



Uso de simuladores para enriquecer el aprendizaje funcional en los cursos de Física de Preparatoria

Alba Margarita Picos Lee^a y César Mora^b

^a Departamento de Ciencias Nivel Preparatoria, Colegio Felix de Jesús Rougier. Loma de Oro 501, Colonia Lomas de Rosales; Tampico Tamaulipas, México. C.P. 89100

^b Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada Unidad Legaria del Instituto Politécnico Nacional. Av. Legaria # 694, Col. Irrigación Del. Miguel Hidalgo, CP 11500 México D. F.

ARTICLE INFO

Received: 12 de febrero 2022

Accepted: 20 de abril de 2022

Available on-line: 31 de mayo de 2022

Keywords: Physics teaching with simulations, modeling in Physics teaching, strategic perspective in Physics learning, semiotic resources for Physics learning.

E-mail addresses: Incluir las albapicos@yahoo.com.mx ceml36@gmail.com

ISSN 2007-9847

© 2022 Institute of Science Education.
All rights reserved

ABSTRACT

One of the difficulties that students face in developing a functional understanding of the basic concepts of Physics is their inability to represent physical objects in a versatile way for their possible meaningful understanding. In Physics, the most used representations are the analytical and verbal representation. However, the numerical representation and the graphs have shown their effectiveness in promoting an improvement in the learning of physical-mathematical concepts. There is evidence that supports that the versatility of physical-mathematical knowledge is upgraded with the use of different representations of the objects of study, developing new ideas that develop the cognitive maturity of the conceptual nuclei. The encouraging results of a case study are presented on the impact that the numerical and graphic representation of different physical phenomena using interactive simulations (PhET) had on the students learning in an initial High School Physics course. The research objective was that students investigated the behavior of critical variables in different phenomena and developed, in a simple way, explanatory models representing them.

Una de las dificultades que enfrentan los alumnos para desarrollar un entendimiento funcional de los conceptos básicos de la Física es su incapacidad para representar versátilmente los objetos físicos para su posible entendimiento significativo. En Física, las representaciones más utilizadas son la representación analítica y verbal. Sin embargo, tanto la representación numérica (tabular) como la gráfica, han mostrado su eficacia para promover una mejoría en el aprendizaje de los conceptos físico-matemáticos. Existe evidencia que avala que la versatilidad del conocimiento físico-matemático se enriquece con el uso de distintas representaciones de los objetos de estudio, al fomentar el desarrollo de nuevas ideas que propician la madurez cognitiva de los núcleos conceptuales. Se presentan los alentadores resultados de un estudio de casos acerca del impacto que tiene en el aprendizaje de dos equipos de estudiantes de un curso inicial de Física de Preparatoria, la representación numérica y gráfica de diferentes fenómenos físicos utilizando simuladores interactivos (PhET), donde se propone que los estudiantes investiguen el comportamiento de las variables críticas de diferentes fenómenos y desarrollen, de manera sencilla, los modelos explicativos de los mismos.

I. INTRODUCCIÓN

El concepto matemático de función aplicado en la Física es una poderosa herramienta para generar un acercamiento favorable a los estudiantes al pensamiento científico y a la forma cómo se genera la ciencia. Al capitalizar este valioso recurso en su ejercicio docente, un profesor puede facilitar el aprendizaje de los estudiantes y propiciar un entorno

conceptual propicio para la comprensión de la modelización de los fenómenos naturales que forman parte de la experiencia cotidiana.

Partiendo del hecho de que el lenguaje primordial de las ciencias es matemático y de que los principios que rigen los fenómenos naturales pueden expresarse a través de modelos que explican, de forma simbólica y precisa, el comportamiento de las variables críticas que los definen en el lenguaje de esta disciplina, es posible una introducción intuitiva, poderosa y más amigable de los adolescentes que se inician en el estudio de la Física. A través de la comprensión de la relación entre la naturaleza de los fenómenos y su expresión simbólica, los estudiantes pueden comprender la naturaleza predictiva de dichos modelos y los límites bajo los cuales éstos ocurren, por lo que es de gran interés educativo que los profesores de ciencias capitalicen el enorme potencial de las aplicaciones semióticas (Mora, 2019).

Lamentablemente, el potencial de sinergia entre esta valiosa herramienta matemática y la Física no es considerado como una práctica común en la enseñanza de la disciplina ni en la literatura didáctica de la educación preparatoria. El abordaje más recurrente sobre los fenómenos físicos y los principios que los rigen se limita a la enunciación de “fórmulas” que se solicita memorizar a los estudiantes o bien, de las cuales se facilita un compendio en la presentación de exámenes (con sus despejes incluidos). En estos tiempos donde abundan los recursos digitales, también es frecuente encontrar tutoriales escritos o en video donde, en aras de “facilitar la comprensión”, se trabajan los principios y ejemplos sin proporcionar una base conceptual que conecte a los estudiantes con las formas y métodos cómo se genera la ciencia. Así entonces, si no se fomenta el desarrollo de las habilidades cognitivas de los estudiantes, no es de extrañar los pobres resultados obtenidos. Aunque las causas por las que se recurren a tales prácticas pueden ser diversas, el énfasis de la presente investigación es explorar la eficacia de una secuencia didáctica fundamentada en el aprendizaje estratégico para una comprensión más orgánica de este trascendental recurso en la enseñanza de la Física.

A. Modelación y aprendizaje de la ciencia

Como Justi y Gilbert lo indican (2002, en Oliva, 2019), aprender a hacer ciencia implica que los alumnos sean capaces de crear, expresar y comprobar sus propias representaciones del mundo -en este caso de los fenómenos físicos-.

De acuerdo con Chamizo (2010), el modelaje requiere de tres pasos:

- A partir del mundo real, se requiere conocimiento, imaginación y creatividad para concebir el modelo mental.
- A partir del modelo mental, se requiere la recolección de datos y construcción física del modelo para expresarlo socialmente, ya sea de forma material o matemática.
- A partir del modelo expresado material o matemáticamente, se requiere su contrastación y encaje con el mundo real.

En el campo de la Didáctica, Villa (en Chamizo, 2010), argumenta la importancia de implementar la modelación en el aula de clase, pues promueve la construcción de conceptos de forma significativa y duradera. Adicionalmente, la modelación de fenómenos físicos acerca a los estudiantes a la forma en la que trabajan los científicos puesto que, de esta manera, no solo se aprende sobre el *concepto*, además se fomenta la habilidad de reflexionar sobre el aprendizaje y la estrategia mediante la que éste se adquiere, lo cual se conoce como *aprendizaje estratégico* (Pozo y Monereo, 2001).

La ciencia escolar, al ser una reconstrucción del “saber sabio” que trabajan los científicos (Chevallard, 1997 en Chamizo, 2010), requiere satisfacer la condición de que el conocimiento debe trabajarse de forma rigurosa y precisa, en un lenguaje que pueda considerarse universal. Así entonces, si los científicos construyen modelos sobre una determinada porción del mundo y son dichos modelos, con sus ventajas y desventajas lo que divulgan para generar conocimiento, es

importante introducir a los estudiantes a esta forma de trabajo, siendo el concepto de *función* una de las ideas matemáticas más útiles para modelar el mundo real.

Los modelos matemáticos (Malvern, 2000 en Chamizo, 2010) son, generalmente, aquellas ecuaciones construidas para describir precisamente la porción del mundo que se está representando. Estos modelos, además de formularse mediante simbología matemática, pueden representarse diagramas, gráficas u objetos tridimensionales. Las simulaciones y las animaciones también constituyen modelos de carácter material, que se podrían considerar como un tipo mixto de modelos, ya que se construyen mediante un desarrollo matemático resuelto y visualizado en una computadora (Perkins, Adams, Dubson, Finkelstein, Reid, Wieman y LeMaster, 2006).

La presente investigación se centra en el manejo estratégico de modelos matemáticos básicos para introducir a los estudiantes al estudio de la Física, con el propósito de que los estudiantes comprendan los modos de acercamiento de la Física al conocimiento y de la naturaleza: así como a la metodología experimental y a la construcción de modelos explicativos de los fenómenos (Plan de estudios CCH UNAM s/f).

B. Las funciones matemáticas y sus gráficas como herramienta didáctica en la enseñanza de la ciencia

El estudio de las funciones constituye un modo de acercamiento poderoso y útil para modelizar problemas del mundo real. A partir de conjeturas y ciertas suposiciones iniciales, un modelo matemático es el resultado de la búsqueda de regularidades presentes en un fenómeno de interés. El modelo es el que le da forma matemática a la situación estudiada. Esto permite aplicar reglas y procedimientos matemáticos y es donde las funciones adquieren un rol muy importante. Al desarrollar un modelo matemático como representación de datos reales se deben perseguir dos objetivos: precisión y sencillez; esto es, se busca lograr un modelo lo más sencillo posible pero que refleje la realidad de la mejor manera y produzca resultados significativos. Los procedimientos dentro del modelo matemático proporcionan resultados que permiten predecir lo que sucederá en esa situación tomada de la realidad. Si las predicciones no son precisas o si los resultados que se obtengan de la experimentación no se ajustan al modelo, éste necesitará ciertas modificaciones. El estudio empírico de las relaciones existentes entre las variables de un fenómeno y su posterior formulación matemática, es una parte esencial del método científico (Acevedo, García, Aragón y Oliva, 2017).

En el presente estudio, el análisis de las funciones se enfocó no solo en su representación simbólica escrita (símbolos matemáticos) sino en su presentación numérica (tabular) y gráfica dado que, en un sentido instruccional, tanto las funciones como sus correspondientes tablas y gráficas, se centran tanto en la relación como en la entidad, resultando una magnífica herramienta para examinar patrones que generan un puente entre el razonamiento de lo concreto a lo abstracto y el razonamiento entre abstracciones.

