

La dinámica de asteroides como herramienta en la enseñanza de la Física y la Astronomía

Asteroid dynamics as a tool for teaching Physics and Astronomy

Johana Murcia Rocha ^{1*}, Néstor Fernando Méndez Hincapié², Camilo Delgado-Correal³

^{1*}Departamento de física, Universidad Pedagógica Nacional

²Departamento de física, Universidad Pedagógica Nacional

³Proyecto Curricular de Física, Universidad Distrital FJC

*jmurciar@upn.edu.co

Resumen

En este artículo se presentan los resultados de la construcción e implementación de una secuencia de enseñanza aprendizaje sobre las leyes de Kepler, su relación con las leyes de Newton y su respectiva aplicación en la descripción clásica del movimiento de asteroides en el Sistema Solar. También se vincula el proyecto de ciencia ciudadana de búsqueda de asteroides de la colaboración Internacional - IASC con el fin de brindar un contexto en la importancia de la identificación de asteroides en el Sistema Solar. La implementación se realizó con estudiantes del semillero de astronomía de una institución educativa distrital de la ciudad de Bogotá. Se evidencia que las actividades propuestas contribuyeron a una mejor comprensión de las temáticas abordadas en el aula de clase y se identifican algunas de las dificultades que persisten en el grupo y que son insumo para rediseñar la secuencia.

Palabras clave: Asteroides, Movimiento planetario, Búsqueda de asteroides, Secuencia enseñanza aprendizaje.

Abstract

This article presents the results of the construction and implementation of a sequence of teaching learning methodology taking on mind the Kepler's laws, their relationship with Newton's laws and their respective application in the classical description of the movement of asteroids in the Solar System. Is also linked the citizen science project for the asteroid identification of the international collaboration - IASC, with the intention to provide a context on the importance of the identification of asteroids in the Solar System. The implementation have been done with High School students from the club of astronomy of a district educational institution in the city of Bogotá. It is evident that the proposed activities contributed to a better understanding of the topics addressed in the classroom, and some of the difficulties that persist in the group are identified and that are tools to redesign the proposed learning sequence.

Key words: Asteroids, Planetary movement, Asteroids search, Teaching-learning sequence.

1. Introducción

El estudio y la identificación de los cuerpos menores del Sistema Solar, particularmente de asteroides, es de gran importancia para la comunidad astronómica en general, principalmente porque son cuerpos que presentan una amenaza para la vida en nuestro planeta [1].

Según las estadísticas del centro de estudios de objetos cercanos a la Tierra (Cneos por sus siglas en inglés), en los últimos 42 años, se han descubierto alrededor de 30 millones de asteroides cercanos a la Tierra (NEA's) [2] de los cuales 1428 se encuentran en la lista de riesgo, un catálogo de todos los objetos para los que se ha calculado una probabilidad de impacto distinta de cero [3].

Aunque ya se ha descubierto el 90 % de los objetos cercanos a la Tierra (NEO's) de más de un kilómetro [4], el objetivo en la actualidad es encontrar y caracterizar el 90 % de los cuerpos que miden alrededor de 140 metros o más [5]. Para lograr esto, se realizan programas a nivel global de campañas de ciencia ciudadana como la [Colaboración internacional de búsqueda astronómica](#) (IASC por sus siglas en inglés), en donde los científicos ciudadanos tienen la oportunidad de aprender sobre los NEO y buscar datos de posibles descubrimientos.

La ciencia ciudadana puede definirse como la participación del público general en actividades de investigación científica en las que ciudadanos contribuyen activamente [6]. Además, en la educación, los proyectos de ciencia ciudadana propician un contexto a los estudiantes y pueden ser usadas como una herramienta vinculada a los estándares estatales [7], que, para el caso de Colombia, son fijados por el Ministerio de Educación Nacional (MEN).

