

6. Integración de la programación en Python para el desarrollo del pensamiento físico matemático en la enseñanza de la caída de los cuerpos *The Integration of Python Programming in the Development of Physics-Mathematical Thinking for Teaching Falling Bodies*



DAVID STEVEN MALDONADO APONTE*

OLGA LUCÍA CASTIBLANCO ABRIL**

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.399.06>

Resumen

La enseñanza de la física en la educación secundaria enfrenta dificultades persistentes debido al predominio de metodologías que consideran que la física es matemáticas, y que desarrollan procesos rígidos. Usualmente se desconectan los conceptos científicos de la realidad cotidiana de los estudiantes, generando desmotivación y bajo rendimiento. Esta es la realidad con la que se encuentra el docente-coinvestigador de este trabajo en su ámbito laboral, por lo cual enfrenta la necesidad de explorar estrategias innovadoras que propicien la comprensión de fenómenos naturales, como el de la caída de los cuerpos, por ser este el tema que le correspondía enseñar según el currículo establecido. El presente estudio se llevó a cabo con 25 estudiantes de grado undécimo del colegio Queen College, en Bogotá, durante un semestre académico. Se diseñó, ejecutó y evaluó una secuencia de tres talleres, desde la perspectiva de la investigación acción, con el fin de contribuir al desarrollo

* Licenciado en Física. Grupo de Investigación en Enseñanza y Aprendizaje de la Física-GEAF. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5065-9119>

** Doctora en Educación para la Ciencia. Docente asociada de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. olcastiblancoa@udistrital.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8069-0704>

del pensamiento físico matemático a través de la integración progresiva del abordaje fenomenológico, la observabilidad de los sistemas y la modelación en la cual se integra el uso de Python. Se combinaron métodos cualitativos y cuantitativos para analizar el impacto de la intervención, propiciando ambientes para transitar desde el reconocimiento del fenómeno a partir de las sensaciones y reflexiones hasta la construcción de modelos explicativos basados en el debate y la construcción de líneas argumentativas. Para la recolección de datos se emplearon bitácoras y un cuestionario final con preguntas abiertas. Los resultados evidencian un tránsito significativo desde explicaciones iniciales centradas en el peso, como factor determinante del tiempo de caída, hacia interpretaciones más estructuradas que incorporan la forma, la resistencia del aire y la aceleración constante. La modelación computacional facilitó la visualización y la verificación de relaciones matemáticas entre altura, tiempo y velocidad, consolidando la comprensión del fenómeno y promoviendo el desarrollo de habilidades de observación, análisis y argumentación en física. Se concluye que la integración de Python en un proceso estructurado de matematización de la física, precedida por fases de exploración fenomenológica y observación sistemática, constituye una alternativa eficaz para transformar la enseñanza de la física

Palabras clave: *matematización, enseñanza de la física, modelación computacional, caída de los cuerpos, aceleración de la gravedad.*

Abstract

Physics teaching at the secondary level continues to face persistent challenges, largely due to traditional teaching methods that treat physics as a branch of mathematics, emphasizing rigid problem-solving over conceptual understanding. When scientific concepts are disconnected from students' everyday experiences, motivation declines, and academic performance is affected. This is the reality the teacher-researcher encountered in their professional context, prompting the exploration of innovative strategies to improve students' grasp of natural phenomena, specifically, the physics of falling bodies, as mandated by the curriculum. This study was conducted over one academic semester

with 25 eleventh-grade students at Queen College in Bogotá. Using an action research framework, a series of three workshops were designed, implemented, and evaluated to foster physics mathematical thinking. The approach combined phenomenological exploration, systematic observation, and computational modeling with Python as a key tool. Qualitative and quantitative methods were employed to assess the intervention's impact, guiding students from initial sensory engagement with the phenomenon to the construction of explanatory models through debate and structured argumentation. Data was collected via student diaries and a final open-ended questionnaire. The results revealed a notable shift in student understanding: early explanations focused solely on weight as the determinant of fall time, but later interpretations incorporated factors like object shape, air resistance, and constant acceleration. Computational modeling with Python helped students visualize and test mathematical relationships among height, time, and velocity, deepening their conceptual understanding while honing their observational, analytical, and argumentation skills. The study concludes that integrating Python into a structured physics curriculum, beginning with phenomenological exploration and progressing toward mathematical formalization, offers a promising pathway to transform physics education.

