunciados es correcto?

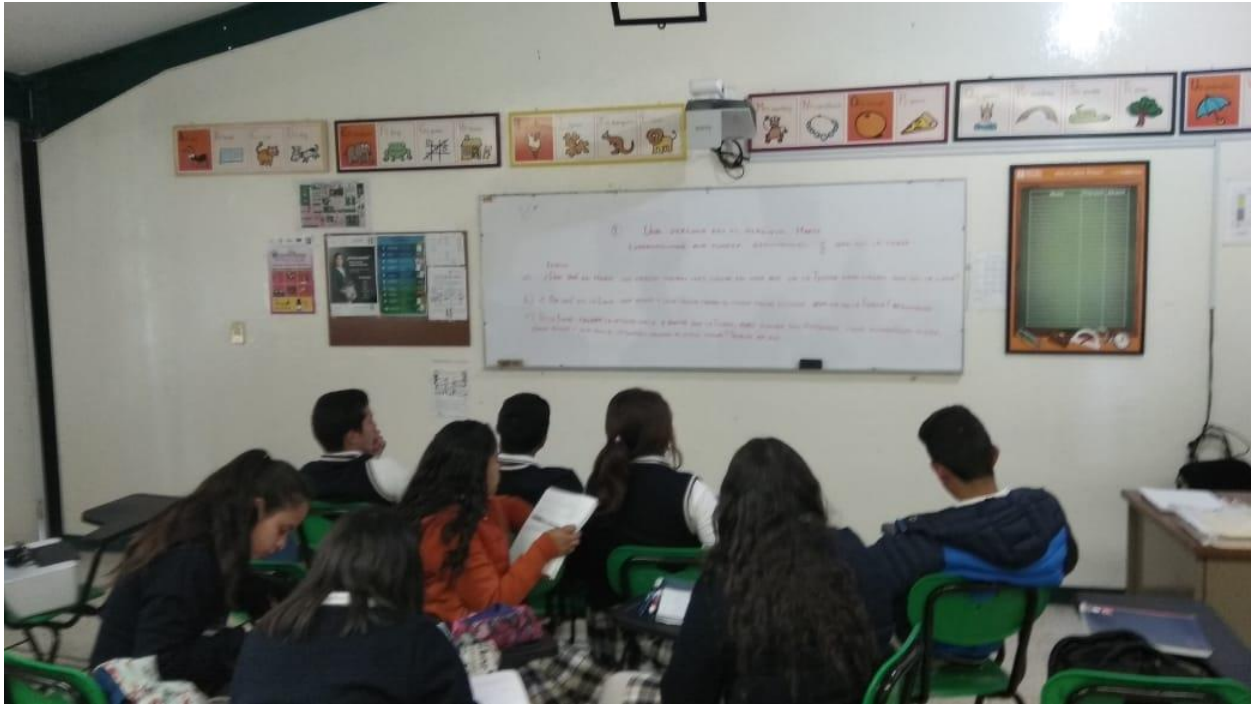
- a) La fuerza de gravedad comienza a actuar hasta el momento que el objeto comienza a caer.
- b) El objeto regresa a la superficie de la Tierra porque es su estado natural.
- c) La fuerza de gravedad actúa sobre el objeto en todo momento, atrayéndolo hacia el suelo.
- d) El objeto mantiene una velocidad constante debido a la fuerza de gravedad.

