

3. Integrando la metodología 4MAT y datos reales para la enseñanza de las leyes de Kepler en la escuela secundaria: Una propuesta de investigación

FERNANDA GONZÁLEZ-ERIVES*

SILVIA MAFFEY**

RICARDO GARCÍA-SALCEDO***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.219.03>

Resumen

Esta propuesta de investigación aborda la necesidad de integrar la astronomía en la educación secundaria, destacando la importancia de las leyes de Kepler en este contexto. Maestros y alumnos enfrentan desafíos al enseñar y comprender estos conceptos debido a su complejidad matemática. Aunque existen estrategias pedagógicas para otros niveles educativos, la escasez de enfoques efectivos para la secundaria es evidente. Para cerrar esta brecha, se propone la implementación de la metodología 4MAT, un enfoque pedagógico estructurado que abarca experiencias, conceptualización, aplicación y refinamiento. La investigación busca superar la distancia entre los conceptos abstractos y las aplicaciones prácticas en la enseñanza secundaria al integrar la metodología 4MAT y datos reales para enseñar las leyes de Kepler. Esta propuesta de trabajo incluye una secuencia didáctica inmersiva que conecta lo tangible con el aprendizaje teórico, mejorando la comprensión

* Alumna de la Maestría en Ciencias en Física Educativa del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA), unidad Legaria, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7009-8556>

** Doctora en Ciencias en Física Educativa. Profesora del Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos (CECYT) No. 2 Miguel Bernard del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8770-6596>

*** Doctor en Ciencias (Física). Profesor del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA), unidad Legaria, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0173-5466>

de este tema en los estudiantes. Este enfoque innovador, además de fomentar el pensamiento crítico, busca cultivar una actitud positiva hacia la ciencia. La investigación anticipa resultados alentadores tras la implementación de esta metodología, contribuyendo significativamente a la enseñanza de las leyes de Kepler en educación secundaria.

Palabras clave: *metodología 4MAT, leyes de Kepler, enseñanza.*

Introducción

En el contexto de la educación secundaria, la indagación en principios científicos avanzados cumple una función esencial al influir en el crecimiento intelectual de los estudiantes y estimular su pasión por la investigación en el ámbito científico [1]. Dentro de esta compleja serie de ideas, las leyes que describen cómo los planetas se mueven alrededor de las estrellas, conocidas como las leyes del movimiento planetario de Kepler, destacan como un pilar fundamental en el campo de la astronomía como ciencia íntimamente relacionada con la física [2]. Al comprender estas leyes, los alumnos acceden a un nivel profundo de entendimiento acerca de la dinámica cósmica que rige al universo del que formamos parte [3].

Las leyes establecidas por Kepler no se limitan a ser curiosidades académicas; más bien constituyen los cimientos de los sucesos astronómicos que siguen cautivando tanto a científicos como al público en general, manteniendo su capacidad de inspirar asombro [4], de anticipar las ubicaciones de los planetas hasta desentrañar la mecánica que subyace a los eclipses y los cambios estacionales. Las leyes establecidas por Kepler presentan una perspectiva hacia la armonía cósmica que moldea nuestro planeta. Propiciar en los alumnos de secundaria el desarrollo de la habilidad de comprender estas leyes favorece su comprensión científica y los empodera para involucrarse de manera crítica con el entorno natural.

Aunque son significativas, las leyes de Kepler frecuentemente resultan desafiantes para los estudiantes debido a la complejidad matemática y la naturaleza abstracta que las caracteriza [5][6][7]. Los estudiantes de nivel secundaria, quienes deben lidiar con múltiples asignaturas, podrían expe-

rimentar obstáculos al tratar de conectar los conceptos teóricos con sus aplicaciones en el mundo real.

Los estudiantes de educación secundaria en México, generalmente entre 12 y 15 años, adquieren conocimientos matemáticos básicos según los programas de estudio nacionales [8]. Estos conocimientos incluyen álgebra elemental, geometría y conceptos fundamentales de aritmética. Sin embargo, enfrentar las leyes de Kepler, que involucran conceptos más avanzados de geometría y cálculo, podría requerir una comprensión más profunda de las funciones matemáticas y la capacidad de manipular ecuaciones. Para abordar efectivamente las leyes de Kepler los estudiantes pueden beneficiarse de una sólida base en trigonometría y cálculo, que no siempre es parte integral del currículo de educación secundaria estándar. Por lo tanto, podría ser necesario un enfoque pedagógico específico y recursos adicionales para preparar a los estudiantes para comprender completamente y aplicar las leyes de Kepler, lo cual es parte del objetivo de esta propuesta de investigación.

En este sentido, la investigación en marcha, cuya primera etapa se reporta en este trabajo, busca probar la efectividad de la metodología 4MAT al diseñar e implementar una secuencia didáctica basada en esta, que abordar esta brecha pedagógica aprovechando el potencial de la metodología 4MAT dentro de una secuencia didáctica [9][10]. La brecha pedagógica en el contexto de enseñar las leyes de Kepler en estudiantes de secundaria se refiere a la disparidad entre los conocimientos matemáticos requeridos para comprender plenamente estas leyes y los conocimientos matemáticos que poseen los estudiantes en el momento. Esta discrepancia puede surgir debido a la complejidad matemática inherente a las leyes que describen el movimiento planetario, que a menudo involucran conceptos geométricos y cálculos específicos.