La literatura analizada sobre enseñanza de las ciencias y las matemáticas, señala que no existe una entrada óptima probada al estudio de las funciones, gráficas y sus aplicaciones. Sin embargo, la pedagogía se basa, además de en los conocimientos técnicos, en la forma en que aprenden los estudiantes y debe ser sensible a decisiones sobre entrada, secuencia, explicaciones, ejemplos y representaciones. Obviamente, la selección de la entrada dicta en cierta medida la secuenciación de la instrucción y, dependiendo a su vez de ésta, durante el proceso de *modelado de pensamiento* (Eggen, Kauchack y Eggen, 2010), el profesor promueve la construcción de nociones que se basan en conocimientos previos. Una característica fundamental del modelado de pensamiento es una aplicación bien construida, esto es, que expresa las características esenciales de lo que se debe conocer, pero limita la sobre generalización que puede conducir a la generación de conceptos erróneos, ya que posteriormente son muy difíciles de erradicar de la mente de los estudiantes.

En la educación básica y media, el concepto de función contribuye a la estructuración del pensamiento variacional y de los sistemas analíticos, pues promueve en el estudiante competencias y habilidades para la observación, medición, registro de datos, realizar distintas representaciones gráficas, que le permiten la identificación de variables y el establecimiento de relaciones funcionales aplicables a los contextos reales (Leinhardt, Zaslavsky y Stein, 1990).

El común denominador común que tienen el análisis de las funciones matemáticas abarca:

- a) Parámetros numéricos medibles, que caracterizan los estados de los sistemas denominadas: variables observables del sistema.
- b) Investigación de relaciones entre las variables observables.
- c) Evolución de las variables.
- d) Formulación de modelos para describir y predecir los fenómenos asociados a tales sistemas.

Mediante esta secuencia de pasos se hace posible el acercamiento al *pensamiento funcional* (Leinhardt *et al* 1990), puesto que el estudiante puede conectar su conocimiento matemático con su experiencia y ver más que un subconjunto de pares ordenados X, Y , una conexión definida entre dos magnitudes que cambian (variables) en un contexto específico; esto es, con una aplicación específica.

El objetivo de la instrucción al utilizar funciones matemáticas como herramienta didáctica, debe ser desarrollar las concepciones de los estudiantes, ya que éstas funcionan como poderosas herramientas en los esfuerzos continuos del estudiante por llegar a una cognición más profunda e integradora. Por naturaleza, las concepciones están en transición o en proceso de encarnarse a su máxima realización o capacidad, por lo que es fundamental un tratamiento cuidadoso del modelado de pensamiento para evitar una aplicación errónea (Leinhardt *et al* 1990).

Las intuiciones que se procura promover para desarrollar un conocimiento científico escolar se centran en dos ideas primarias utilizadas para definir a las funciones: la *covariación* entre dos variables y la *correspondencia* entre dos conjuntos.

En ciencias (Brasell y Rowe, 1989; McDermott, Rosenquist y vanZee, 1987; McKenzie y Padilla, 1986 en Leinhardt *et al* 1990), los objetivos instruccionales que se relacionan tanto con funciones como con sus gráficas, mayoritariamente tienen que ver con su interpretación, la cual puede basarse en el a) patrón de comportamiento de las variables, b) la tasa de cambio y c) la continuidad de los valores. Janvier (citado en Chamizo 2010) argumentó que se debe alentar a los estudiantes a que presten atención a toda la gráfica, como una expresión de la relación entre dos variables que cambian simultáneamente y expresar esa relación en palabras en lugar de números. Este es un enfoque más cualitativo pero propicio para estudiantes cuya formación matemática aún está en desarrollo, como es el caso que se analiza en el presente artículo. El enfoque tiene la clara ventaja de captar el sentido común, las intuiciones y las y estrategias de verificación de la realidad (Goldenberg, 1987 citado en Leinhardt *et al* 1990).

En relación a las variables de la función, es importante señalar que la situación sugiere su unidad de medida apropiada y el tipo de unidad, a su vez, determina la forma de la variable (categórica, ordinal, intervalo o razón). Las primeras tres formas se relacionan con variables discretas, mientras que la forma de razón está conectada a variables continuas. El tiempo se considera un tipo especial de variable que puede ser de intervalo o razón (es decir, discreta o continua). La mayoría de las tareas contextualizadas, como es el caso de la Física, incluyen una variable de tiempo o una variable dependiente del tiempo.

Respecto a las tareas de construcción de gráficas en el ámbito científico, el enfoque generalmente se centra en la naturaleza predictiva de estas representaciones. Se identifican tres componentes principales para la comprensión de

gráficas; estos componentes muestran una progresión de la atención de las características locales de la gráfica, hacia las globales.

- a) Para leer información directamente de una gráfica, se debe conocer las convenciones de diseño de gráficas.
- b) Para manipular la información leída de una gráfica, se hacen comparaciones y se realizan cálculos.
- c) Para generalizar, predecir o identificar tendencias, se debe relacionar la información en la gráfica al contexto de la situación.

C. Los simuladores computacionales como herramientas pedagógicas en la enseñanza de la física

La enseñanza de la Física tiene como objetivo ayudar a los estudiantes a percibir esta disciplina como un sistema coherente de conceptos y principios relacionados con el mundo físico. En la enseñanza de esta materia, los profesores emplean con frecuencia representaciones alternativas, que incluyen desde descripciones de texto e imágenes de los fenómenos físicos a representaciones simbólicas y gráficas de conceptos y principios de la Física (Amadeu y Leal, 2013). Las simulaciones son de particular utilidad para describir diversos aspectos de un fenómeno físico o un concepto de la Física que no son tan accesibles por otros medios y, además, se complementan entre sí de tal manera que el resultado son representaciones más completas. Los medios digitales ofrecen la oportunidad adicional a los profesores de sacar provecho de las representaciones dinámicas utilizadas para caracterizar tanto fenómenos como conceptos de la física que cambian en el tiempo y el espacio (Ainsworth y VanLabeke, 2004 en Amadeu y Leal, 2013).

El crecimiento significativo de internet y, en particular, de la World Wide Web (www), hace hoy día posible la transmisión de los documentos que contienen texto, sonido y vídeo. Con la introducción emergente de diferentes lenguajes y recursos digitales, se han podido añadir pequeños programas multimedia a los documentos web. Por ello, tanto profesores como alumnos, pueden sacar provecho de simulaciones muy interesantes que están disponibles gratuitamente en la Web (Martins, Fiolhais y Paiva, 2003 en Amadeu y Leal, 2013). Dada la oportunidad que existe de manejar el sistema y el proceso, una simulación mediada por recursos digitales y diseñada ex profeso para enseñar conceptos de la ciencia, puede verse como un análogo a los modelos que utilizan los científicos para resolver los problemas propios de la disciplina.

La simulación digital de experimentos de Física ha sido la más explorada, permitiendo el estudio incluyendo condiciones que serían difíciles, o incluso imposibles, de aplicar en la práctica. El uso de programas de simulación posibilita una mejor comprensión de algunos fenómenos físicos, ya que permite incluir elementos gráficos y animaciones en el mismo entorno. Esto, unido al interés de los estudiantes por las nuevas tecnologías, tiene el potencial de hacer que el proceso de aprendizaje sea más eficiente y agradable (Ding y Fang, 2009; Sengel y Ozden, 2010 en Amadeu y Leal, 2013; Sokoloff y Thornton, 1997). El uso educativo de este tipo de simulaciones ofrece a los estudiantes la oportunidad de descubrir las propiedades de un modelo, a través de la recopilación y el análisis de datos o de la información proporcionada por los programas. Estas actividades tienden a promover en los estudiantes las habilidades para resolver problemas (Roschelle y Teasley, 1995, en Amadeu y Leal, 2013).

Pese a que las simulaciones computacionales constituyen un excelente activo en la enseñanza y el aprendizaje de los estudiantes, existe consenso que el uso de este recurso debe ser reforzado con el apoyo y modelación del profesor para obtener del mismo un mejor aprovechamiento. Un maestro debe ser consciente del poderoso y enajenante efecto que un recurso de esta naturaleza puede tener en los estudiantes y derivar en una dependencia demasiado fuerte del mismo, sin comprender los patrones de comportamiento y principios científicos subyacentes.

En la presente investigación, se utilizó la tecnología de educación PhET. El proyecto PhET provee simulaciones útiles para enseñar y aprender Física y las hace disponibles gratuitamente en su sitio web. Las simulaciones están animadas, manejan entornos interactivos y similares a los juegos mediante los cuales los estudiantes aprenden a través de la exploración. En estas simulaciones, se enfatiza en las conexiones entre los fenómenos cotidianos y la ciencia subyacente, procurando desarrollar modelos visuales y conceptuales de físicos expertos, accesibles para los estudiantes de diferentes niveles educativos y edades (Perkins *et al*, 2006).

II. METODOLOGÍA

A. Contexto de la intervención

Este artículo se propone describir el diseño y resultados sobre una intervención experimental mediada por tres simuladores del proyecto PhET, a la luz del método de casos (Stake, 2013). La actividad experimental que se describe, analiza y reporta se efectuó en el contexto del nivel educativo de Preparatoria, durante el curso de Física I del ciclo escolar 2020-2021 impartido en la Preparatoria del Colegio Félix de Jesús Rougier, en Tampico, Tamaulipas, México. El programa de estudios que se imparte está incorporado al Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH) de la Universidad Nacional Autónoma de México. La materia se imparte con carácter obligatorio en el tercer semestre. El grupo es mixto y las edades de los estudiantes fluctúan entre los 16 y 17 años.

Como antecedente, en el sistema educativo mexicano, los estudiantes estudian ciencias con énfasis en Física durante el segundo año de secundaria con carácter obligatorio. Si continúan sus estudios de preparatoria en el sistema CCH UNAM, estos jóvenes cursan nuevamente dos asignaturas de Física en tercer y cuarto semestre. Otro dato de interés es que, durante el primer semestre de Preparatoria, en la asignatura de Matemáticas I, se aborda el estudio de las variaciones, funciones y gráficas (relaciones directamente proporcionales, cuadráticas y mixtas), por lo que antes de ingresar a estudiar Física Introductoria en el tercer semestre, ya tiene cierto antecedente conceptual sobre análisis variacional.