Por otro lado, vincular a los estudiantes a proyectos de ciencia ciudadana, puede hacer que se motiven más por el estudio de las ciencias, que comprendan la naturaleza de esta y que aprendan contenido [7]. Esto también puede ser una estrategia que ayude a resolver las deficiencias presentadas en la educación básica y media respecto a los conceptos que explican el movimiento de los cuerpos en el Sistema Solar. Según Diego Lopera [8], estas deficiencias se presentan porque en las aulas de clase se abordan

las leyes de Newton desconectadas del movimiento planetario y la ley de gravitación universal, sin ningún vínculo con los planteamientos de Newton y las leyes de Kepler, lo que conlleva a que los estudiantes no comprendan el movimiento planetario.

Para mejorar la comprensión de los estudiantes sobre el movimiento de los cuerpos al rededor del Sol, se planteó la siguiente pregunta: ¿qué características debe tener una Secuencia de Enseñanza Aprendizaje (SEA) que contribuya a la comprensión del movimiento planetario?

Para responder la pregunta de investigación, se diseñó e implementó una SEA que vinculó la campaña de búsqueda de asteroides de la IASC y el estudio de la dinámica de los cuerpos del Sistema Solar, teniendo en cuenta las leyes de Kepler y Newton, con el fin de identificar posible señal de cuerpo menor empleando el software Astrométrica y describir y comprender el movimiento alrededor del Sol los asteroides.

2. Metodología

Este trabajo se enmarca en el paradigma de investigación cualitativa de corte interpretativo, ya que una SEA, es una actividad de investigación intervencionista que incluye actividades bien estudiadas que se pueden adaptar empíricamente a las formas de razonar de los estudiantes a las que va dirigida dicha secuencia y se desarrolla en seis (6) fases [9]:

Orientación, que define la población y el contenido científico a enseñar y el alcance que tendrá la secuencia.

Comprensión, que corresponde al estudio de la información existente a través de un análisis epistemológico (estudio detallado de los contenidos y delimitación de los temas a enseñar) y se definen las demandas de aprendizaje que tiene el grupo de estudiantes a la que se le implementa la SEA. Para estas demandas, se compara el conocimiento previo de las y los estudiantes involucrados con los contenidos que emergen del análisis epistemológico, cuya finalidad es guiar el diseño de la SEA y el grado de dificultad que esta alcanzará.

Definición, donde se establecen los objetivos a enseñar en correspondencia al grupo al que se dirige

Tabla 1. Resultados por subcategorías de la categoría relacionada con la segunda ley de Kepler

Subcategoría	Descripción	Frecuencia	Porcentaje [%]
1	Dibuja vectores tangentes y acierta en magnitud	2	12.5
2	Dibuja algunos vectores tangentes y acierta en magnitud	2	12.5
3	Dibuja vectores tangentes y no acierta en magnitud	1	6.25
4	Dibuja vectores tangentes y las magnitudes son iguales	1	6.25
5	No dibuja vectores tangentes y acierta en magnitud	6	37.5
6	No dibuja vectores y las magnitudes son iguales	2	12.5
7	No responde	2	12.5

Tabla 2. Resultados por subcategorías de la categoría relacionada con el parámetro excentricidad

Subcategoría	Descripción	Frecuencia	Porcentaje [%]
1	Más descentramiento y/o achatamiento de la órbita	3	18.75
2	La órbita tiene forma elíptica	1	6.25
3	El cuerpo tarda más en período orbital y está más lejos del Sol	3	18.75
4	La órbita es una circunferencia	1	6.25
5	No es claro	5	31.25
6	No responde	3	18.75

Tabla 3. Resultados por subcategorías de la categoría relacionada con el ley gravitacional y tercera ley de Newton

Subcategoría	Descripción	Frecuencia	Porcentaje [%]
1	La fuerza es la misma	2	12.5
2	El cuerpo B experimenta mayor fuerza	5	31.25
3	El cuerpo A experimenta mayor fuerza	1	6.25
4	La fuerza es diferente	2	12.5
5	No responde	6	37.5

la secuencia, y los indicadores que se utilizarán para evaluar los logros de la SEA.