La brecha pedagógica implica que algunos estudiantes pueden no tener la base matemática necesaria para abordar adecuadamente las leyes de Kepler. Esto puede derivar en dificultades para entender los conceptos clave y aplicarlos a situaciones astronómicas reales. La identificación y la comprensión de esta brecha permiten a los educadores adaptar sus enfoques pedagógicos, proporcionar apoyo adicional y desarrollar estrategias específicas para cerrar esa disparidad y garantizar una comprensión más completa de las leyes de Kepler entre todos los estudiantes.

Mediante la utilización de distintos enfoques de enseñanza, la metodología 4MAT busca simplificar los aspectos complejos relacionados con las leyes de Kepler, con el objetivo de que sean más accesibles y atractivas para una gama más amplia de estudiantes en la educación secundaria. El empeño por mejorar la comprensión de estas leyes tiene importantes consecuencias para fomentar la competencia científica y estimular el análisis crítico, la curiosidad y una mayor valoración de las maravillas del universo.

La enseñanza de las leyes de Kepler mediante una secuencia didáctica meticulosamente elaborada resulta fundamental para superar estas limitaciones en comprensión y para incrementar el interés y la pasión de los estudiantes hacia la física y la astronomía. La elección de la metodología 4MAT se llevó a cabo con este propósito debido a su enfoque integral abarcando los distintos estilos de aprendizaje del modelo de Kolb, lo cual con lo que favorece que los alumnos se involucren activamente en su proceso de aprendizaje [11]. Esta metodología se fundamenta en cuatro fases: experiencia, conceptualización, aplicación y refinamiento. Cada fase se adapta para abordar las diversas modalidades de aprendizaje de los estudiantes, lo que les permite vivir, analizar, aplicar y consolidar los conocimientos adquiridos.

Uno de los pilares de esta propuesta de investigación es la utilización de datos astronómicos reales para enriquecer la secuencia didáctica diseñada para la enseñanza de las leyes de Kepler. Esta integración de datos auténticos se facilita a través del medio innovador de un observatorio virtual, que abre un portal al cosmos dentro de las paredes del aula. Este enfoque presenta una oportunidad excepcional para cerrar la brecha entre los principios teóricos abstractos y las aplicaciones tangibles del mundo real, elevando la experiencia de aprendizaje a nuevas dimensiones [12].

El concepto de observatorio virtual presenta a los estudiantes las herramientas y metodologías empleadas por los astrónomos para investigar las maravillas celestes. A través de esta plataforma digital, los estudiantes obtienen acceso a datos recopilados de varios telescopios y observatorios, lo que les permite interactuar y analizar conjuntos de datos que emplean los investigadores. El observatorio virtual trasciende así los límites de un aula tradicional, invitando a los estudiantes a participar activamente en el proceso científico [13].

Dentro de la secuencia didáctica, los datos astronómicos reales podrían manifestarse de múltiples maneras. Por ejemplo, los estudiantes podrían profundizar en conjuntos de datos que muestren los patrones orbitales de los planetas, analizando las mediciones precisas que llevaron a las leyes de Kepler en primer lugar. Alternativamente, podrían explorar las variaciones en el movimiento planetario, investigando las perturbaciones y anomalías que surgen debido a las interacciones gravitacionales entre los cuerpos celestes.

La integración de datos reales a través de un observatorio virtual se alinea perfectamente con los principios de la metodología 4MAT. Los trabajos sugieren que el modelo de enseñanza 4MAT puede integrarse eficazmente con la tecnología para mejorar el aprendizaje de los alumnos. Kelley [14] descubrió que el modelo 4MAT ayudaba a los profesores a diseñar actividades interactivas que mejoraban el interés y la motivación de los alumnos. Los estudiantes en la etapa de experiencia pueden interactuar con visualizaciones dinámicas y simulaciones que incorporan las leyes de Kepler. En la etapa de conceptualización, pueden profundizar en el contexto histórico y los fundamentos matemáticos de los datos, conectando los principios abstractos con la evidencia empírica. A medida que avanzan a la etapa de aplicación, los estudiantes pueden manipular los datos para hacer predicciones y probar hipótesis, dando vida a los conceptos teóricos. Finalmente, la etapa de refinamiento los alienta a comunicar sus hallazgos y conocimientos, fomentando el aprendizaje colaborativo y una comprensión más profunda.

Al incorporar datos astronómicos reales a través de un observatorio virtual, la secuencia didáctica adquiere una calidad inmersiva que resuena con la naturaleza inherentemente curiosa de los estudiantes. Enciende una sensación de asombro mientras los estudiantes navegan por el cosmos, haciendo que su viaje de aprendizaje sea informativo e inspirador. Al perfilar su propuesta de investigación, considere el potencial transformador de este enfoque para mejorar la comprensión y el compromiso de los estudiantes de secundaria con las leyes de Kepler y las maravillas del universo que revelan. Weber [15] destacó la aplicabilidad universal del modelo 4MAT y su capacidad para mejorar diversos tipos de cursos. En general, los artículos sugieren que la combinación del modelo 4MAT con la tecnología puede mejorar el aprendizaje y el compromiso de los alumnos.