El curso de Física I inicia con la unidad de “Introducción a la Física”, donde dos de los objetivos de aprendizaje principales son:

- *Describir diferentes sistemas y fenómenos físicos e identificar las magnitudes físicas que permiten una mejor descripción y estudio.*
- *Conocer elementos de la metodología experimental que utiliza la Física para explicar fenómenos.*

Una de las actividades donde es más tangible valorar el nivel de aprendizaje de los estudiantes en este sentido, es durante el trabajo experimental, ya que éste involucra no solo el conocimiento de los conceptos, sino el manejo de los mismos para responder una pregunta de investigación concreta. A causa de la pandemia global de CoVID 19, desde marzo del 2020 se suspendieron las clases presenciales y todas las actividades académicas debieron migrarse al trabajo en línea. Así entonces y con el fin de desarrollar esta importante faceta del trabajo escolar, se rediseñó la secuencia didáctica para que los estudiantes, a través de la orientación y guía de la profesora-investigadora, pudieran analizar la naturaleza de diferentes fenómenos físicos y, a través de la recopilación de datos de sus variables explicativas y el posterior desarrollo de sus gráficas de comportamiento, fueran capaces de inferir su naturaleza variacional y expresarla en lenguaje simbólico a través de una ecuación matemática.

Adicionalmente, se les solicitó a los estudiantes elaborar la tabla de datos y la gráfica correspondiente que confirmara sus hipótesis en relación al tipo de vínculo presente entre las variables estudiadas para cada fenómeno simulado. Los recursos de simulación utilizados fueron los que se muestran en la figura 1.

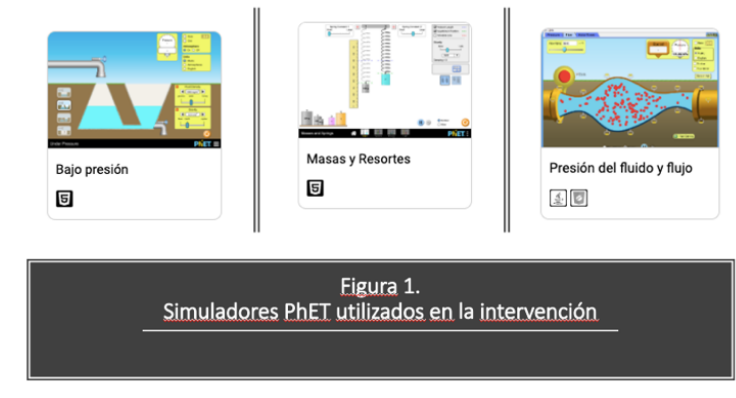


FIGURA 1.
Simuladores PhET utilizados durante la intervención

B. Diseño de la intervención

La estructura de la secuencia didáctica comprendió un cuestionario introductorio al estudio de las variaciones que se estudian en Física, la actividad de modelado desarrollada por la profesora-investigadora, una actividad experimental mediada por tres simuladores del proyecto PhET y dos experimentos realizados por los estudiantes en casa y la resolución de un ejercicio a manera de evaluación final.

La intervención se realizó en cuatro sesiones de 90 minutos por sesión. Todas las sesiones de trabajaron mediante videoconferencias (Zoom) en el horario de clase asignado. La primera sesión se manejó bajo el formato de aula invertida: de forma previa a la sesión de inicio y como requisito indispensable para efectuar la práctica, cada estudiante tenía que haber completado y verificado la retroalimentación de un cuestionario introductorio (anexo 1), así como revisar un video grabado por la profesora-investigadora (<https://youtu.be/1jbSlqd1lso>), donde se detalló a los estudiantes la metodología experimental y se dieron las indicaciones para efectuar las mediciones de cada uno de los tres experimentos.

Durante la primera parte de la sesión inicial, se atendieron las dudas en relación a los resultados alcanzados en el cuestionario de introducción, así como en la toma de datos en cada simulación, su registro y su tratamiento. En la segunda parte de la sesión 1, los estudiantes, de forma individual, interactuaron con los tres simuladores para obtener las mediciones solicitadas. Los resultados de esta sesión se colocaron en un archivo de Excel, junto con imágenes que manifestaran la evidencia de la interacción con el simulador. El archivo se enlazó a la asignación correspondiente del aula virtual de la clase (Google Classroom).

Durante la segunda sesión, se solicitó a los estudiantes reunirse con su compañero(a) de equipo y se les concedió tiempo para socializar sus hallazgos, comparar resultados, verificar hipótesis y realizar conclusiones. En un segundo momento de la misma sesión, se solicitó a cada equipo que compartiese sus respuestas para comparar las conclusiones que obtuvo cada equipo. Se asignó como tarea trabajar en el informe de la práctica. Como requisito para la entrega del informe, se requirió realizar dos experiencias más, para verificar si los estudiantes podían obtener resultados similares trabajando las actividades vivencialmente desde sus hogares. La idea es que estas evidencias, sumadas a las anteriores, facilitasen la triangulación de datos para poder realizar las conclusiones. El procedimiento se menciona un poco más adelante.

En la tercera sesión, se aplicó un examen breve de cierre del tema, donde se les solicitó a los estudiantes aplicar el mismo procedimiento de trabajo realizado durante el tiempo de práctica guiada. Se trabajaron cuatro casos diferentes de autoría propia.

Los instrumentos de evaluación de la intervención fueron: a) rúbrica para evaluar el informe de práctica y b) calificación de la entrega de avances y del examen del tema.

La muestra que se tomó fue a conveniencia: dos equipos de trabajo de dos personas cada equipo. Ambos equipos se conformaron desde el inicio del curso por voluntad e iniciativa de los estudiantes y de forma independiente a la intervención; en cada equipo, uno de los estudiantes tiene un historial de alto desempeño académico, en tanto que el compañero(a) tiene un historial de desempeño académico de regular a bajo.

En la figura 2, se muestra la pantalla del video donde se dan las indicaciones para realizar el primer experimento: “Bajo presión”.

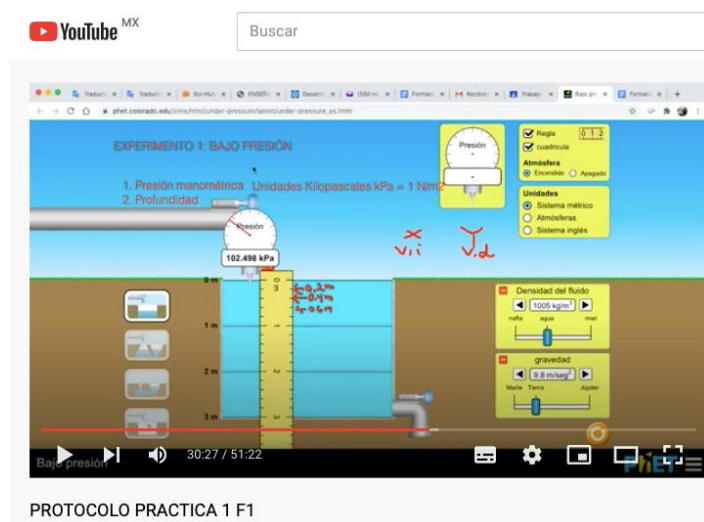


FIGURA 2.
Experimento 1: Bajo presión

En este experimento, se pidió a los estudiantes analizar la relación entre la presión absoluta de un fluido y la profundidad de un depósito. Se les solicitó la identificación de la variable dependiente e independiente en esta situación, así como que hipotetizarán sobre el tipo de variación que esperaban encontrar entre ambas variables. Se les explicó cómo efectuar y reportar las mediciones. La tabla de datos requerida fue la presión absoluta, reportada en Kilopascalas (KPa) y profundidad del fluido a partir de la superficie del tanque, reportada en metros (m).

En la figura 3, se muestra la pantalla del video donde se dan las indicaciones para realizar el segundo experimento: “Masas y resortes”.

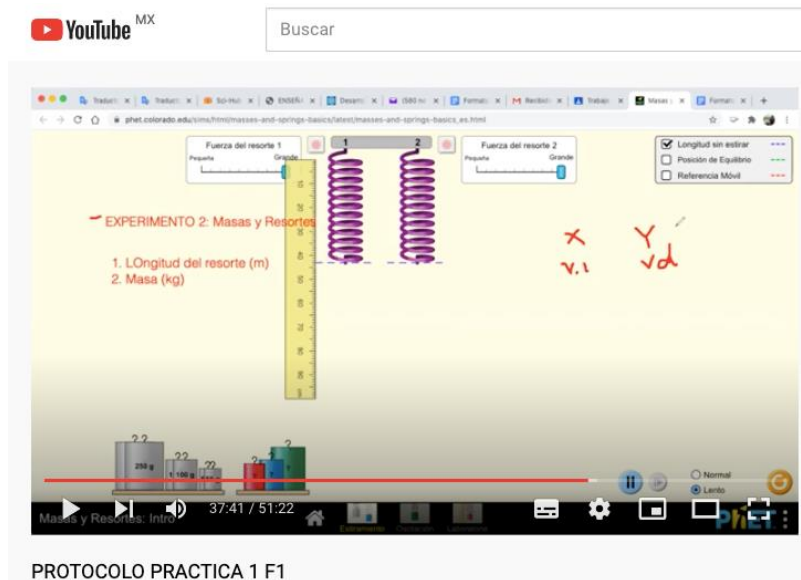


FIGURA 3.

Experimento 2: Masas y resortes

En este experimento, se pidió a los estudiantes analizar la relación entre el estiramiento de un resorte y la masa que se coloca en un extremo de éste. Al igual que en el primer experimento, se les requirió identificación de la variable dependiente e independiente del fenómeno bajo estudio e hipótesis sobre el tipo de variación que esperaban encontrar entre ambas variables. Se les explicó cómo efectuar y reportar las mediciones. La tabla de datos requerida fue la de la longitud del resorte, reportada en cm, versus la masa que se coloca en un extremo de éste, reportada en gramos.

En la figura 4, se muestra la pantalla del video donde se dan las indicaciones para realizar el tercer experimento: “Flujo de un fluido”.