Keywords: *mathematization, physics teaching, computational modeling, free fall, gravity acceleration.*

1. Introducción

La enseñanza de la física en la educación secundaria enfrenta desafíos estructurales que se manifiestan en la desconexión entre los contenidos escolares y la experiencia cotidiana de los estudiantes. Esta situación, documentada por autores como Hake (1998) y McDermott (1997), ha generado una percepción de la física como una disciplina abstracta, difícil y poco relevante, lo que repercute en la motivación y el rendimiento académico. En particular, la comprensión del fenómeno de la caída de los cuerpos suele limitarse a la aplicación mecánica de fórmulas y a la memorización de procedimientos, sin que los estudiantes logren construir

explicaciones ni establecer conexiones significativas entre los modelos matemáticos y la realidad observable, más aún, sin encontrar algún sentido para estudiar este fenómeno. Esta problemática se agrava en contextos escolares donde la alta rotación docente, la falta de formación específica y la ausencia de recursos experimentales dificultan la implementación de metodologías alternativas y contextualizadas, cuyo caso es el del colegio Queen College de Bogotá, donde se desarrolló la presente investigación y donde el docente co-investigador encontró una oportunidad de mejora para la enseñanza de la física.

2. Caracterización del problema y pregunta

Investigadores del campo de la formación de profesores han mostrado cómo, a pesar de los muchos resultados de investigación en el área, aún es muy incipiente el impacto en las prácticas educativas cotidianas. Por un lado, porque se requieren transformaciones curriculares y, por otro, porque se necesitan nuevos conocimientos que permitan transformar el discurso del docente, según explica Castiblanco (2023). Parece que existe una dicotomía entre ser docente con impacto en el desarrollo integral de los estudiantes y enseñar la física rigurosamente, como si uno excluyera a lo otro. En el contexto específico de la enseñanza de la mecánica, particularmente del fenómeno de la caída de los cuerpos, esta suele limitarse al uso de las ecuaciones del movimiento, pasando por alto el análisis sobre hechos como que la caída libre es en línea recta vertical, con una aceleración constante producida por la fuerza de atracción de la gravedad, y en donde la fuerza de atracción de la gravedad depende de la masa, pero la aceleración que se produce no depende de ella. Estos aspectos, que suelen tomarse como obvios, al no ser estudiados constituyen un obstáculo para la comprensión del fenómeno.

Así, se formula la siguiente pregunta: *¿cómo desarrollar el pensamiento físico matemático para lograr la comprensión del fenómeno de la caída de los cuerpos en el contexto de la educación secundaria?*

3. Marco de referencia

En respuesta a los retos planteados anteriormente, la literatura reciente en didáctica de la física ha destacado la necesidad de transformar la formación docente para que adquiera un nuevo discurso que le permita desarrollar prácticas de enseñanza mediante el desarrollo de procesos en el aula que promuevan el abordaje fenomenológico, la observabilidad de los sistemas físicos y la construcción de modelos explicativos.

3.1 La didáctica de la física

Castiblanco, (2013), Castiblanco y Nardi (2018), Castiblanco y Nardi (2023) proponen una perspectiva dimensional de la didáctica de la física que articula la dimensión disciplinar, enfocada en el desarrollo de la metacognición sobre el contenido de la física, la dimensión sociocultural, enfocada en el desarrollo de habilidades para la contextualización de la enseñanza desde una perspectiva crítico-reflexiva, y la dimensión interaccional, enfocada en la transformación de los roles que juegan docentes y estudiantes en torno a una nueva comprensión de la relación entre la física y las matemáticas, así como su evaluación. En esta última dimensión se desarrolla conocimiento específico en torno a las tipologías de experimentación, de tecnologías de la información y de la literatura puestas al servicio de objetivos educativos, y no introducidos estos recursos como el todo de la didáctica.