Se pretende que la enseñanza de las leyes de Kepler a través de la secuencia didáctica propuesta sea esencial para superar estas barreras de comprensión y aumentar la motivación y el entusiasmo de los estudiantes hacia la física y la astronomía.

Revisión de literatura

Actualmente, la enseñanza de la física se centra en gran medida en un modelo predominante en el que una parte importante del tiempo de clase se dedica a conferencias dirigidas por profesores. Al mismo tiempo, las tareas con frecuencia consisten en problemas a resolver después del trabajo en el aula para su posterior revisión, que están estructurados de tal forma que su resolución no va más allá del uso de ecuaciones que modelan los fenómenos, pero trabajadas ya como fórmulas. La evaluación de los estudiantes, a su vez, suele facilitarse mediante cuestionarios, un componente que a menudo tiene un peso considerable a la hora de determinar las calificaciones finales. Está bien establecido, basándose en ideas de diversas fuentes autorizadas [16][17] que esta práctica da lugar a disparidades entre los resultados de aprendizaje previstos por los educadores y el nivel real de comprensión alcanzado por los estudiantes en la materia.

Las implicaciones del modelo pedagógico tradicional son discernibles. Inadvertidamente perpetúa una desconexión entre los objetivos de instrucción establecidos por los educadores y la genuina adquisición de conocimientos por parte de los alumnos. Esta divergencia puede atribuirse a la naturaleza mecanicista del marco de instrucción predominante que se enfoca en la aplicación de fórmulas sobre una comprensión holística de conceptos fundamentales. En consecuencia, los estudiantes pueden cumplir con los criterios para la resolución de problemas de memoria sin interiorizar verdaderamente los principios subyacentes que rigen la materia. Enseñar astronomía en estos grados suele ser un reto para los profesores de ciencias, ya que contiene temas complejos de la física que requieren comprensión de geometría tridimensional y dinámica, por lo que demanda avanzadas capacidades cognitivas en los estudiantes [18]. La ciencia incluye la observación de la organización y regularidad de los fenómenos naturales, que es un re-

quisito previo para la comprensión de los conocimientos científicos pertinentes. Después de aprender estos conceptos científicos, el camino está construido para que el estudiante observe el fenómeno de una manera nueva y pueda comprenderlo con mayor facilidad.

Se puede generar más intriga en torno al tema al facilitar oportunidades para que los estudiantes interactúen activamente y exploren estas leyes fundamentales dentro del aula. Un estudio de Lu *et al.* [19], titulado “Visualización de las leyes del movimiento planetario de Kepler”, subraya esta perspectiva. La investigación demuestra que mediante el uso de tecnología tridimensional (3D) para simular la gravitación universal de Newton, las leyes del movimiento planetario de Kepler pueden ilustrarse vívidamente en una superficie tangible. La introducción de esta tecnología mejora sustancialmente la viabilidad de investigar y visualizar estos principios físicos primordiales, brindando así a los estudiantes un encuentro directo e inmersivo con estas leyes.

Además, la aplicación de este enfoque conlleva ventajas adicionales, ya que los estudiantes manipulan activamente la información sobre los cuerpos celestes bajo escrutinio. Aprovechar los datos obtenidos del Observatorio Virtual, junto con una plataforma de planetario virtual como Stellarium o Celestia, tiene el potencial de producir resultados comparables, si no superiores, para los estudiantes inmersos en el aprendizaje de la física. La combinación dinámica de estos recursos anticipa una amplificación sinérgica de los resultados. A medida que los estudiantes aprovechan estas herramientas, su interacción con los datos astronómicos fomenta el cultivo de habilidades multifacéticas más del mero ámbito de la física. Esta integración no solo fomenta una comprensión profunda de las leyes de Kepler, sino que también fomenta el desarrollo de competencias analíticas críticas y la capacidad de sintetizar información compleja.

La metodología 4MAT es un marco de instrucción reconocido diseñado para considerar diversos estilos de aprendizaje a través de su modelo estructurado de cuatro fases: experimentar, conceptualizar, aplicar y refinar [10]. Esta progresión metódica garantiza una comprensión integral de la materia al sumergir a los estudiantes en actividades alineadas con sus fortalezas e inclinaciones. El uso del marco 4MAT en la enseñanza de las leyes de Kepler permite a los estudiantes interactuar con estas leyes, imbuyendo directa-

mente una comprensión experiencial. Posteriormente, se embarcan en el proceso de conceptualización, aprovechando ejemplos tangibles para internalizar el significado de las leyes. Esta comprensión luego se traslada al ámbito de la aplicación, donde los estudiantes emplean las leyes de Kepler para descifrar escenarios del mundo real. Por último, su comprensión se eleva a través de la fase de refinamiento, caracterizada por el análisis crítico y la resolución de problemas, que culmina en un dominio multifacético y enriquecido del tema.