Creación, que es la construcción propiamente dicha de las diferentes actividades que componen la SEA. Es la etapa de producción del material didáctico, que se basan en el análisis epistemológico, y se definen las pautas a seguir para la evaluación de la SEA en concordancia con la fases anteriores. Si es necesario, habrá documentos complementarios para que otros profesores puedan hacer uso de los materiales didácticos. No todos los aspectos de estos documentos y materiales se derivarán directamente del análisis anterior, por lo que es necesario informar a futuros usuarios sobre las bases teóricas que se tuvieron en cuenta y las elecciones personales pa-

ra la construcción de la SEA.

Implementación, de la SEA a la población objetivo. Esta fase es un proceso de enseñanza y aprendizaje guiado por el material elaborado en la fase de *creación*.

Evaluación, en relación a la eficiencia de la SEA y a los resultados de aprendizaje alcanzados por la población. En general se evalúan dos dimensiones. Una en relación con la calidad de la SEA (claridad de las actividades, tiempos establecidos y dificultades de los contenidos innovadores), y otra en relación con los resultados de aprendizaje (comprensión de conceptos y habilidades desarrolladas de la población objetivo).

3. Resultados y discusión

De acuerdo con la metodología descrita anteriormente, a continuación se proporciona una descripción general del proceso de diseño de la SEA y los resultados de su implementación.

3.1. Diseño de la secuencia de enseñanza aprendizaje

En este caso, se desarrolló un proceso para articular el diseño de una SEA en el contexto de un semillero de astronomía de un colegio distrital de Bogotá, Colombia, para enseñar los temas de leyes de Kepler y movimiento planetario, vinculando una campaña de búsqueda de asteroides (*orientación*).

El análisis epistemológico se basó en los textos estándar [10], [11] y normas que regulan la educación en Colombia [12], [13]. Las demandas de aprendizaje se identificaron por medio de una prueba inicial (pretest) que se presenta en la fase de evaluación (*comprensión*).

De la fase anterior emergen los siguientes indicadores de aprendizaje (*definición*):

- Identificar los asteroides en el Sistema Solar.
- Reconocer que lo que caracteriza y diferencia a los asteroides son su tamaño, forma y dinámica.
- Reconocer que un candidato a asteroide a partir de imágenes astrométricas cumple con una trayectoria en línea recta, imagen puntual de aspecto estelar (gaussiano) con borde suavizado, y que no se mueva al unísono con la cuadrilla.
- Caracterizar propiedades astrométricas de una señal astrofísica en el software de reducción de datos (Astrometrica) y poderlas referir en el ámbito de la observación astronómica.
- Categorizar las órbitas de diferentes asteroides del Sistema Solar.
- Comprender qué son los elementos orbitales y su representación referente al plano eclíptico.
- Conocer los criterios que se deben tener en cuenta para clasificar a los asteroides de acuerdo con su órbita.

- Comprender las leyes de Kepler.
- Evidenciar que los cuerpos del Sistema Solar describen órbitas elípticas con el Sol en uno de sus focos.
- Evidenciar que el radio vector que une el Sol con el cuerpo, barre áreas iguales en tiempos iguales y entender qué implicaciones tiene esto con la velocidad del cuerpo en análisis.
- Comprobar que el cuadrado del periodo de cualquier cuerpo del Sistema Solar es proporcional al cubo del semieje mayor de su órbita.