La literatura reciente sobre la didáctica de la física advierte sobre la necesidad de transformar las prácticas de enseñanza, proponiendo la integración de estrategias que favorezcan el abordaje fenomenológico, la observación sistemática de los sistemas previamente configurados y la construcción de modelos explicativos, como lo desarrollan Castiblanco y Vizcaíno (2024 a, b). En esta última fase de modelación, hay una tendencia en el área a integrar la programación como estrategias, según Bernal y Peña (2023), quienes trabajan específicamente con el lenguaje de Python. Sin embargo, la incorporación de tecnologías como Python en el aula, aunque prometedora, no garantiza por sí sola la comprensión conceptual, ya que requiere estar articulada con fases previas de indagación y análisis que permitan a

los estudiantes identificar variables, formular hipótesis y construir modelos explicativos fundamentados para luego desarrollar la modelación.

3.2 El pensamiento físico matemático

En contraposición a la idea de que la física es matemáticas, o que las matemáticas son el lenguaje de la física, se adopta un referencial que defiende que el desarrollo del pensamiento físico matemático es fundamental para el aprendizaje de la física, según Castiblanco y Vizcaíno (2024 a, b), Parameiro (2023), Vizcaíno y Terrazzan (2020). Se parte de resaltar que, más que aprender a usar ecuaciones, lo que se requiere es orientar un proceso que inicia con la toma de conciencia de que el fenómeno natural existe, más allá de la mera ilustración. Luego se pasa a un reconocimiento de lo que significa observar sistemáticamente el sistema físico, lo que implica identificar variables, parámetros y constantes para construir observables, y finalmente, construir un modelo explicativo que cobre sentido para el estudiante, en el sentido que indica Laird (2010), impactando las representaciones mentales, de modo que se ajuste a las trayectorias cognitivas naturales de los estudiantes. Este proceso debe ser enriquecido con la integración de experimentación, tecnologías, literatura y diversos recursos.

Los estudiantes necesitan poder responder preguntas como: ¿cuál es la razón de la constancia de la aceleración? ¿por qué es la misma para todos los cuerpos?, ¿por qué su valor tiene solo un pequeño rango de variación para el caso de la Tierra?, entre muchos otros interrogantes que están implícitos en el modelo, pero que los estudiantes no comprenden. Esto se debe principalmente a que los profesores no los hacen explícitos, bien sea porque lo consideran obvio o, incluso, porque tampoco los entienden (Maldonado, 2025). Esta problemática se ve agravada por factores estructurales como la alta rotación de docentes, la falta de formación específica en física y la carencia de espacios adecuados para la experimentación, lo que dificulta la implementación de metodologías activas y contextualizadas.

4. Metodología de la investigación

Se desarrolló una investigación-acción, combinando estrategias cualitativas y cuantitativas para analizar el impacto de la integración de la modelación computacional en el desarrollo del pensamiento físico matemático de estudiantes de secundaria. El objetivo central fue intervenir directamente en el proceso educativo mediante la implementación de una secuencia de talleres progresivos. Esta modalidad permitió que el docente investigador desempeñara un papel de liderazgo en el diseño, la ejecución y el ajuste de las estrategias de enseñanza, evaluando en tiempo real los resultados y las necesidades emergentes del grupo. El estudio se realizó con una población de 25 estudiantes de grado undécimo del colegio Queen College de Bogotá durante un semestre académico, en el contexto de la asignatura de física.

Para la recolección de datos, se diseñó una bitácora que los estudiantes debían completar durante cada taller, registrando observaciones, hipótesis, análisis y reflexiones personales. Además, se aplicó un cuestionario final con preguntas abiertas, orientado a captar la percepción de los estudiantes sobre el fenómeno de la caída de los cuerpos y la utilidad de Python como herramienta de modelación. Complementariamente, se analizaron los códigos y las gráficas generadas por los estudiantes en las simulaciones computacionales, lo que permitió obtener evidencia directa de la apropiación de conceptos y el desarrollo de habilidades de pensamiento.