Integrar datos auténticos en la secuencia didáctica es fundamental para unir las nociones teóricas abstractas y sus aplicaciones tangibles en el mundo real. Cuando un docente estructura su enfoque de instrucción basándose en el ciclo 4MAT, impulsa a los estudiantes a lo largo de una trayectoria de comprensión. Este avance se alinea con el marco subyacente de las cuatro preguntas centrales resumidas en cada cuadrante del modelo 4MAT: “por qué”, “qué”, “cómo” y “si”. Estas investigaciones secuenciales reflejan la progresión cognitiva inherente al aprendizaje humano en diversos temas [20].

Los conceptos erróneos sobre la mecánica celeste, incluidas las leyes de Kepler, prevalecen entre los estudiantes de secundaria. Clement [21] reveló que los estudiantes con frecuencia poseen nociones preconcebidas y equívocas sobre la correlación entre fuerza y aceleración, lo que potencialmente complica su comprensión de las leyes de Newton y Kepler. Woo *et al.* [22] demostraron además que los conceptos erróneos se extienden al movimiento de cuerpos celestes como la Tierra y la Luna, lo que subraya una deficiencia en la comprensión de la mecánica celeste. Noll [23] enfatizó que la enseñanza de las leyes de Kepler a menudo las presenta como declaraciones empíricas en lugar de deducirlas matemáticamente de la base de las leyes de conservación. El estudio de Winarti *et al.* [24] corroboró estos hallazgos, indicando que un sustancial 30% de los estudiantes de secundaria conservaba ideas erróneas sobre las leyes de Newton sobre el espacio exterior.

Existen varias formas de hacer que las leyes de Kepler sean más accesibles para los estudiantes. Noll [23] sugiere que estas pueden derivarse matemáticamente de las leyes de conservación, utilizando únicamente álgebra y geometría de la escuela secundaria. Gregorcic [7] propone utilizar una pizarra interactiva y un programa de software de espacio aislado basado en física (Algodoos) para involucrar a los estudiantes en investigaciones cola-

borativas y manipular objetos virtuales para investigar las leyes de Kepler. Lyra [25] aboga por un enfoque histórico para la enseñanza de la segunda ley de Kepler, que combine la importancia del cambio de paradigma de la primera ley y la tendencia matemática de la tercera ley. Finalmente, Setyadin [26] identifica dificultades de aprendizaje comunes entre los estudiantes de K-10 cuando aprenden las leyes de Kepler, como comprender el significado físico de la primera ley y realizar operaciones matemáticas para derivar la ecuación de la tercera ley.

Existen varios puntos de vista sobre los enfoques pedagógicos para la enseñanza de las leyes de Kepler en la educación secundaria. Gibbs [27] aboga por emplear la vida y las contribuciones de Kepler como un conducto para impartir los principios científicos de “ideas y evidencia”. Haandel y Heckman [28] profundizan en la derivación matemática de las leyes de Kepler, dilucidando su interconexión con las leyes del movimiento de Newton. Iovane y Benedetto [29], por otro lado, introducen una perspectiva distintiva al proponer un proyecto docente orientado a la investigación. Este proyecto implica la construcción de una composición galileana para replicar el enigmático comportamiento rotacional de las galaxias. Aunque ninguno de estos artículos aborda directamente las estrategias óptimas para enseñar las leyes de Kepler en las escuelas secundarias, proporcionan diversas metodologías que podrían integrarse a la perfección en una estrategia pedagógica holística.

Por otro lado, el enfoque de instrucción 4MAT ha demostrado su destreza para mejorar el desempeño de los estudiantes y rectificar conceptos erróneos dentro del ámbito de la física. Uyangör [30] distinguió la eficacia superior del método 4MAT en comparación con los enfoques convencionales, lo que se manifiesta en un mejor rendimiento en los cursos de matemáticas y una mejor disposición hacia las matemáticas. Al mismo tiempo, el estudio de Ergin y Atasoy [31] reveló que el método 4MAT eclipsó a los métodos tradicionales, particularmente en la mitigación de conceptos erróneos sobre la electricidad entre los estudiantes de noveno grado. Aktaş y Bilgin [32] arrojaron luz sobre la supremacía del método 4MAT para reforzar el rendimiento y la motivación entre los estudiantes de séptimo grado mientras luchaban con las complejidades de la naturaleza particulada de la materia. Los hallazgos culminaron en la investigación de Alanazi [34], que subrayó la capacidad del método 4MAT para refinar notablemente la com-

preensión de las estudiantes de séptimo grado sobre las complejidades de la electricidad dentro del dominio de la física.

Una observación llamativa surge después de un escrutinio exhaustivo de la literatura existente: la metodología 4MAT permanece notoriamente ausente del panorama pedagógico para la enseñanza de las Leyes de Kepler en todos los niveles educativos. Esta comprensión subraya de forma enfática el nicho distintivo que nuestra propuesta de investigación busca ocupar. A medida que se profundiza en el tejido académico, se hace evidente que el trabajo que aquí se reseña no solo representa un esfuerzo pionero, sino también constituye una oportunidad fundamental para cerrar esta brecha. Dada esta clara ausencia y la alineación de nuestra investigación con este vacío, confiamos en que los próximos meses presenten un momento adecuado para embarcarnos en este esfuerzo. La fusión de la metodología 4MAT con las complejidades de las Leyes de Kepler aumenta la pertinencia de nuestra propuesta, haciéndola oportuna e imperativa dentro de la esfera de la física educativa.