Teniendo en cuenta las demandas de aprendizaje y los indicadores anteriores, la SEA se propone abordar la enseñanza del movimiento planetario a través del estudio de las órbitas de los asteroides del Sistema Solar utilizando el software astrométrica el cual permite identificar y posicionar en sus coordenadas ecuatoriales (ascensión recta [RA] y declinación [DEC]) un asteroide en una región de la bóveda celeste y sus características astrométricas. A partir de posiciones dadas, se caracterizan las órbitas de estos cuerpos celestes identificando que se trata de cuerpos que se mueven en trayectorias elípticas con el Sol en uno de sus focos, evidenciando las leyes de Kepler. Dada la complejidad que implica a estudiantes de educación media determinar la trayectoria de los asteroides a partir de unas posiciones, se considera que una herramienta que permite una mayor comprensión de los principios físicos y aspectos matemáticos de cualquier fenómeno físico son las simulaciones [14]. Por tal motivo se realiza una simulación en el lenguaje de programación Python, ya que este se ha convertido en una de las herramientas más usadas en la actualidad en el campo de la astronomía y de las ciencias en general [15] (*creación*).

La implementación se llevó a cabo con 16 estudiantes entre los 14 y 18 años del semillero institucional de astronomía del colegio Liceo Femenino Mercedes Nariño (*implementación*)

3.2. Evaluación de la implementación de la secuencia de enseñanza aprendizaje

Para evaluar los resultados de aprendizaje, se diseñaron dos pruebas que se aplicaron al inicio y al final de la implementación (pretest y postest). El **pretest**

aplicado es un cuestionario con preguntas cerradas de selección múltiple. Para el **postest** se modifican la mayoría de las preguntas para que sean abiertas y algunas de ellas argumentativas. Cabe mencionar que en cada cuestionario se maneja un total de 13 preguntas. El objetivo es contrastar cómo este grupo de estudiantes responde a la SEA, y si es posible superar algunas de las dificultades identificadas en ellas. (*evaluación*).

Del postest, se eligieron las preguntas referenciadas en la tabla 4 porque se considera que están relacionadas con la parte argumentativa científica para dar explicación al movimiento de los cuerpos del Sistema Solar, en este caso, de asteroides.

Tabla 4. Preguntas seleccionadas para análisis

Número de Pregunta realizada	Categoría asignada
1	Segunda ley de Kepler
2	Parámetro excentricidad
3	Ley gravitacional y tercera ley de Newton

Finalmente, en la figura 1, se presentan los resultados de la aplicación del pretest y postest. Se puede evidenciar que en la mayoría de preguntas se obtuvieron mejores resultados después de la implementación la SEA a excepción de las preguntas 8 y 11 que mantuvieron su porcentaje de aciertos. Estas preguntas estaban relacionadas con la tercera ley de Kepler y la conservación del momento angular en el movimiento planetario, temas que se desarrollaron en corto tiempo y para el caso del segundo, fue de manera superficial.

Con el fin de realizar el análisis de las categorías propuestas en la tabla 4, se toman en cuenta las subcategorías propuestas en las tablas 1, 2 y 3. Para la construcción de estas subcategorías se estudiaron las respuestas dadas por las estudiantes. Los hallazgos se enuncian a continuación por categoría.

3.3. Categoría sobre la segunda ley de Kepler

En esta categoría se esperaba que las estudiantes representaran el vector velocidad tangente a la órbita, para tres épocas diferentes y con su magnitud correspondiente, mayor si se está más cerca al Sol y menor si está más lejos del Sol. Además el sentido de cada vector debía ser acorde con el sentido de trasla-