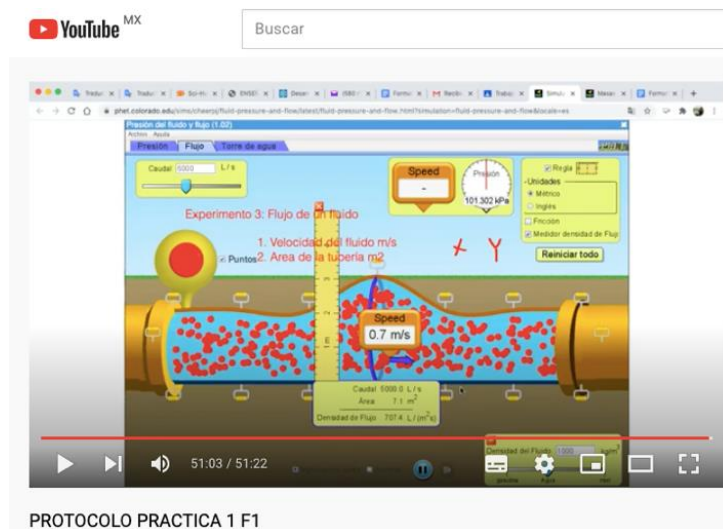


FIGURA 4.

Experimento 3: Flujo de un fluido

En este experimento, se solicitó a los estudiantes analizar la relación entre el área de una tubería y la velocidad del fluido que transita a través de ella. Una vez más, les fue requerido identificar la variable dependiente e independiente del

fenómeno bajo estudio e hipotetizar sobre el tipo de variación que esperaban encontrar entre ambas variables. Como en los primeros dos casos, se les explicó cómo efectuar y reportar las mediciones. La tabla de datos requerida fue la velocidad del fluido (m/s) y el área de la tubería en el mismo punto de medición (m^2).

Experimento 4a: Se solicitó a los estudiantes que, a un recipiente cilíndrico vacío de paredes rectas y un litro de capacidad, le agregaran 250 ml de agua y tomaran medición de la altura (nivel del líquido) en cm. Acto seguido, se debía agregar 250 ml más de líquido y medir nuevamente la altura del líquido y repetir estas acciones hasta completar un volumen de 1000 ml. La tabla de datos requerida fue la de volumen (ml) y altura de líquido (cm).

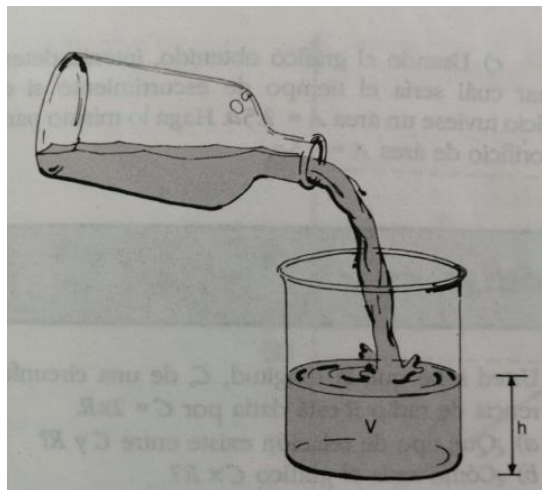


FIGURA 5.

Experimento 4a: Nivel de un fluido
(Alvarenga y Máximo, 2007)

Experimento 4b. A un recipiente de aproximadamente medio galón, de boca ancha y fondo plano, se solicitó practicarle cinco perforaciones con clavos (del mismo grosor) y dejarlos allí como tapón. Acto seguido, se pidió adicionar un volumen fijo de agua, a criterio del estudiante, retirar un clavo y tomar el tiempo de vaciado del recipiente en dichas circunstancias. La experiencia de tomar el tiempo de vaciado del recipiente, bajo las mismas condiciones en cuanto a volumen inicial del líquido, se requirió repetir retirando dos, tres, cuatro y cinco clavos de forma simultánea. La tabla de datos requerida fue la de tiempo de vaciado (segundos) versus el área de salida (cm^2).

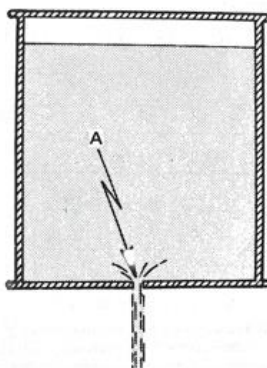


FIGURA 6.

Experimento 4b: Tiempo de vaciado de un fluido
(Alvarenga y Máximo, 2007)

El objetivo de ambas experiencias es similar al que se buscó mediante la interacción con las simulaciones: identificación de variable dependiente e independiente, hipotetizar sobre la relación funcional, efectuar mediciones, construir la tabla de datos y gráfica de comportamiento de variables, desarrollar el modelo matemático que explicase y pudiese predecir el comportamiento del fenómeno.

III. RESULTADOS

A. Resultados del cuestionario de introducción.

En esta actividad previa a la sesión de inicio (anexo 1), fueron detectados algunos conceptos erróneos de los estudiantes, tales como:

1. En la descripción de las variaciones no lineales, dos de los cuatro estudiantes confundieron el coeficiente de la variable con su exponente; otro estudiante manifestó no entender lo que se le requería; otro estudiante sobregeneralizó su respuesta.
- a) Pregunta: ¿Qué es una función no lineal (cuadrática o cúbica) y cómo se expresa en esta situación la relación entre las variables implicadas?

Respuestas:

- *“Cuando una variable aumenta y así la otra variable incrementa al doble o triple o cual sea el nivel”.*
- *“Una función es cúbica cuando una variante aumenta y la otra aumenta tres veces más. $y=ax^2+bx$ ”*
- *“Maestra la verdad, lo leí e investigue un poco más del tema, pero no logro entender bien”.*

- b) Pregunta: ¿Qué forma tiene la gráfica? ¿Qué diferencias tiene este tipo de gráfica en relación a las funciones de proporción directa y las funciones lineales? ¿Cómo explicas estas diferencias?

Respuestas:

“Tiene una forma curva; se diferencia de las demás porque una de las variables contiene un exponente ^(2, 3) y se diferencia por su curva y se diferencia porque empieza por el lugar de origen y llega a terminar en el mismo número”.

2. En la ilustración de las relaciones inversas, uno de los estudiantes confundió la forma de la variación inversa con la forma de la variación lineal con pendiente negativa, como se expresa en el ejemplo que el estudiante compartió.

Un carro que tiene 30 litro de gasolina gasta medio litros de gasolina por kilómetro recorridos, haciendo que, mientras que el carro avance mas y los kilómetros se aumenten, la gasolina se irá disminuyendo, teniendo una expresión de $G = K/2 - 30$

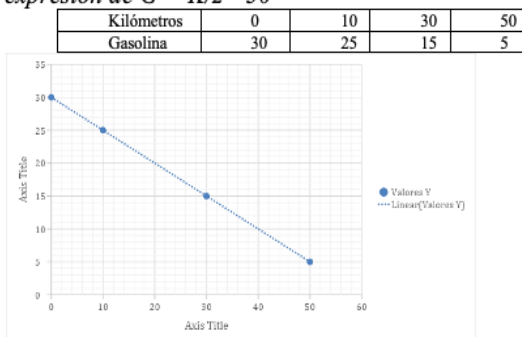


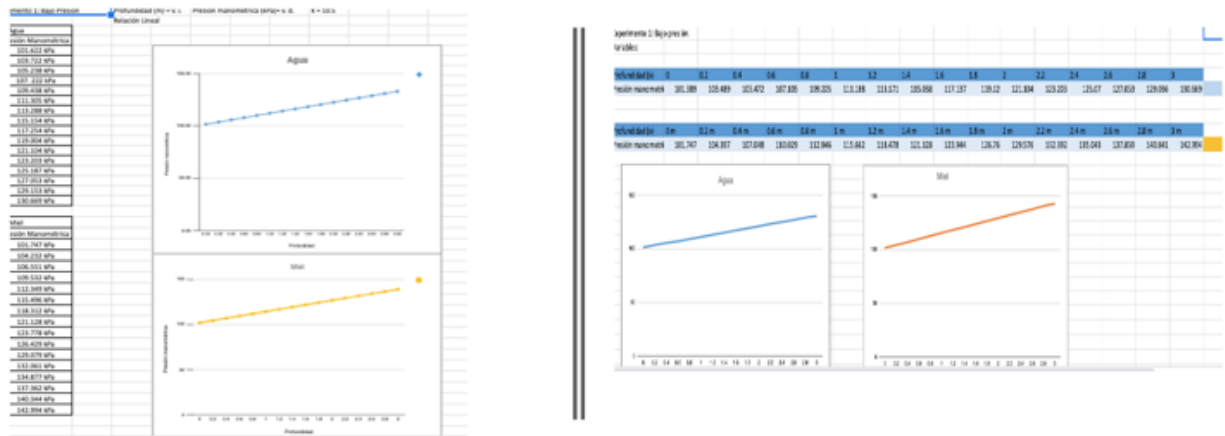
FIGURA 7.

Ejemplo de un estudiante:
conceptos erróneos detectados

B. Resultados del reporte de avances de los experimentos. Dado que todos los experimentos se realizaron durante las clases en línea y desde el hogar de los estudiantes, se solicitó que cada uno de ellos reportara individualmente su trabajo y subiera sus mediciones al Google Classroom de la asignatura. La tarea realizada por los estudiantes fue la siguiente:

1. Establecer las condiciones de operación para cada simulador. En el caso del experimento 1, se solicitó que realizaran la medición de presión absoluta versus profundidad del tanque como mínimo, para uno de los fluidos indicados en el simulador. En el caso del experimento 2, se pidió realizaran las mediciones con para determinar la constante del resorte.
2. Identificar la variable dependiente e independiente en cada experimento, así como la hipótesis de la relación funcional presente, incluyendo el modelo matemático de la función. Las relaciones funcionales estudiadas durante la unidad fueron: a) variaciones de proporción directa ($y=kx$), b) variaciones lineales ($y=kx+b$), c) variaciones no lineales ($y=kx^n$) y d) variaciones inversas ($y=k/x$).
3. Registrar las mediciones en una tabla de datos.
4. Trazar la gráfica del comportamiento de datos.
5. Calcular la constante k .
6. Desarrollar el modelo propio del fenómeno.
7. Comparar si las mediciones efectuadas en diferentes condiciones manifiestan la misma tendencia, apreciar las diferencias encontradas y comentar.

Los avances reportados se reportaron en hojas de cálculo. La figura 6 muestra las imágenes de las evidencias del trabajo experimental.