Metodología

El entorno elegido para la presente investigación es en la Escuela Secundaria núm. 32, en la que se realizará la aplicación de esta estrategia didáctica con alumnos de diferentes grupos escolares. La secuencia didáctica se aplicará durante un periodo definido, con evaluaciones pre-post para medir la eficacia de la intervención. La evaluación del rendimiento, comprensión y actitudes de los estudiantes en relación con las leyes de Kepler se llevará a cabo de manera precisa y detallada con la aplicación de la metodología 4MAT en el aula de secundaria. Para evaluar el rendimiento, se emplearán pruebas específicas que medirán la capacidad de aplicar las leyes en situaciones prácticas. La comprensión será evaluada a través de actividades que requieran la explicación y aplicación de los conceptos, así como la resolución de problemas relacionados con las leyes astronómicas. Además, se implementarán encuestas y entrevistas para evaluar las actitudes de los estudiantes hacia la ciencia y las leyes estudiadas, proporcionando una evaluación completa y detallada de su desempeño en este importante tema.

El tipo de diseño de la investigación es cuasiexperimental, utilizando medidas pre y post intervención en un entorno de educación secundaria diversificado. Se seleccionará una muestra intencional que represente diversos perfiles y antecedentes de aprendizaje entre los estudiantes de diferentes aulas.

La recopilación de datos se llevará a cabo mediante evaluaciones previas y posteriores a la intervención, evaluando así la efectividad de la secuencia didáctica implementada. El objetivo central de este estudio es enriquecer el panorama educativo al destacar el potencial de la metodología 4MAT para mejorar tanto la comprensión como las actitudes de los estudiantes hacia las leyes de Kepler. Se espera que los resultados proporcionen evidencia empírica que respalde la eficacia de la metodología 4MAT para profundizar la comprensión de conceptos científicos complejos y transformar actitudes hacia la educación física. Al adoptar esta metodología de investigación integral, el estudio aspira a arrojar luz sobre el potencial transformador de la metodología 4MAT para mejorar la comprensión de las leyes de Kepler por parte de los estudiantes, cerrando la brecha entre el conocimiento teórico y la comprensión práctica.

Se presenta la secuencia didáctica en la que está trabajando, compuesta por cuatro fases que facilitan la aplicación del modelo 4MAT en el aula. Estas fases representan una estructura para planificar y presentar la información de manera más efectiva para todos los tipos de estudiantes. El modelo se divide en cuatro fases principales, cada una centrada en un aspecto específico del proceso de aprendizaje. A continuación se ofrece una breve explicación de lo que busca abordar cada fase de la secuencia didáctica aplicada al modelo 4MAT:

- **Fase 1: Despertar el interés y la motivación.** En esta etapa, el objetivo es generar interés y motivación en los estudiantes. Se introduce el contenido respondiendo a la pregunta: “¿Por qué debería aprender esto?”. Se dirige a aquellos estudiantes que prefieren un enfoque emocional, buscando comprender la relevancia y el propósito detrás del contenido.
- **Fase 2: Presentación de conceptos clave.** Durante esta fase, se presentan los conceptos e ideas clave. Responde a la pregunta: “¿Qué es

lo que necesito aprender?”. Está dirigida a estudiantes con un estilo de aprendizaje más analítico que prefieren comprender la lógica y la estructura detrás de la información.

- **Fase 3: Aplicación práctica del conocimiento.** Enfocándose en la aplicación práctica del conocimiento, esta fase responde a la pregunta: “¿Cómo puedo usar esto?”. Está destinada a estudiantes que aprenden mejor a través de la experiencia y la acción, prefiriendo aprender haciendo.
- **Fase 4: Conexión con situaciones del mundo real.** En esta fase, se busca conectar el nuevo conocimiento con situaciones del mundo real, respondiendo a la pregunta: “¿Y si...?”. Dirigida a estudiantes que valoran la aplicación práctica del conocimiento y buscan comprender cómo pueden utilizarlo en diversos contextos.

Secuencia didáctica

Fase 1: Experiencia (duración 45 min)

a) Introducción a las leyes de Kepler (9 min)

- Introducción dinámica: ¿Alguna vez se han preguntado por qué los planetas se mueven alrededor del Sol?
- Breve presentación de Johannes Kepler y su contribución a la astronomía.

b) Desarrollo (21 min)

- Primera ley de Kepler-ley de las Órbitas:
 - Explicación sencilla: los planetas siguen órbitas elípticas con el Sol en uno de los focos.
 - Ejemplo práctico: uso de una cuerda para trazar una órbita elíptica en el suelo.
- Segunda ley de Kepler-ley de las áreas:
 - Descripción de cómo un planeta barre áreas iguales en tiempos iguales.
 - Actividad interactiva: uso de tarjetas con áreas iguales para simular el movimiento planetario.