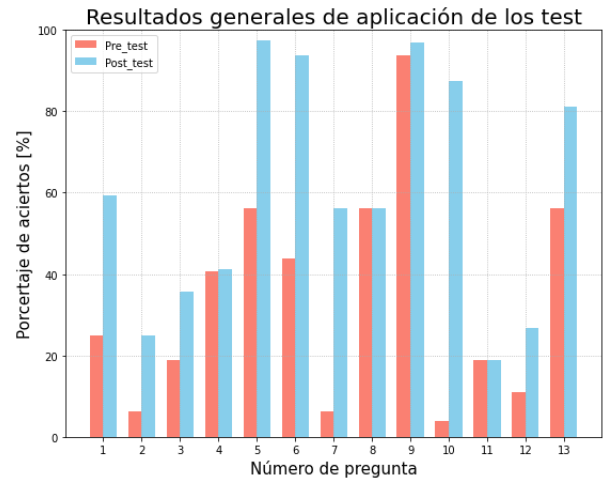


Figura 1. Resultados generales de la aplicación del pretest y postest

ción (sentido antihorario) de la mayoría los cuerpos con órbitas elípticas en el Sistema Solar.

Las estudiantes realizaron diferentes representaciones y las respuestas proporcionadas fueron agrupadas en las subcategorías presentadas en la tabla 1, información que se representa en la figura 2. Aunque se evidencia que el 50% de las estudiantes tienen dificultades con la representación de vectores tangenciales a la órbita, aciertan en la magnitud de la velocidad del cuerpo, lo que indica que se debe reforzar la representación de los vectores de estado, particularmente de la velocidad, en el movimiento elíptico de un cuerpo celeste.

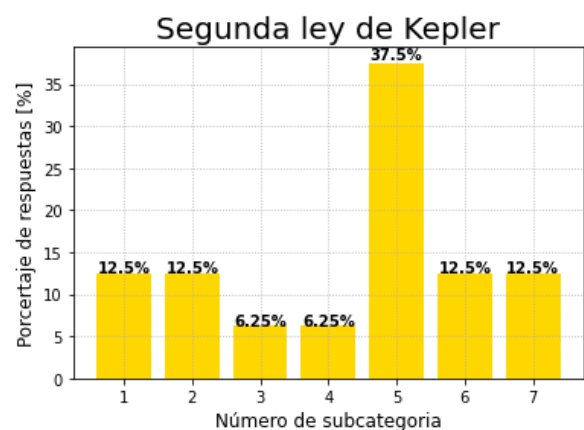


Figura 2. Porcentaje de respuestas obtenidos para la primera pregunta del cuestionario final, la cual estaba relacionada con la segunda ley de Kepler

3.4. Categoría sobre el parámetro excentricidad

Para esta categoría se esperaba que las estudiantes explicarían el concepto de la excentricidad en términos del grado de descentramiento o achatamiento de una órbita respecto a una circunferencia, esto desde un punto de vista astronómico. Las respuestas dadas se agruparon en las subcategorías de la tabla 2 y se representan en la figura 3. Se evidencia que sólo el 18.75% de las estudiantes dan una explicación acorde con lo esperado y el 6.25% asocian la excentricidad a una forma elíptica de la órbita lo cual es un pensamiento aproximado ya que este parámetro puede definir cualquier tipo de cónica (para las elipses $e < 1$, $e = 0$ para la circunferencia, para la parábola $e = 1$, y para las hipérbolas $e > 1$) [16]. Debido a que el concepto de excentricidad les fue difícil de comprender al 75.25%, se propone ahondar en el tema y no sólo usar recursos de simulación sino también actividades como las propuestas por Diana Ramírez y Richard Reyes [17].

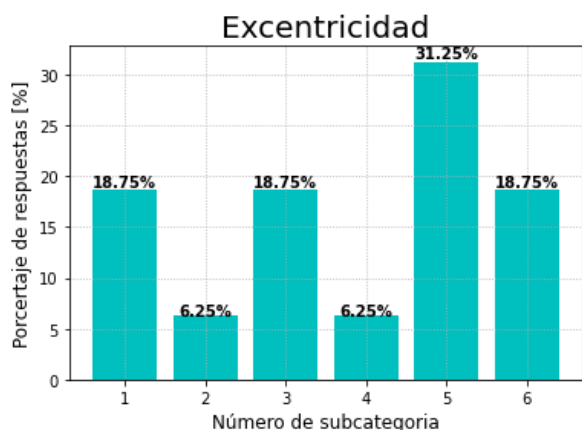


Figura 3. Porcentaje de respuestas obtenidos para la segunda pregunta del cuestionario final, la cual estaba relacionada con el concepto de excentricidad en astronomía