Para el análisis de datos, se identificaron patrones en las explicaciones, percepciones y argumentaciones de los estudiantes, tanto en las bitácoras como en las respuestas al cuestionario. Por otro lado, se aplicó un análisis descriptivo de los datos cuantitativos obtenidos de las simulaciones y ejercicios en Python, evaluando la frecuencia y la precisión con que los estudiantes identificaban variables, establecían relaciones matemáticas y representaban gráficamente el fenómeno estudiado. Esta triangulación metodológica permitió comprender de manera más profunda el proceso de evolución conceptual y las dificultades encontradas en la integración de herramientas computacionales en la enseñanza de la física.

4.1 Proceso de intervención en el aula para el desarrollo del pensamiento físico matemático

A continuación, se presenta una síntesis del contenido y la metodología de los tres talleres realizados, uno por cada fase del proceso, de acuerdo con el referencial adoptado.

4.1.1 Abordaje fenomenológico

Se experimentó con la caída de objetos bajo diferentes condiciones y en diferentes configuraciones: 1) objetos iguales que caen libremente desde la misma altura, 2) con igual masa y diferente volumen, 3) con igual volumen y diferente masa, 4) con igual forma y diferentes densidades. Para ello, se crearon varias estaciones, cada una con una configuración diferente de objetos. Los grupos rotaron entre ellas para realizar las observaciones y grabaciones en video de cámara lenta de cada una de las caídas. En cada estación, los grupos registraron en su bitácora las observaciones sobre el movimiento respondiendo las pregunta: ¿qué observaron? Al final se dio una discusión grupal para comparar los datos y reflexionar sobre lo observado.

Figura 6.1. Configuraciones de objetos que se dejan caer libremente



Fuente: elaboración propia.

4.2 Observabilidad del sistema

Se inicia organizando un sistema de objetos con masa m , $2m$ y $3m$. También se llevaron a cabo varias pruebas utilizando globos, que fueron llenados de

la siguiente forma: el globo con masa (m) se llenó con 500 ml, el globo con masa ($2m$) con 1000 ml, y el globo con masa ($3m$) con 1500 ml, dejándolos caer desde diferentes alturas para resolver las dudas y debates que quedaron planteados en el primer taller. Esto llevó a concluir que era necesario idealizar el comportamiento y que se requería ver con mayor detalle cuánta distancia recorrían por unidad de tiempo.

Figura 6.2. *Estudiantes dejando caer globos con aire y agua desde diferentes alturas.*



Fuente: elaboración propia.

La discusión sobre estos resultados llevó a la necesidad de implementar la fotografía estroboscópica. Esto se hizo manualmente para tener un mayor impacto en las construcciones conceptuales de los estudiantes. Esto implicó, primero, un estudio sobre cómo funciona la cámara fotográfica y luego la organización del set utilizando la luz de destellos. Así, se empleó una luz de destellos de 25 Hz en dos configuraciones. En la primera, se utilizó un teléfono móvil, cuya luz de destellos provenía del flash a 25 Hz (ver figura 6.3). En la segunda configuración, un objeto fue lanzado y se iluminó con una luz estroboscópica externa (*strober*), mientras se colocaba una regla métrica de 1.75 m de altura con marcadores cada 5 cm. A continuación, se muestra la ejemplificación de ambas configuraciones.

Con las imágenes tomadas, los estudiantes usaron un software llamado “ImageMeter”¹ que permite escalar el tamaño real de la práctica con el de la fotografía para medir la distancia recorrida por el objeto entre destello y destello, sabiendo que cada destello deja una imagen en la fotografía. El tiempo de caída fue calculado usando el valor de frecuencia de destello de la luz como el tiempo de duración entre cada imagen. Luego se graficaron los resultados de la variación de la distancia recorrida, la velocidad y, a partir de allí, se calculó la aceleración para cada segmento en la caída.

Figura 6.3. (a) objeto cayendo iluminado con luz de destellos. (b) celular cayendo con la luz de destellos encendida.



Fuente: elaboración propia.