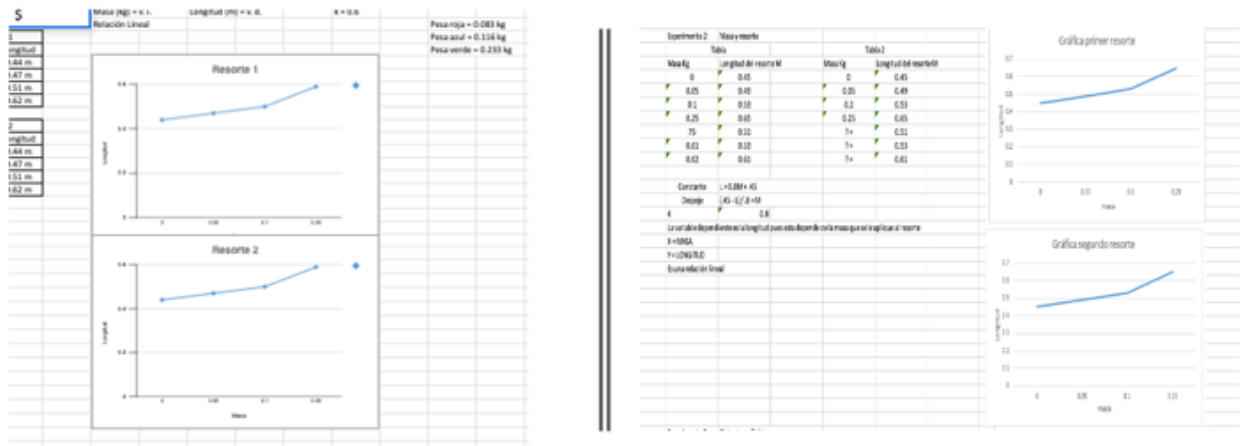
**Resultados de los avances del experimento 1:
"Bajo presión"**

FIGURA 8a. Avances del experimento 1, sujetos 1 y 2.



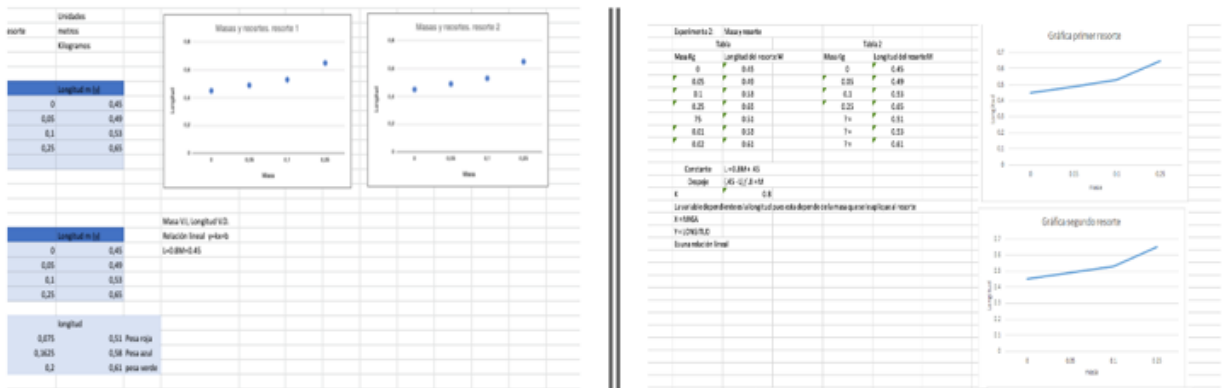
**Resultados de los avances del experimento 1:
"Bajo presión"**

FIGURA 8b. Avances del experimento 1, sujetos 3 y 4.



Resultados de los avances del experimento 2: "Masas y resortes"

FIGURA 8c. Avances del experimento 2, sujetos 1 y 2.



Resultados de los avances del experimento 2: "Masas y resortes"

FIGURA 8d. Avances del experimento 2, sujetos 3 y 4.

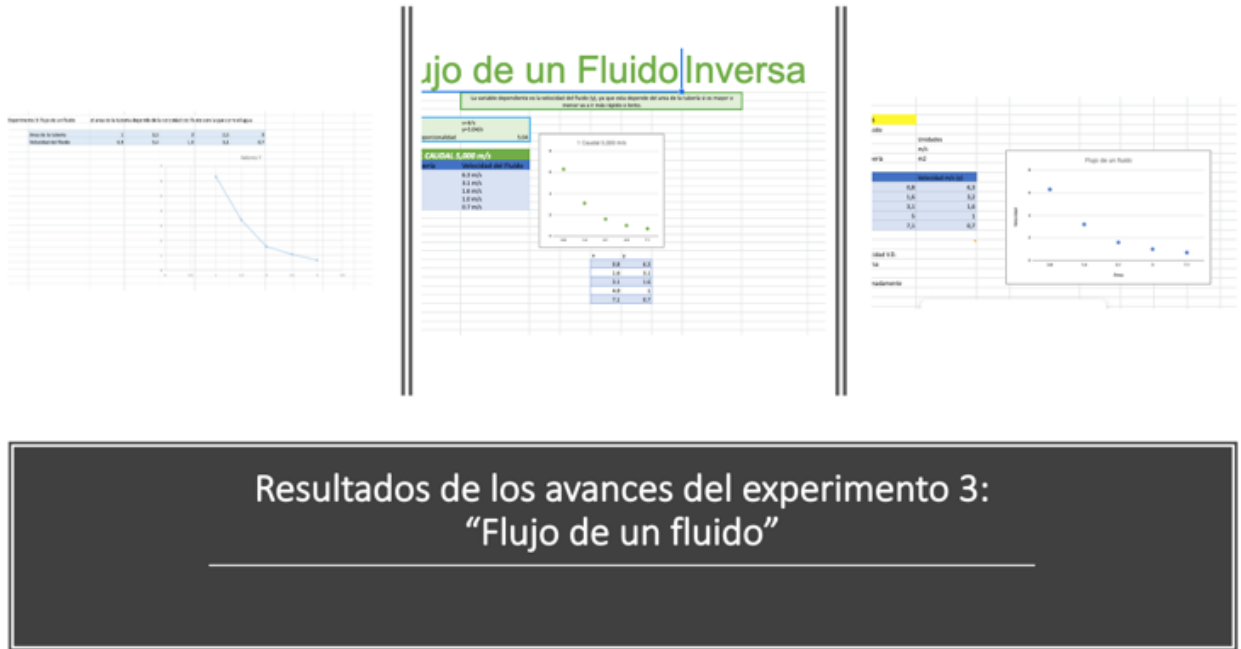


FIGURA 8e. Avances del experimento 3, sujetos 1 y 2.

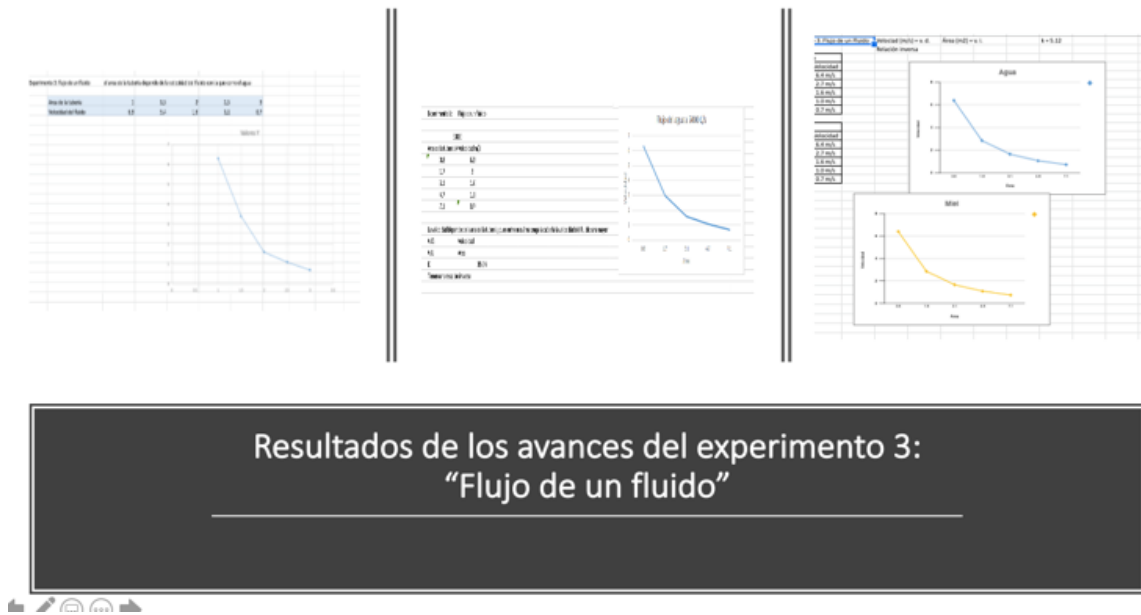


FIGURA 8f. Avances del experimento 3, sujetos 3 y 4.

En todos los casos, los estudiantes bajo estudio lograron completar identificar correctamente la variable dependiente e independiente, el tipo de relación funcional y, con base en los datos de sus experimentos, desarrollar el modelo que expresa la relación entre las variables. En la siguiente serie de tablas se muestran los modelos desarrollados con base en las mediciones obtenidas con la simulación para la muestra de estudiantes analizada.

Resultados reportados para experimento 1: “Bajo presión”

- Variable independiente (x): profundidad (metros)
- Variable dependiente (y): Presión absoluta (KPa)
- Tipo de relación funcional: lineal. Modelo general de la función: $y=kx + b$

Sujeto	Modelo desarrollado (fluido agua)	Modelo desarrollado (fluido miel)
1	$y=9.21x +102.523$	$y=14.62x+101.794$
2	$y=10.50x+101.622$	$y=15.78x+101.406$
3	$y=10.00x+101.569$	$y=14.00x+101.802$
4	$y=9.84x+101.630$	$y=13.94x+101.700$

TABLA 1a.

Modelo funcional desarrollado para explicar la relación entre la profundidad del tanque y su presión absoluta.