3.5. Categoría sobre la ley de gravitación y la tercera ley de Newton

En esta categoría se quería conocer el conocimiento adquirido de las estudiantes en relación con lo que ocurre con dos cuerpos que interactúan gravitacionalmente. En este sentido, se esperaba que relacionaran la ley de gravitación universal con la tercera ley de Newton, debido a que una fuerza central, como lo es la gravitacional, obedece el principio de

Ley gravitacional y tercera ley de Newton

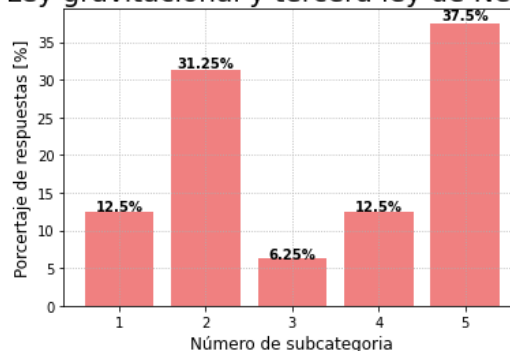


Figura 4. Porcentaje de respuestas obtenidos para la tercera pregunta del cuestionario final, la cual estaba relacionada con la ley de gravitación y tercera ley de Newton

acción reacción, por ende, las fuerzas son iguales en dirección y módulo pero sentido contrario.

De acuerdo con las respuestas dadas, se construyeron las subcategorías de la tabla 3 y se representan en la figura 4. Se evidencia que el 37.5% asocia una fuerza mayor o menor a cada cuerpo dependiendo de la masa que éste posea, lo cual indica que no se comprendió que la fuerza de atracción gravitacional depende de las dos masas que estén interactuando. Como esta temática se desarrolló únicamente de forma teórica, se propone hacer uso de una simulación para que se interactúe con esta y se pueda interiorizar mejor la temática.

4. Conclusiones

Se logró construir una SEA cuyo objetivo es abordar el movimiento de los cuerpos celestes alrededor del Sol, particularmente de los asteroides y lo que diferencia estos cuerpos de los demás objetos del Sistema Solar, apoyados en el software Astrométrica, y en bases de datos como el JPL-Horinzons NASA, datos que se utilizaron para reconstruir la órbita de algunos asteroides para explicar las leyes de Kepler y la ley de gravitación universal de Newton, temáticas obligatorias en los currículos de Colombia. Su implementación se realizó en 10 sesiones (cada una de dos horas) y permitió mejorar la comprensión de la mayoría de las estudiantes, primordialmente en temas como las leyes Kepler, ley gravitacional, leyes de Newton y caracterización y ubicación de los asteroides en el Sistema Solar.

Las dificultades que persisten aún en el grupo, y que se amplían más abajo, son una parte esencial del rediseño de las SEAs. En particular, para futuras implementaciones con grupos similares, invita a trabajar con simulaciones, acercarse geoméricamente a la enseñanza de la elipse y explicitar la tercera ley de Kepler con datos observacionales.

De acuerdo con lo mencionado previamente y acorde con las ideas erróneas o explicaciones no acordes con el conocimiento científico validado que daban las estudiantes, se propone para el caso de conservación del momento angular, hacer explícita la temática y pensar en actividades que vinculen un poco más al estudiante en el desarrollo y comprensión de los ejes disciplinares que permiten dar cuenta del movimiento de los cuerpos alrededor del Sol, por ejemplo, en las temáticas mencionadas en cada categoría.

Finalmente, se propone disponer de más tiempo para abordar las temáticas referentes a las leyes de Kepler y ley gravitacional debido a que estas se desarrollaron en tres sesiones sólo de manera teórica, lo que puede ocasionar que no cobre un significado para los estudiantes.