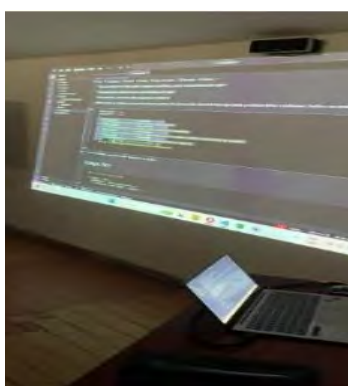
4.3 Modelación con apoyo de Python

Aunque los estudiantes tenían algunas nociones sobre programación y algoritmos en Python, se decidió hacer una introducción sobre su uso en el modelado en física. Para ello, se comenzó presentando el concepto de algoritmo, describiéndolo como una secuencia ordenada de pasos específicos que permiten resolver un problema. Posteriormente, se introdujeron los fundamentos necesarios para el modelado de la caída libre, abarcando conceptos básicos como tipos y asignación de variables, con el fin

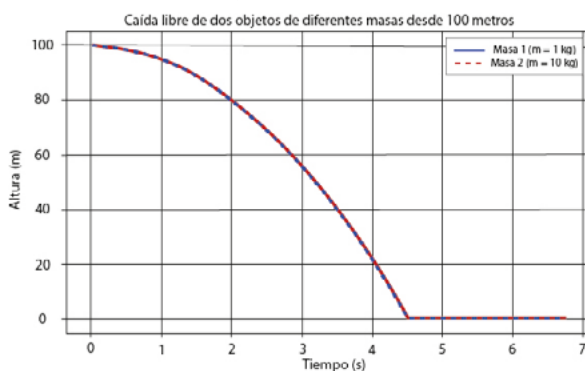
¹ https://play.google.com/store/apps/details?id=de.dirkfarin.imagemeter&hl=es_CO&pli=1

de representar valores como posición y tiempo, la impresión de resultados para verificar cálculos, y el uso de bibliotecas clave como Matplotlib y Numpy, empleadas para graficar trayectorias y realizar cálculos numéricos. Es de aclarar que los bucles y los condicionales se exploraron a partir de un enfoque sobre su aplicación directa a la ecuación del movimiento de la caída libre.

Figura 6.4. (a) Entorno de programación que usaron los estudiantes (Google Colab). Figura 4(b). Gráfica de altura respecto al tiempo de dos objetos con igual masa.



a)



b)

Fuente: elaboración propia.

En la tercera parte se estructuraron una serie de desafíos en los cuales los estudiantes debían hacer uso de todo lo aprendido para la modelación del fenómeno en casos específicos, tales como: 1. calcular y graficar la velocidad del objeto en función del tiempo, 2. calcular el tiempo que tarda un objeto en llegar al suelo desde diferentes alturas iniciales, 3. escribir un código que simule la caída de un objeto en diferentes planetas y, 4. simular la caída de dos objetos de masas diferentes.

Como parte de la fase final de la intervención, se diseñó un cuestionario abierto con el objetivo de recopilar las opiniones y percepciones de los estudiantes sobre el fenómeno trabajado y la ejecución del taller a partir de las siguientes preguntas: 1) ¿cómo describirías la evolución de tu comprensión sobre el fenómeno de la caída de los cuerpos a lo largo de los tres talleres?, 2)

¿de qué manera te ayudó la observación del fenómeno de la caída libre para formar tus ideas iniciales sobre la caída de los objetos?, 3) ¿cómo influyó la fotografía estroboscópica en tu forma de analizar el movimiento de los objetos en caída libre?, 4) ¿qué te pareció el proceso de modelar el fenómeno usando Python en el último taller?

5. Resultados y análisis de resultados

La consolidación de evidencias y el análisis de resultados se organizaron en torno a seis tendencias explicativas principales que reflejan la evolución conceptual de los estudiantes a lo largo de la intervención. A continuación, se presentan la síntesis en la tabla 6.1, las cuales se desarrollan enseguida. Para la presentación de los resultados se traen algunos ejemplos de evidencias basadas en las expresiones de los participantes, comparando la fase inicial con la fase final del proceso, esto acompañado de algunas imágenes que permiten interpretar el ambiente de la clase.