- Tercera ley de Kepler-ley de los periodos:
 - Explicación de que el cuadrado del periodo orbital de un planeta es proporcional al cubo de la longitud del semieje mayor de su órbita.
 - Representación gráfica: Crea un diagrama que muestre cómo el cuadrado del periodo (en un eje) está relacionado con el cubo del semieje mayor (en otro eje). Se puede usar diferentes colores o líneas para resaltar la relación proporcional.
- c) *Acceso al observatorio virtual (15 min)*: Introducción dinámica: ¿Te has preguntado como conocemos los datos astronómicos? Y ¿para qué sirven?
 - Presentación del observatorio virtual:
 - Explicación de qué es un observatorio virtual y cómo acceder a él.
 - Hacer énfasis en la plataforma online específica que se utilizará.
 - Demostración práctica:
 - En la pizarra o pantalla, guiar a los estudiantes a través de los pasos iniciales para acceder al observatorio virtual.
 - Hacer énfasis en las secciones relevantes para la exploración de datos astronómicos.

Fase 2: Conceptualización (25 min)

- a) *Introducción a los conjuntos de datos (10 min)*:
 - Presentación de conjuntos de datos astronómicos que muestran los patrones orbitales de los planetas.
 - Explicación de las unidades utilizadas y las variables representadas en los datos.
- b) *Actividad guiada (10 min)*:
 - Los estudiantes analizan los datos en grupos pequeños, se proporciona a cada grupo un conjunto de datos específico para explorar y analizar.
 - Preguntas guía: ¿Qué patrones observan? ¿Cómo se relacionan los datos con la órbita de los planetas?
- c) *Debate y síntesis (5 min)*:
 - Discusión en clase para compartir hallazgos y observaciones.

- Resaltar la relación entre los datos astronómicos y las leyes de Kepler.

d) Tarea para el hogar:

- Reflexionar y escribir la respuesta de las siguientes preguntas: ¿Cómo crees que el entorno histórico influyó en las investigaciones de Kepler? ¿Por qué sus leyes eran revolucionarias en su tiempo?

Fase 3: Aplicación (35 min)

a) Actividades prácticas de predicción (15 min):

- Proporcionar datos astronómicos actuales del Observatorio Virtual.
- Los estudiantes deben utilizar estos datos para predecir las posiciones futuras de los planetas en el sistema solar.
- Preguntas guía: ¿Dónde estará Marte en tres meses? ¿Cómo afecta la órbita a estas predicciones?

b) Introducción a la geometría celeste (10 min):

- Breve revisión de conceptos geométricos relevantes para las órbitas planetarias.
- Uso de modelos visuales para explicar la forma de las órbitas elípticas.

c) Ejercicios prácticos (10 min):

- Proporcionar ejercicios que involucren la aplicación de fórmulas geométricas para comprender las características de las órbitas según las leyes de Kepler.
- Ejemplos prácticos: calcular excentricidad.

Fase 4: Refinamiento (30 min)

a) Presentación de hallazgos (15 min):

- Cada grupo comparte sus hallazgos, análisis y predicciones basadas en datos reales del Observatorio Virtual.
- Hacer énfasis en las conexiones con las leyes de Kepler.

b) Discusión grupal (15 min):

- Fomentar discusiones abiertas donde los estudiantes pueden cuestionar, debatir y consolidar su comprensión de las leyes de Kepler.

- Guiar preguntas: ¿Cómo se relacionan los datos con las leyes de Kepler? ¿Hubo patrones inesperados?
- c) *Proyecto final, tarea:*
- Selección de un planeta:
 - Cada estudiante elige un planeta del sistema solar para investigar.
 - Recopilación de datos del Observatorio Virtual:
 - Utilizar el Observatorio Virtual para obtener datos sobre la órbita del planeta seleccionado. Incluir información sobre el semieje mayor, excentricidad y otros detalles relevantes.
 - Aplicación de las Leyes de Kepler:
 - Aplicar las tres leyes de Kepler para explicar la órbita del planeta elegido. Utilizar fórmulas geométricas para calcular características como el periodo orbital.
 - Creación de una presentación o informe:
 - Comparar las características de la órbita del planeta seleccionado con las de otros planetas del sistema solar. Resaltar similitudes y diferencias, y explicar cómo estas comparaciones respaldan las leyes de Kepler. Preparar una presentación visual o un informe escrito que destaque los hallazgos y análisis.

Mediante la adopción de una secuencia didáctica basada en 4MAT que emplea datos reales, esta investigación contribuye a reducir la brecha entre los conceptos abstractos y las aplicaciones prácticas de las leyes de Kepler en los estudiantes de educación secundaria al proporcionar a los estudiantes experiencias de aprendizaje interactivas y a la vez, promueve las habilidades del pensamiento crítico y fomenta una actitud positiva hacia la ciencia.

Los estudiantes tendrán la oportunidad de explorar las leyes de Kepler mediante actividades experienciales, que incluyen simulaciones, experimentos prácticos y observaciones. Este enfoque de aprendizaje experimental les permite involucrarse directamente con las leyes, facilitando una comprensión más profunda de los conceptos subyacentes. Al ofrecer experiencias concretas, los alumnos pueden construir una base sólida de conocimientos y establecer conexiones entre ideas abstractas y fenómenos del mundo real. La fase de conceptualización de la metodología 4MAT fortalecerá la com-

preensión del tema entre los alumnos al proporcionar oportunidades para la reflexión, el debate y la elaboración de mapas conceptuales. Esta fase anima a los alumnos a analizar y sintetizar la información que han experimentado, facilitando la construcción de modelos mentales que se ajusten a las leyes de Kepler. Al relacionar las leyes con ejemplos familiares, los alumnos pueden comprender mejor los principios subyacentes.