Declaración de conflicto de interés: Los autores manifiestan no tener conflictos de interés.

Referencias

- [1] D. B. Aissa, "The importance of the study and observation of stellar occultation by Near-Earth Asteroids," in *Annual Conference and General Assembly of the African Astronomical Society*, 2022, p. 56.
- [2] CNEOS. (2022) Center for near earth object studies. [Online]. Available: <https://cneos.jpl.nasa.gov/stats/totals.html>
- [3] E. S. Agency. (2022) European space agency. [Online]. Available: <https://neo.ssa.esa.int/risk-list>
- [4] CNEOS. (2022) Center for near earth object studies. [Online]. Available: <https://cneos.jpl.nasa.gov/stats/>
- [5] NASA. (2022) Planetary defense. [Online]. Available: <https://www.nasa.gov/planetarydefense/neo>
- [6] A. Torralba, "La ciencia ciudadana como innovación en la enseñanza de las ciencias," *XII JORNADAS DE INNOVACIÓN DOCENTE 2019 – Libro de Actas UNIVERSIDAD DE OVIEDO*, 2019.
- [7] L. L. Jenkins, "Using citizen science beyond teaching science content: A strategy for making science relevant to students' lives," *Cultural Studies of Science Education*, vol. 6, no. 2, pp. 501–508, 2011.
- [8] D. Lopera, "Diseño de una estrategia didáctica para la enseñanza aprendizaje del movimiento planetario con la utilización de un aula virtual," *Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales*, pp. 9–11, 2014.
- [9] J. Guisasola, K. Zuza, J. Ametller, and J. Gutierrez-Berraondo, "Evaluating and redesigning teaching learning sequences at the introductory physics level," *Physical Review Physics Education Research*, vol. 13, no. 2, p. 020139, 2017.
- [10] H. D. Curtis, *Orbital Mechanics for Engineering Students*. ELSEVIER, 2010, vol. Second Edition.
- [11] P. G. Hewitt, *Física conceptual*. PEARSON Addison Wesley, 2007, vol. Décima edición. [Online]. Available: https://ccie.com.mx/wp-content/uploads/2020/03/fisica-conceptual_paulhewitt.pdf
- [12] MEN, "Estándares básicos de competencias en ciencias sociales y ciencias naturales," *Ministerio de Educación Nacional*, pp. 40–52, 2020. [Online]. Available: https://www.mineducacion.gov.co/1780/articles-116042_archivo_pdf3.pdf
- [13] MEN, "lineamientos curriculares," *Ministerio de Educación Nacional*, pp. 81–83, 2018. [Online]. Available: https://www.mineducacion.gov.co/1780/articles-339975_recursos_5.pdf
- [14] A. López, "La simulación: una herramienta para el aprendizaje de los conceptos físicos," *Maestría en Educación Matemática-Universidad de Medellín*, pp. 36–39, 2016.
- [15] C. Morales, D. Marín, and M. León, "Asrtronodinámica para todos primera parte python como herramienta clave de aprendizaje en ciencia," *Astronomía*, pp. 40–44, 2020.
- [16] E. Gesteira Losada, I. Larrosa Cañestro, E. de la Torre Fernández, and F. Zacarías Maceiras, "Cónicas del espacio al plano usando geogebra 3d," *Asociación Galega do Profesorado de Educación Matemática*, 2015. [Online]. Available: https://smpm.es/moodle/pluginfile.php/1350/mod_resource/content/0/Conicas_del_espacio_al_plano_con_GG3D.pdf
- [17] D. Ramírez and R. Reyes, "Propuesta de enseñanza de la primera ley de kepler a partir de los elementos de la elipse," *Revista Tecnó, Episteme y Didaxis: TED.*, 2016. [Online]. Available: <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/4671/3827>