Tabla 6.1. Categorías de análisis

Categoría central	Descripción breve
Identificación de variables relevantes	Reconocimiento progresivo de factores como peso, forma, resistencia del aire, velocidad y aceleración.
Observación del movimiento y trayectorias	Evolución desde descripciones cualitativas intuitivas a interpretaciones basadas en evidencia visual comparativa.
Relación entre velocidad, aceleración y tiempo	Progresiva incorporación del concepto de aceleración y su influencia en el tiempo de caída hasta la toma de conciencia de la constancia de la aceleración.
Factores adicionales	Inclusión de elementos como rebote, material y resistencia del aire en las explicaciones.
Modelación computacional	Uso de Python para simular y analizar cuantitativamente el fenómeno, validando hipótesis y relaciones.
Transformación conceptual a partir de la modelación	Paso de explicaciones intuitivas a representaciones estructuradas con gráficos y ecuaciones.

Fuente: elaboración propia.

En síntesis, los resultados se ilustran en la tabla 2, en donde se ve el porcentaje de estudiantes que asumían cada uno de los indicadores de comprensión al comienzo y al final del proceso.

Tabla 6.2. *Porcentaje de estudiantes que denota la evolución de las tendencias explicativas a lo largo de la intervención.*

<i>Tendencia explicativa</i>	<i>Inicio de la intervención (%)</i>	<i>Final de la intervención (%)</i>
Peso como variable principal	60	15
Forma y resistencia del aire	40	85
Relación velocidad-aceleración-tiempo	10	80
Factores adicionales (aire, rebote, material)	20	70
Utilidad de la modelación computacional	15	85

Fuente: elaboración propia.

En general, luego de los debates finales con el grupo, se llegó a cuatro conclusiones que los estudiantes consideraron como lo más importante del fenómeno de la caída de los cuerpos: En general, luego de los debates finales con el grupo, se llegó a cuatro conclusiones que los estudiantes consideraron como lo más importante del fenómeno de la caída de los cuerpos:

- Los objetos en caída describen una trayectoria en línea recta, siempre y cuando la resistencia del aire o del medio no sea lo suficientemente fuerte como para alterar su trayectoria.
- La velocidad de los cuerpos en caída aumenta a medida que pasa el tiempo, es decir, el objeto se mueve más rápido conforme avanza la caída.
- La aceleración durante la caída de los cuerpos se mantiene constante, lo que significa que la velocidad del objeto aumenta de forma uniforme con el tiempo.
- En la mayoría de los casos, la aceleración es constante e independiente de la masa del objeto, pero factores como la forma del objeto y la resistencia del medio pueden influir en su movimiento.

5.1 Identificación de variables relevantes

Al inicio, la mayoría de los estudiantes atribuía el tiempo de caída al peso del objeto (60 %). Tras las fases de observación sistemática y modelación, aumentó el reconocimiento de la forma y la resistencia del aire como varia-

bles (85 %), evidenciando una transición de explicaciones intuitivas hacia interpretaciones más ajustadas a lo que observaron y analizaron.

Ejemplo de evolución conceptual:

Inicial: *"El balón cayó más rápido por ser más pesado."*

Final: *"La forma y superficie del objeto determinan la fricción con el aire, lo que influye en la caída."*

La modelación computacional permitió validar que, en ausencia de resistencia del aire, la masa no afecta el tiempo de caída, reforzando la comprensión de la aceleración gravitacional constante.

5.2 Observación del movimiento y las trayectorias

La observación directa y el uso de fotografía estroboscópica facilitaron el tránsito de descripciones generales a interpretaciones basadas en evidencia visual. El análisis colectivo y la construcción de gráficos con Python consolidaron la comprensión de la relación entre posición, tiempo y velocidad.

Inicial: *"Caen en línea recta."*

Final: *"La separación entre los puntos aumenta, lo que muestra aceleración."*

La modelación computacional permitió validar que, en ausencia de resistencia del aire, la masa no afecta el tiempo de caída, reforzando la comprensión de la aceleración gravitacional constante.

5.3 Relación entre velocidad, aceleración y tiempo

La comprensión de la relación entre estas variables evolucionó significativamente: sólo el 10 % de los estudiantes mencionaba la aceleración constante al inicio, mientras que, al final de la intervención, el 80 % lo hacía. Las simulaciones en Python y la comparación entre diferentes escenarios (por ejemplo, la caída en distintos planetas) permitieron visualizar cómo la

aceleración afecta la velocidad y el tiempo de caída, fortaleciendo la apropiación del concepto.