La fase de aplicación de la secuencia didáctica permite a los alumnos aplicar las leyes de Kepler a escenarios del mundo real y a tareas de resolución de problemas. Utilizando datos reales, como observaciones astronómicas o trayectorias de satélites, los alumnos tendrán la oportunidad de analizar e interpretar la información, probar hipótesis y hacer predicciones basadas en los principios de las leyes de Kepler. Esta aplicación de los conocimientos en contextos prácticos favorece la transferencia del aprendizaje y ayuda a los alumnos a reconocer la relevancia y utilidad de los conceptos científicos.

La fase final de la metodología 4MAT, el perfeccionamiento, anima a los estudiantes a analizar críticamente su comprensión, identificar áreas de confusión o conceptos erróneos y buscar aclaraciones a través de investigaciones adicionales o debates colaborativos. Esta fase fomenta la metacognición y el aprendizaje autorregulado, permitiendo a los estudiantes refinar su comprensión de las leyes de Kepler y consolidar sus conocimientos.

La integración de datos reales en la secuencia didáctica proporciona un contexto auténtico para que los estudiantes se comprometan con los fenómenos científicos. Al analizar conjuntos de datos del mundo real, los estudiantes desarrollan habilidades de alfabetización de datos, aprenden a interpretar representaciones gráficas y sacan conclusiones basadas en pruebas. Este enfoque no solo refuerza los principios de las leyes de Kepler, sino que también cultiva las habilidades de investigación científica y anima a los estudiantes a pensar como científicos.

Conclusiones

En conclusión, la implementación de una secuencia didáctica basada en el modelo 4MAT, enriquecida con datos reales, presenta un enfoque promete-

dor para mejorar la enseñanza y el aprendizaje de las leyes de Kepler en la educación secundaria. Esta investigación está centrada en proporcionar a los estudiantes experiencias de aprendizaje interactivas y prácticas que les permitan comprender y aplicar los conceptos astronómicos de manera efectiva. Al incorporar diversos estilos de aprendizaje, actividades experienciales y aplicaciones del mundo real, se busca profundizar en la comprensión de los estudiantes, mejorar sus habilidades de resolución de problemas, aumentar su interés y motivación, y fomentar actitudes positivas hacia la ciencia. El objetivo es capacitar a los estudiantes para explorar, conceptualizar, aplicar y refinar su comprensión de las leyes de Kepler, proporcionándoles los conocimientos y las habilidades necesarios para comprometerse con conceptos científicos complejos y desarrollar una apreciación permanente de las maravillas del universo. Este trabajo representa un esfuerzo continuo en el ámbito de la educación científica, que se encuentra en proceso de implementación en un entorno educativo específico. La integración de la metodología 4MAT y datos reales en la secuencia didáctica ofrece una oportunidad única para cerrar la brecha entre los conceptos abstractos y las aplicaciones prácticas de las leyes de Kepler, proporcionando a los estudiantes una experiencia de aprendizaje enriquecedora y significativa.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado parcialmente por el proyecto Fordecyt-Pronaces-Conacyt CF-MG-2558591. FG-E, agradece el apoyo proporcionado por el Conahcyt a través de la beca para estudios de posgrado. RG-s reconoce el apoyo que brindan los proyectos SIP20230505-IPN, SIP20240638 y las becas COFAA-IPN y EDI-IPN. Finalmente, SM agradece al proyecto SIP20232030.

Referencias

- [1] Llewellyn, D. (2005). *Teaching High School Science through Inquiry: A Case Study Approach*. Thousand Oaks.