Resultados reportados para experimento 2: “Masas y resortes”

- Variable independiente (x): masa (kg)
- Variable dependiente (y): Estiramiento (m)
- Tipo de relación funcional: lineal. Modelo general de la función: $y=kx + b$

Sujeto	Modelo desarrollado (Constante de resorte 1)	Modelo desarrollado (Constante de resorte 2)
1	$y=60x+50$ (*)	
2		$y=0.8x +0.43$
3	$y=0.6x+0.44$	
4		$y=0.8x+0.45$

(*) Unidades reportadas en g y cm

TABLA 1b.

Modelo funcional desarrollado para explicar la relación entre la masa que se sujeta a un resorte y el estiramiento de éste.

Resultados reportados para experimento 3: “Flujo de un fluido”

- Variable independiente (x): área de la tubería (m²)
- Variable dependiente (y): velocidad de flujo (m/s)
- Tipo de relación funcional: inversa. Modelo general de la función: $y=k/x$

Sujeto	Modelo desarrollado
1	$y=5.04/x$
2	$y=5.12/x$
3	$y=5.04/x$
4	$y=5.00/x$

TABLA 1c.

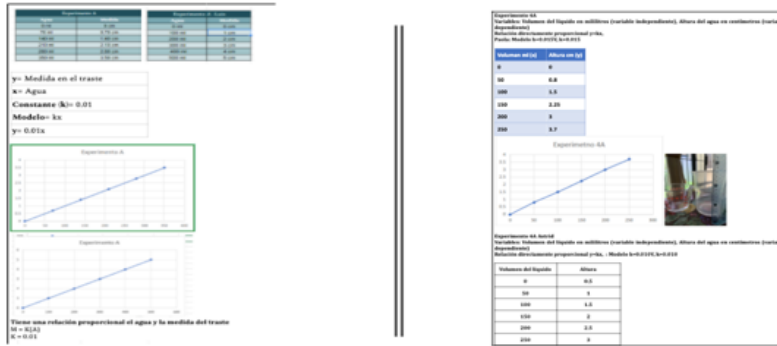
Modelo funcional desarrollado para explicar la relación entre el área de una tubería y la velocidad del fluido que circula por ella.

En relación a los cambios de condiciones en los que se efectuó el experimento, solo los estudiantes categorizados como de alto desempeño académico efectuaron comentarios al respecto:

- “La miel es más pesada que el agua y por eso hay más presión”.
- “El tipo de líquido tiene que ver con los valores de la constante”.
- “Si cambias de un resorte suave a otro más duro, cambia la constante”.
- “La condición del resorte influye en el estiramiento”.

C. Resultados del informe final del experimento. Para entregar el reporte final del experimento, se solicitó a los estudiantes que incluyeran una cuarta experiencia donde, además de incluir los resultados de sus experimentos con simulaciones, complementarían su trabajo experimental con los dos experimentos “vivenciales”.

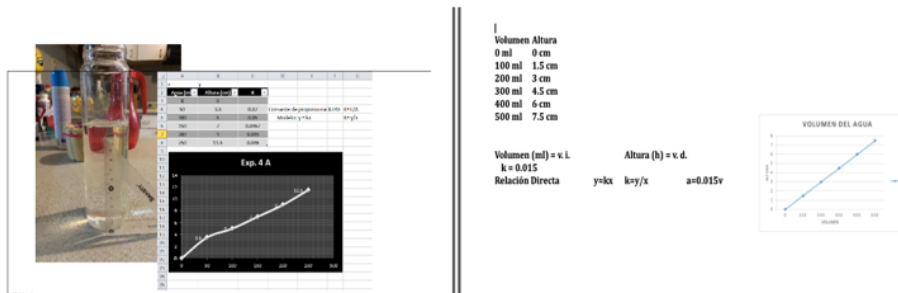
Los resultados de esta experiencia fueron que todos los estudiantes, en ambos equipos de trabajo, fueron capaces de desarrollar el proceso correctamente de forma independiente.



Resultados experimental 4a:
Variación directa

FIGURA 9a.

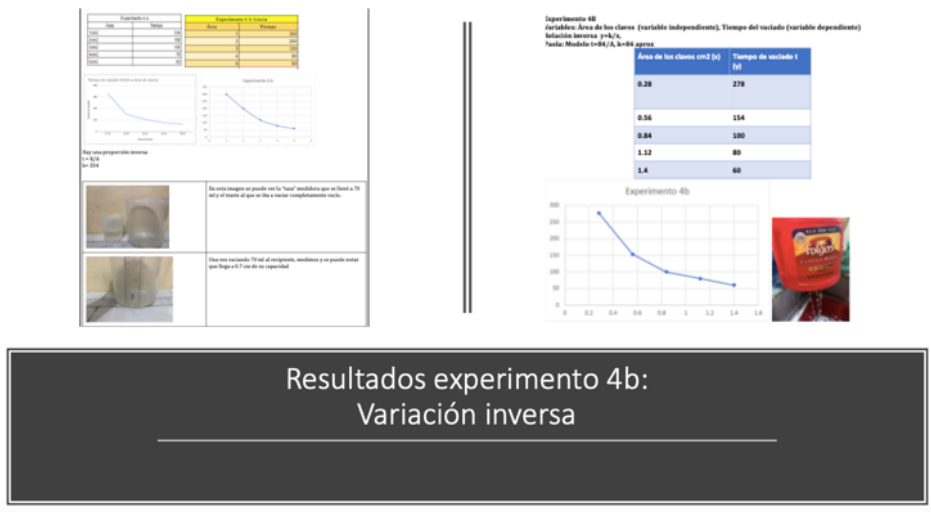
Mediciones y resultados del experimento 4a: variación directa, sujetos 1 y 2.



Resultados experimento 4a:
Variación directa

FIGURA 9b.

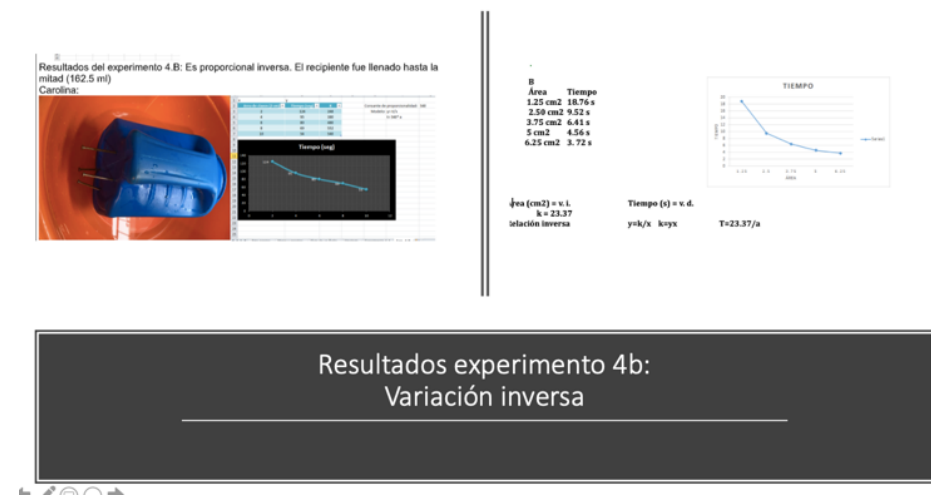
Mediciones y resultados del experimento 4a: variación directa, sujetos 3 y 4.



Resultados experimento 4b:
Variación inversa

FIGURA 9c.

Mediciones y resultados del experimento 4b: variación directa, sujetos 1 y 2.



Resultados experimento 4b:
Variación inversa

FIGURA 9d.

Mediciones y resultados del experimento 4b: variación directa, sujetos 3 y 4.

En la siguiente serie de tablas se muestran los modelos desarrollados con base en las mediciones obtenidas con los dos experimentos “vivenciales”.

Resultados reportados para experimento 4a: “Variación directa”

- Variable independiente (x): nivel o altura del líquido (m)
- Variable dependiente (y): volumen del líquido (ml)
- Tipo de relación funcional: directamente proporcional Modelo general de la función: $y=kx$

Sujeto	Modelo desarrollado
1	$y=0.015x$
2	$y=0.050x$
3	$y=0.010x$
4	$y=0.013x$

TABLA 2a.

Modelo funcional desarrollado para explicar la relación entre la altura y el volumen de agua en un recipiente.

Resultados reportados para experimento 4b: “Variación inversa”

- Variable independiente (x): tiempo de vaciado (s)
- Variable dependiente (y): área de salida (cm²)
- Tipo de relación funcional: inversa Modelo general de la función: $y=k/x$

Sujeto	Modelo desarrollado
1	$y=540/x$
2	$y=334/x$
3	$y=23.37/x$
4	$y=84/x$

TABLA 2b.

Modelo funcional desarrollado para explicar la relación entre el tiempo de vaciado y el área de salida de un recipiente.

Resultados del examen. Los casos planteados a los estudiantes fueron los siguientes:

- Sea d la posición de un móvil que se mueve a velocidad constante y t el valor del tiempo transcurrido de su movimiento. A continuación se observan los valores de t y de d obtenidos en un experimento.

t (s)	0	10	20	30	40	50
d (m)	40	540	1040	1540	2040	2540

Con base en la información anterior, responde las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es la variable dependiente y cuál es la variable independiente? Anota la expresión matemática que expresa dicha relación de causalidad. Explicala posteriormente de manera breve. (1 punto)
- ¿Cuál es la relación entre las variables de este sistema (DIRECTAMENTE PROPORCIONAL, LINEAL, NO LINEAL, INVERSA...)? Explica porqué. (2 puntos)
- Realiza una gráfica donde se visualice la relación entre las variables. (2 puntos)
- ¿Cuál es el valor de la constante K en esta situación física? (4 puntos)
- Anota el modelo mediante el cual puedes determinar con precisión la relación entre d y t . (5 puntos)

Con base en tu modelo resuelve los siguientes problemas:

- ¿Cuál será el valor de d cuando $t=38$ s? (3 puntos)
- Y, ¿cuál será el valor de t cuando $d=1800$ m? (3 puntos)



FIGURA 10a. Planteamiento caso 1.