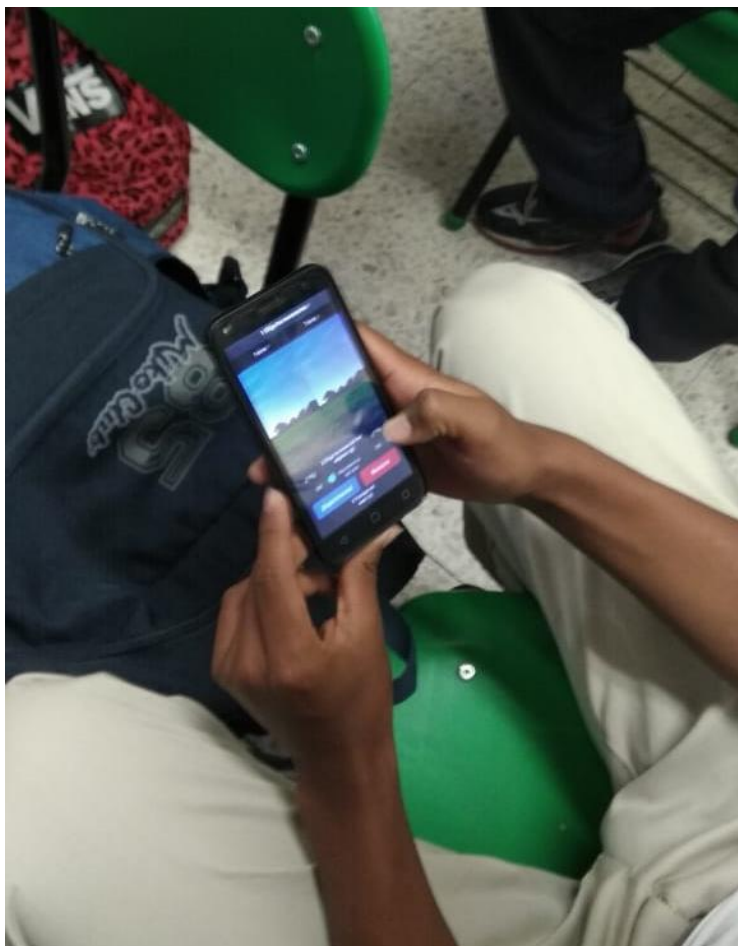
Anexo 5 Evidencias de las intervenciones

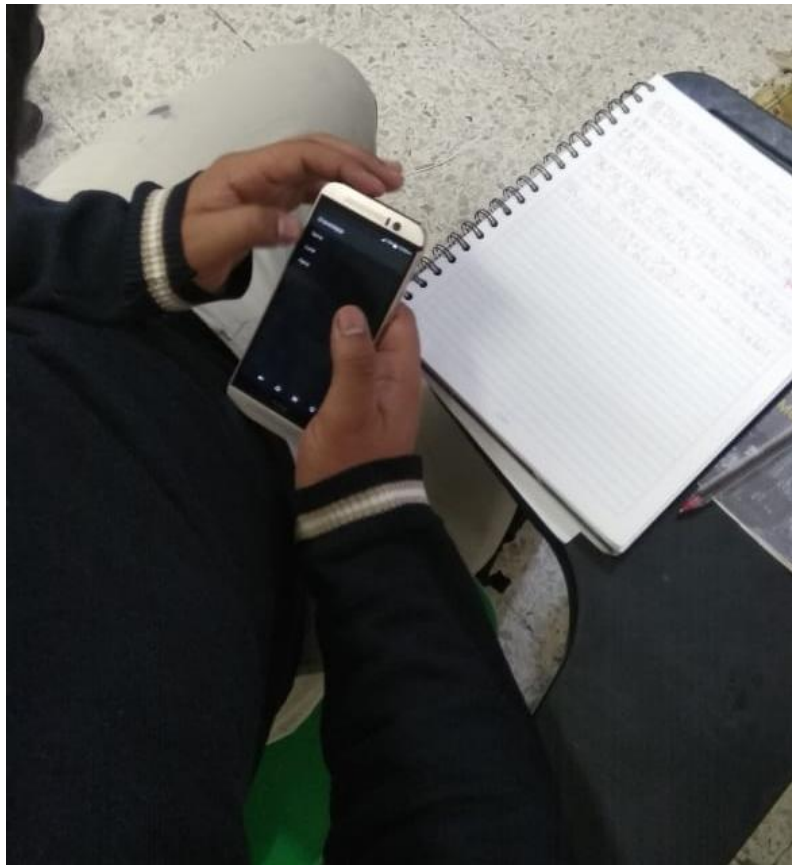














Anexo 6 Permisos de reimpresión para las imágenes