- [2] Dutta, K. (2022). How Elliptical Orbits of Planets Clinch Newton's Laws of Motion and Gravitation. *Physics Education* (p. 58).
- [3] Matos, A. (2023). Studying Kepler's Laws Using GeoGebra Simulations. *Physics Education*.
- [4] Mosser, B. (2001). Kepler's Laws. *Encyclopedia of Astronomy & Astrophysics* (pp. 1-7).
- [5] Chapman, S. (1969). Kepler's Laws: Demonstration and Derivation without Calculus. *American Journal of Physics*, 1134-1144.
- [6] Provost, J., y Bracco, C. (2009). A Simple Derivation of Kepler's Laws without Solving Differential Equations. *European Journal of Physics*, 581.
- [7] Gregorcic, B. (2015). Exploring Kepler's Laws using an Interactive Whiteboard and Algodoo. *Physics Education*, 50(5), 511-515. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/50/5/511>.
- [8] Secretaría de Educación Pública (SEP) (2014). Secundaria: Programas de estudio. SEP. <https://www.gob.mx/sep/acciones-y-programas/secundaria-programas-de-estudio>.
- [9] Merrill, M. (2002). First Principles of Instruction. *Educational Technology Research and Development*, 43-59.
- [10] Gray, D., y Palmer, J. (2000). *Aplicación de principios de instrucción al aprendizaje basado en la web: La metodología 4mat*. Asociación para el Avance de la Computación en la Educación.
- [11] McCarthy, B. (1997). A Tale of Four Learners: 4mat's Learning Styles. *Educational Leadership*, 54(6).
- [12] White, J., y James, C. (2001). *The Virtual Observatory and Education: A View from the Classroom*.
- [13] Felemban, S., Gardner, M., y Callaghan, V. (2016). *Virtual Observation Lenses for Assessing Online Collaborative Learning Environment*.
- [14] Kelley, L. (1990). Using 4mat to Improve Staff Development, Curriculum Assessment, and Planning. *Educational Leadership*, 38-39.
- [15] Weber, P., y Weber, F. (1990). Using 4mat to Improve Student Presentations. *Educational Leadership*, 41-46.
- [16] Giordano, E. (2021). Una progresión de aprendizaje sobre ideas básicas entre física y astronomía. *Góndola*, 16(2). <https://doi.org/10.14483/23464712.17107>.
- [17] Solbes, J., y Palomar, R. (2013). Dificultades en el aprendizaje de la astronomía en secundaria. *Revista Brasileira de Ensino de Física*.
- [18] Yair, Y., Schur, Y., y Mintz, R. (2003). A "Thinking Journey" to the Planets Using Scientific Visualization Technologies: Implications to Astronomy Education. *Journal of Science Education and Technology*, 12, 43-49. <https://doi.org/10.1023/A:1022107627775>.
- [19] Lu, M., Su, J., Wang, W., y Lu, J. (2017). Visualization of Kepler's Laws of Planetary Motion. *Physics Education*, 52(2), 025006. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aa539e>.
- [20] Shaughnessy, M. (2013). An Interview with Bernice McCarthy: Creator of the 4matR System. *Journal of Social Sciences*, 196-198.

- [21] Clement, J. (1982). Students' Preconceptions in Introductory Mechanics. *American Journal of Physics*, 66-71.
- [22] Woo, J., Lee, H., y Min, J. (1995). The Types of Secondary School Students' Preconceptions on the Motion of the Earth and the Moon. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 15(4), 379-393.
- [23] Noll, E. (2002). Teaching Kepler's Laws as More than Empirical Statements. *Physics Education*, 245.
- [24] Winarti, W., Pardiyanto, E., y Kurnianto, F. (2021). Senior High School Students' Understanding of Newton's Laws in Outer Space: Identification of Misconceptions. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 10(2). <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v10i2.8997>.
- [25] Lyra, W. (2020). *A Historical Method Approach to Teaching Kepler's 2nd Law*.
- [26] Setyadin, A., Suryana, T., Utari, S., Efendi, R., Liliawati, W., y Utama, J. (2020). Identifying K-10 Students' Learning Difficulties on Learning Kepler's Law Using Worksheet: Is it Worth? *Journal of Physics: Conference Series*, 1467, 12051. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1467/1/012051>.
- [27] Gibbs, M. (2005). Using the Life and Work of Kepler in Secondary Physics Teaching. *School Science Review*, 63-68.
- [28] Haandel, M., y Heckman, G. (2007). *Teaching the Kepler Laws for Freshmen*.
- [29] Iovane, G., y Benedetto, E. (2019). Keplerian Motion on a Carousel: A Research Teaching Project. *Afrika Matematika*, 30, 973-978. <https://doi.org/10.1007/s13370-019-00695-y>.
- [30] Uyangor, S. (2012). The Effectiveness of the 4mat Teaching Model upon Student Achievement and Attitude Levels. *International Journal of Research Studies in Education*, 1(2), 43-53. <https://doi.org/10.5861/ijrse.2012.v1i2.63>.
- [31] Ergin, S., y Atasoy, Ş. (2013). Comparative Analysis of the Effectiveness of 4Mat Teaching Method in Removing Pupils' Physics Misconceptions of Electricity. *Journal of Baltic Science Education*, 12(6), 730-746. <https://doi.org/10.33225/jbse/13.12.730>.
- [32] Aktas, I., y Bilgin, İ. (2015). The Effect of the 4mat Learning Model on the Achievement and Motivation of 7th Grade Students on the Subject of Particulate Nature of Matter and an Examination of Student Opinions on the Model. *Research in Science & Technological Education*, 33(1), 1-21. <https://doi.org/10.1080/02635143.2014.968536>.
- [33] Arteaga, E., Armada, L., y Del Sol, J. (2016). La enseñanza de las ciencias en el nuevo milenio: Retos y sugerencias. *Universidad y Sociedad*, 8(1), 169-176.
- [34] Alanazi, F. (2020). The Effectiveness of the 4mat Teaching Approach in Enhancing Conceptions of Electricity in Physics for Female Students in the Kingdom of Saudi Arabia. *Journal of Turkish Science Education*, 17(2), 271-288. <https://doi.org/10.36681/tused.2020.26>.
- [35] Reddy, M., y Panacharoensawad, B. (2017). Students Problem-Solving Difficulties and Implications in Physics: An Empirical Study on Influencing Factors. *Journal of Education and Practice*, 8(14), 59-62.