- Un ingeniero de iluminación toma datos para preparar las luces de un espectáculo. Sea I la cantidad de iluminación en candelas y d^2 la distancia (al cuadrado) entre los reflectores y el escenario que se debe iluminar. Los datos que apuntó fueron:

I (candelas)	50.00	12.50	3.13	1.39	0.78	0.50
d^2 (m ²)	1.00	4.00	16.00	36.00	64.00	100.00

Con base en la información anterior, responde las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es la variable dependiente y cuál es la variable independiente? Anota la expresión matemática que expresa dicha relación de causalidad. Explicala posteriormente de manera breve. (1 punto)
- ¿Cuál es la relación entre las variables de este sistema (DIRECTAMENTE PROPORCIONAL, LINEAL, NO LINEAL, INVERSA...)? Explica porqué. (2 puntos)
- Realiza una gráfica donde se visualice la relación entre las variables. (2 puntos)
- Encuentra el valor de K (4 puntos)
- Anota el modelo mediante el cual puedes determinar con precisión la relación entre I y d . (5 puntos)

Con base en tu modelo resuelve los siguientes problemas:

- ¿Cuál será la cantidad de iluminación cuando $d^2=20.25$ m²? (3 puntos)
- Y, ¿cuál será el valor de d^2 cuando $I=2$ candelas? (3 puntos)

FIGURA 10b. Planteamiento caso 2.

- En un laboratorio de pruebas se desea conocer la cantidad de corriente eléctrica que puede transportar cierto material de cableado. Se hacen pruebas para diferentes resistencias (R) de material y los resultados se muestran en la tabla de datos.

$R(\Omega)$	I (Amperes)
5	19.98
10	9.92
15	6.71
20	4.98
25	3.97
30	3.36
35	2.86
40	2.51
45	2.22
50	1.99
55	1.82
60	1.66

Con base en la información anterior, responde las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es la variable dependiente y cuál es la variable independiente? Anota la expresión matemática que expresa dicha relación de causalidad. Explícala posteriormente de manera breve. (1 punto)
- ¿Cuál es la relación entre las variables de este sistema (DIRECTAMENTE PROPORCIONAL, LINEAL, NO LINEAL, INVERSA...)? Explica porqué. (2 puntos)
- Realiza una gráfica donde se visualice la relación entre las variables. (2 puntos)
- Encuentra el valor de K (4 puntos)
- Anota el modelo mediante el cual puedes determinar con precisión la relación entre R e I . (5 puntos)

Con base en tu modelo resuelve los siguientes problemas:

FIGURA 10c. Planteamiento caso 3.

- Se incrementa la temperatura de cierto material colocado en un matraz de vidrio y se efectúan lecturas para ver cómo se modifica el volumen del material. Los datos son: . /

T ($^{\circ}\text{C}$)	V (ml)
20	24.87
30	49.78
40	74.86
50	99.87
60	124.87
70	149.25
80	174.93
90	199.92
100	224.89

Con base en la información anterior, responde las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es la variable dependiente y cuál es la variable independiente? Anota la expresión matemática que expresa dicha relación de causalidad. Explícala posteriormente de manera breve. (1 punto)
- ¿Cuál es la relación entre las variables de este sistema (DIRECTAMENTE PROPORCIONAL, LINEAL, NO LINEAL, INVERSA...)? Explica porqué. (2 puntos)
- Realiza una gráfica donde se visualice la relación entre las variables. (2 puntos)
- Encuentra el valor de K (4 puntos)
- Anota el modelo mediante el cual puedes determinar con precisión la relación entre T y V . (5 puntos)

Con base en tu modelo resuelve los siguientes problemas:

- ¿Cuál será la temperatura cuando el volumen alcance 230 ml? (3 puntos)
- Y, ¿cuál será el volumen cuando la temperatura sea de 63°C ? (3 puntos)

FIGURA 10d. Planteamiento caso 4.

Las respuestas desarrolladas por los estudiantes fueron:

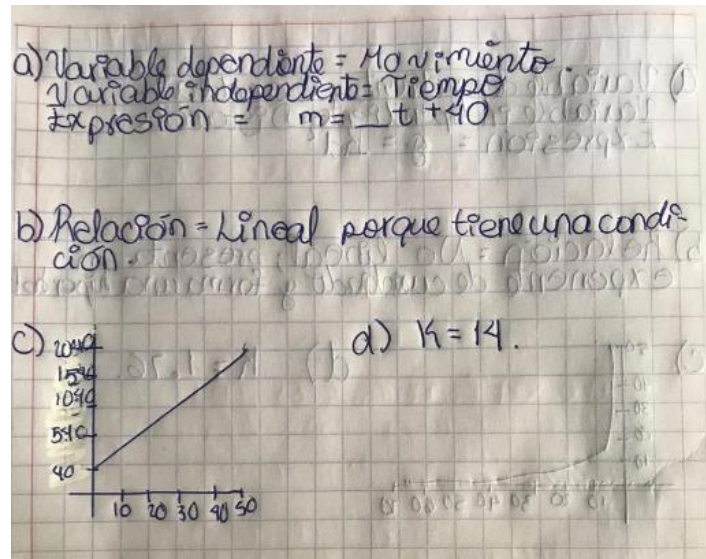


FIGURA 11a. Resultados presentados caso 1.

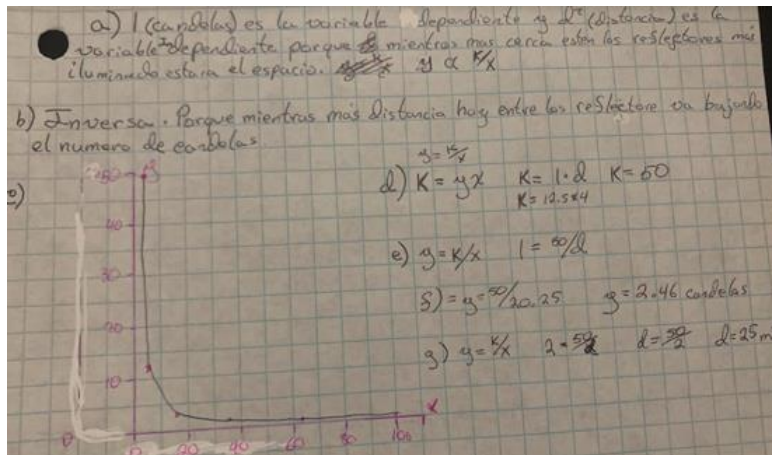


FIGURA 11b. Resultados presentados caso 2.



FIGURA 11c. Resultados presentados caso 3.

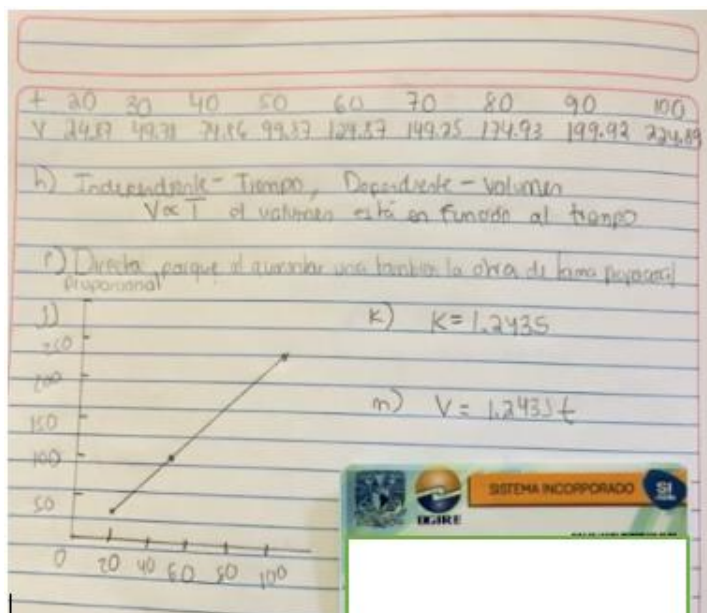


FIGURA 11d. Resultados presentados caso 4.

Los resultados alcanzados por los estudiantes en la evaluación fueron de satisfactorios en tres de las cuatro situaciones presentadas (caso 2, caso 3 y caso 4): identificaron la variable independiente y la variable dependiente. Al preguntarles a los estudiantes de qué forma les era más sencillo identificar la naturaleza y tipo de relación funcionales de las variables, hubo consenso que al analizar la relación de forma bilateral y compararla con sus experiencias previas, facilitó la comprensión de la naturaleza de las variables; por ejemplo, uno de los estudiantes manejó su argumento de la siguiente forma: “Yo lo que hago es preguntarme si la presión absoluta depende de la profundidad del agua o la profundidad del agua depende de la presión absoluta y, entonces me acordé que, al ir a la alberca, mientras más hondo me sumerjo, más me duelen los oídos”. Otro dijo: “Un resorte se estira más si lo jalas más fuerte; entonces la variable que manda es la fuerza”. En relación al tercer experimento, el comentario fue: “Si tapas la salida de la manguera con el dedo, el agua sale con más fuerza y pues yo creo que eso se relaciona con la velocidad”.

En relación al papel de la gráfica en el proceso, el comentario fue que resultó más sencillo construir la gráfica en la hoja de cálculo y ya con conocimiento de la naturaleza de la relación, la forma de la gráfica “expresa” la tendencia. Uno de los estudiantes, lo expresó de la siguiente manera: “Al ver la gráfica, ya te das una idea de cómo cambian las variables y así te queda más claro todo”.

Respecto a la construcción del modelo matemático la forma para establecer la relación funcional y, con base en el modelo general de la función, determinar el valor de la constante. Cuando se les pregunto cómo era posible tener confianza en los resultados obtenidos, dos de ellos explicaron que, si los resultados de la constante eran muy similares para cada variación medida, se podía interpretar como un “buen resultado”, lo cual genera un acercamiento al concepto de error de medición y precisión de los datos. En el caso 1, el estudiante con menor desempeño fue capaz de identificar la variable dependiente e independiente, la relación funcional e incluso presentar un avance en el desarrollo del modelo, pero no concretó el cálculo de la constante y, por lo tanto, no pudo obtener las predicciones solicitadas con base en el modelo.

La comparación de las cuatro evidencias de aprendizaje a) cuestionario de introducción; b) reporte de avance en hoja de cálculo; c) informe de práctica en archivo de word y d) examen del tema aplicado en formato de Google Forms, permitió valorar el progreso de los estudiantes en relación a su comprensión y aplicación del tema.