Inicial: *"La caída del borrador fue más rápida porque es más pequeño y pesado."*

Final: *"La secuencia en la fotografía estroboscópica muestra que el objeto recorre distancias más grandes cada vez, lo que significa que va más rápido."*

Final: *"Nunca había pensado que la aceleración cambiara dependiendo del planeta, pero ahora entiendo cómo la gravedad afecta todo el movimiento."*

5.4 Factores adicionales

A lo largo de los talleres, los estudiantes integraron factores como el rebote, la resistencia del aire y las características del objeto en sus explicaciones. El porcentaje de menciones a estos factores pasó del 20 % al 70 %, mostrando una mayor complejidad en la interpretación del fenómeno. Las discusiones grupales y la reflexión sobre las diferencias entre el modelo ideal y la experiencia real enriquecieron el análisis.

Inicial: *"Los objetos grandes caen más lento porque el aire los detiene más."*

Final: *"El aire cambia todo porque, si no estuviera, todos los objetos caerían igual, sin importar su forma."*

5.5. Modelación computacional

La introducción de Python como herramienta de modelación permitió a los estudiantes representar y analizar cuantitativamente la caída de los cuerpos. El uso de gráficos y simulaciones facilitó la comprensión de relaciones matemáticas entre altura, tiempo y velocidad. La mención de la utilidad de la modelación para verificar conceptos pasó del 10 % al 85 % en el cuestionario final. Sin embargo, se identificaron dificultades técnicas, lo que resalta la necesidad de una introducción progresiva a estos recursos.

Inicial: *No conocían este recurso.*

Final: *"Usar Python para graficar nos ayudó a ver el tiempo real de caída en distintas alturas sin hacer todas las cuentas a mano."*

Final: *"Antes no entendía bien cómo cambia el tiempo con la altura, pero las gráficas me ayudaron a verlo claro."*

5.6. Transformación conceptual a partir de la modelación

El proceso de intervención evidenció una transición de explicaciones fragmentadas a interpretaciones integradas y fundamentadas. El reconocimiento de la aceleración constante y la resistencia del aire aumentó del 5 % al 75 %. Además, la percepción de la modelación computacional como herramienta de aprendizaje se incrementó del 15 % al 85 %. La mayoría de los estudiantes reconocieron el potencial de comprender la programación del fenómeno en Python para clarificar conceptos complejos y validar hipótesis experimentales.

6. Conclusiones

Frente a la pregunta de investigación: ¿cómo desarrollar el pensamiento físico matemático para lograr la comprensión del fenómeno de la caída de los cuerpos en el contexto de la educación secundaria? Se puede afirmar que el proceso de desarrollo del pensamiento físico matemático se estructura en tres fases: 1. abordaje fenomenológico (grabación y análisis de videos de caídas libres en diferentes configuraciones), 2. observabilidad del sistema (fotografía estroboscópica de las caídas, mediciones y graficaciones) y 3. modelación (programación de la caída libre con diferentes condicionantes), en donde se implementó la herramienta Python, la cual nos permitió identificar una evolución progresiva en la comprensión del fenómeno de la caída de los cuerpos por parte de los estudiantes de educación secundaria.

Inicialmente, la mayoría de los estudiantes atribuía el tiempo de caída únicamente al peso del objeto, pensaban que si era más pesado, este caería más rápido y otros pensaban que caería más despacio, sin embargo, a lo largo de la intervención se observó una transición hacia explicaciones que incorporaron variables como la forma, la resistencia del aire y la variación de la velocidad en cantidades iguales, con plena consciencia de que ello implica que el objeto recorre cada vez mayores distancias para unidades de tiempo iguales.

El análisis de las bitácoras, actividades experimentales y productos de modelación computacional evidenciaron que la integración de Python facilitó la verificación de relaciones dependientes y de la proporcionalidad entre altura, tiempo y velocidad, lo cual contribuyó a la construcción de modelos explicativos fundamentados. Los estudiantes lograron observar patrones en la trayectoria y la velocidad de caída de los objetos, comprendiendo que la aceleración durante la caída se mantiene constante para un mismo cuerpo, es decir, que la velocidad aumenta cada vez en la misma cantidad, precisamente porque la fuerza de atracción de la gravedad varía en función de la masa, y que factores como la resistencia del aire y la forma influyen en el comportamiento real de los objetos, pero que se pueden idealizar para lograr un modelo explicativo.

En síntesis, el estudio evidenció que el desarrollo del pensamiento físico matemático contribuye a que los estudiantes construyan explicaciones científicas más completas sobre la caída de los cuerpos, favoreciendo el desarrollo de habilidades para la observación, análisis, síntesis y argumentación de la ocurrencia de los fenómenos naturales. Cabe resaltar que todo ello tuvo su base en la propia transformación del discurso del docente-investigador, quien tuvo que leer, estudiar y reflexionar sobre su propia acción docente desde la apropiación del discurso del desarrollo del pensamiento físico matemático. Así, poco a poco fue encontrando nuevos sentidos para el aprendizaje y la enseñanza de la física.

Agradecimientos

Este trabajo es resultado del proyecto de investigación “Aportes a la construcción de nuevo conocimiento en torno al desarrollo del pensamiento didáctico científico del profesorado de física” financiado por la Oficina de Investigaciones de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Referencias

Bernal, M.; Peña, L. K. (2023). Competencias investigativas: Modelización con Python para la enseñanza de física mecánica. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 18(Especial).

- Castiblanco, O. (2013). Uma estruturação para o ensino de didática da física na formação inicial de professores: contribuições da pesquisa na área. Tesis Doctoral, Universidade Estadual de São Paulo "Júlio de Mesquita Filho", Pós-Graduação em Educação para a Ciência, Bauru, SP.
- Castiblanco, O. (2023). La Dimensión Sociocultural de la Didáctica de las Ciencias: desde la formación de profesores de física. Editorial UD, Bogotá.
<https://doi.org/10.69740/UD.9789587876468.9789587876475.9789587876482>
- Castiblanco, O. (2021). Tipologías de experimentación para la didáctica de la física. Edições Hipotese.
- Castiblanco, O.; Nardi, R. (2018). What and how to teach didactics of physics? An approach from disciplinary, sociocultural, and interactional dimensions. *Journal of Science Education*, v19, n1.
- Castiblanco, O.; González, L. (2024). Training Teachers for New Ways of Understanding Physics Teaching from Its Mathematization. *IJISME. International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, 31(6), 70-83. <https://doi.org/10.30722/IJISME.31.06.006>
- Castiblanco, O.; Nardi, R. (2023). Didáctica de la Física. Cultura Académica Editora, UNESP, Sao Paulo, Brasil, 3a Ed.
- Castiblanco, O.; Vizcaíno, D. (2024a) Taking on a new meaning of physics mathematization for teaching in teacher education processes. *Physics Education*, 59 045012, 12 pp. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ad422a>
- Castiblanco, O.; Vizcaíno, D. (2024b) Interaction in the Classroom Based on Typologies of Experiments and Mathematization in Physics Teaching. *Revista Mexicana de Física*. E 21 020208. pp.1-18. <https://doi.org/10.31349/RevMexFisE.21.020208>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Jhonson-Laird, P. (2010). Mental Models and Human Reasoning. *Psychological and Cognitive Science*. <https://doi.org/10.1073/pnas.1012933107>
- Maldonado, D. S. (2025). Integración de la programación en Python en un proceso de desarrollo del pensamiento físico matemático en la enseñanza de la caída de los cuerpos. Trabajo de grado. Licenciatura en Física. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- McDermott, L. (1997). How we teach and how students learn-a mismatch? *European Journal of Science Education*, 2, 1-4.
- Paramero, K. (2023). La interacción fenómeno-estudiante como base fundamental en el desarrollo del pensamiento científico. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, Número especial, v18, pp.1-11
- Vizcaíno, D.; Terrazzan, E. (2020) Meanings of physics mathematization in pre-service physics teachers. *Revista Lasallista, de investigación*, v17, n1.
<https://doi.org/10.22507/rli.v17n1a8>