D. Discusión. Se apreció una evolución favorable a diferentes niveles en el desempeño de los sujetos bajo estudio, a partir de la aplicación del cuestionario de aplicación y hasta la aplicación del examen de la unidad. Inicialmente, se aprecian ciertas lagunas de conocimiento en relación a las variaciones no lineales (confusión en el tema y entre lo que es un coeficiente y un exponente). También se confunde el comportamiento de las variaciones inversas con las variaciones lineales con pendiente negativa.

El trabajo experimental con los recursos digitales utilizados: simuladores, video y hojas de cálculo para la representación numérica y gráfica de los valores contribuyeron al logro de los objetivos de aprendizaje solicitado en el programa de estudios en el contexto de trabajo escolarizado en línea que priva en estos tiempos. Los estudiantes fueron capaces de interactuar con los simuladores y posteriormente interactuar con objetos reales y obtener resultados satisfactorios. De igual manera, el uso de los simuladores y de video facilitó el trabajo de modelado de pensamiento, ya que los estudiantes pudieron revisar todas las veces que fue necesario las instrucciones, en caso de dudas en algún punto, además de recurrir de forma directa con la profesora-investigadora. De igual modo, el análisis de datos para poder desarrollar los procesos de cognición necesarios para completar la tarea, se vió facilitado por el manejo de las diferentes representaciones semióticas (imágenes, simbología matemática, tablas, gráficas) de manera casi simultánea. Así lo señalan los comentarios de los estudiantes:

- *“Se me hizo mejor trabajar en Excel la tabla con los valores y hacer la gráfica porque te trdas menos y puedes ver rápidamente la forma de que toma la función”.*
- *“Me ayudó trabajar en Excel porque ya lo sabía usar y tabajas más rápido lo que te pueden hacer. Se tarda mucho en hacer las gráficas a mano”.*
- *“Fue más fácil trabajar con el PhET con la explicación del video. Nosotros la revisamos varias veces y así ya no batallamos para presentar los avances y hacer los experimentos extra para el informe”.*
- *“Me gusta más trabajar presencial, pero está bien que podamos hacer esto: igual hacemos mediciones y obtenemos resultados”.*

Inicialmente, los fenómenos donde se presentan variaciones no lineales y variaciones inversas presentaron mayor dificultad para los estudiantes. Durante el progreso de la intervención se apreció un mejor manejo de las variaciones inversas, como lo constatan los resultados del examen.

Los tres simuladores funcionaron como verdaderos ‘laboratorios de pensamiento’, puesto que se apreció un mayor interés en los estudiantes por desarrollar las actividades y además los estudiantes manifestaron un avance en las habilidades del manejo de las variaciones entre las magnitudes de un fenómeno, lo que sin duda es una habilidad de gran valor para el aprendizaje de la Física y otras ciencias.

IV. CONCLUSIONES

El pensamiento tiene un importante componente de conocimiento constituido por información acerca de su naturaleza y de los procesos que conducen a su construcción (Pozo y Monereo, 2001; Sánchez, 2002). Aprender Física incluye, además de conocer fuentes confiables de datos sobre en este campo de conocimiento, heurísticas especiales para manejar los datos del dominio de interés, así como estrategias útiles para organizar y darle sentido a la información analizada.

El aprendizaje de la Física involucra el uso consciente de los procesos de pensamiento que constituyen elementos básicos para construir, organizar y usar los conocimientos. Su ejercitación deliberada, sistemática, voluntaria, gradual, y controlada, dan lugar al desarrollo de las habilidades de pensamiento crítico de los estudiantes, para que éstos puedan adquirir conocimientos y transferirlos a nuevos ámbitos, generar productos y/o establecer generalizaciones: todo lo

anterior constituye, en esencia, la forma de trabajo de los científicos y es, en esencia, la heurística de trabajo que se propone en este artículo para introducir a los estudiantes al estudio de esta ciencia.

La formación de imágenes o representaciones mentales a través de diferentes recursos semióticos como los que se han abordado (lenguaje simbólico, numérico y gráfico), a través de una mediación pedagógica debidamente planificada y estructurada, es capaz de facilitar la activación mental del pensamiento de los estudiantes de forma consciente, intencional, sistemática y gradual, aún cuando éstos se encuentren en diferentes niveles de desarrollo de su pensamiento abstracto. El modelado del pensamiento implica, de manera muy particular, que el docente preste atención específica a la manera cómo los estudiantes procesan la información y los haga conscientes de ello, a fin de fomentar las prácticas que lo estimulen de forma positiva y ponga a prueba ideas que pueden conducir al error. Así entonces, el profesor no solo medio entre el estudiante y el conocimiento, sino entre éste, el conocimiento y el proceso de aprendizaje en sí, desarrollando un proceso riguroso de control y seguimiento de los logros alcanzados y de las limitaciones detectadas para, progresivamente, lograr la formación de las imágenes y de los hábitos deseados, incluyendo todos los niveles de comprensión, abstracción y generalización.

Toda esta metodología genera la necesidad de diversificar los recursos pedagógicos en la enseñanza de la Física, promoviendo un uso extensivo de herramientas multimedia. El uso de simulaciones por computadora es, sin duda, un excelente complemento para la enseñanza de la Física y otras ciencias, puesto que acercan a los estudiantes a oportunidades de aprendizaje que, de otro modo, no podrían ser implementadas por su costo, riesgo o tiempo de aplicación (Fiolhais y Trindade, 2003; Sokoloff y Thorton, 1997). Sin embargo, es importante señalar que, aunque el balance de la utilización de estas herramientas en la educación en Ciencias es claramente positivo, su uso por sí mismo no garantiza el éxito en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Sobre la base de los resultados obtenidos, el uso de simulaciones por computadora, así como de otros recursos semióticos facilitados por la tecnología computacional como hojas de cálculo, es altamente recomendable para la introducción al aprendizaje de la Física a nivel preparatoria, puesto que sirve como un andamiaje entre el pensamiento concreto y abstracto en el que se ubican los estudiantes en este nivel de estudios en función de su edad cronológica, ya que: a) facilita el proceso de traducción mental entre el lenguaje matemático simbólico y la representación gráfica de un fenómeno, b) mejora la comprensión de la naturaleza de éste, c) permite introducir la naturaleza predictiva de los modelos físicos como uno de los grandes beneficios del aprendizaje de las ciencias, d) promueve una disposición favorable para el aprendizaje al utilizar variados y atractivos recursos digitales y d) el tiempo de enseñanza se hace más eficiente a través del manejo eficaz de las herramientas computacionales.

Es importante reconocer que tanto la naturaleza de esta investigación limita la generalización de los resultados, como poner de manifiesto que existen muchas vertientes que explorar en el campo de la modelización de la Física, el manejo de los recursos semióticos que la tecnología va desarrollando y el aprendizaje de las Ciencias en las nuevas generaciones de estudiantes; sin embargo, se espera que estudios como los que se exponen en este artículo, generen un referente positivo para continuar profundizando en este campo de trabajo de la enseñanza de la Física.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al proyecto PhET de la Universidad de Colorado por el libre acceso que ofrece a profesores e investigadores educativos a sus recursos para el aprendizaje de la Física, así como al banco de reactivos para la conformación de, así como al Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada Unidad Legaria del Instituto Politécnico Nacional, por su promoción a la investigación de la enseñanza de la Física.

REFERENCIAS

- Alvarenga B. y Máximo A. (2007). *Física general con experimentos sencillos* (4ª. Edición; 1998); México; Editorial Oxford.
- Acevedo-Díaz, J. A., García-Carmona, A., Aragón-Méndez, M. D. M., & Oliva-Martínez, J. M. (2017). *Modelos científicos: significado y papel en la práctica científica*. Revista científica, (30), 155-166.
- Amadeu, R., y Leal, J. P. (2013). *Ventajas del uso de simulaciones por ordenador en el aprendizaje de la Física*. Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas. 177-188.
- Boulder, U. O. (2015). PhET. Obtenido de la red en PhET: <http://phet.colorado.edu/>
- Chamizo, J. A. (2010). *Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias*. Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias, 26-41.
- Eggen, P. D., Kauchak, D. P., y Eggen, K. P. (2009). Estrategias docentes: enseñanza de contenidos curriculares y desarrollo de habilidades de pensamiento. Fondo de cultura económica.
- Friel, S. N., Curcio, F. R., & Bright, G. W. (2001). *Making sense of graphs: Critical factors influencing comprehension and instructional implications*. Journal for Research in mathematics Education, **32**(2), 124-158
- Lienhardt, G., Zaslavsky, O., y Stein, M. K. (1990). *Functions, graphs, and graphing: Tasks, learning, and teaching*. Review of Educational Research, **60**(1), 1-64.
- Mora, C. (2019). *La semiótica en la enseñanza de la Física*. REAMEC-Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática, **7**(3), 126-134.
- Oliva Martínez, J. M. (2019). *Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias*.
- Perkins, K., Adams, W., Dubson, M., Finkelstein, N., Reid, S., Wieman, C., & LeMaster, R. (2006). *PhET: Interactive simulations for teaching and learning physics*. The physics teacher, **44**(1), 18-23.
- Plan de estudios del CCH*. Portal de la Dirección General de Incorporación y Revalidación de Estudios del Colegio de Ciencias y Humanidades, disponible en https://www.dgire.unam.mx/contenido_wp/planes-de-estudio-y-programas-operativos/plan-y-programas-indicativos-colegio-de-ciencias-y-humanidades/, consultado el 3 de enero del 2020.
- Pozo, J. I., y Monereo, C. (2001). *El aprendizaje estratégico*. Docencia universitaria, **2**(2), 105-109.
- Sánchez, M. (2002). *La investigación sobre el desarrollo y la enseñanza de las habilidades de pensamiento*. Revista Electrónica de Investigación Educativa, **4**(1). Consultado el día de mes de año en el World Wide Web: <http://redie.ens.uabc.mx/vol4no1/contenido-amestoy.htm>
- Sokoloff, D. y R. Thornton, *Using interactive lecture demonstrations to create an active learning environment*; Physics Teacher, **35**, 340–346 (1997).
- Stake, R. (2013). *Estudios de casos cualitativos*. Las estrategias de investigación cualitativa. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Investigacion-con-estudios-de-caso.pdf.