



Guillermina Ávila García
Liliana Suárez Téllez

2021

La modelación con tecnología en la enseñanza de la Física en el nivel medio superior

En A. Y. Soto Lazcano y L. Suárez Téllez (coords.). *Repensar las didácticas específicas. Una aportación multidisciplinaria a la enseñanza especializada* (pp. 57-76). Chihuahua, México: Red de Investigadores Educativos Chihuahua.



Esta obra está bajo licencia internacional
Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0.
CC BY-NC 4.0

La modelación con tecnología en la enseñanza de la Física en el nivel medio superior

GUILLERMINA ÁVILA GARCÍA

Instituto Politécnico Nacional – CECYT 11 (México)

LILIANA SUÁREZ TÉLLEZ

Instituto Politécnico Nacional – DFIE (México)

Resumen

El tratamiento didáctico de la modelación matemática con tecnología abre una área de oportunidad para innovar en las clases de Física del nivel medio superior. El objetivo de este capítulo es analizar el potencial de introducir la modelación-graficación, como proponen Pantoja, Ulloa y Nesterova (2013) y Molina-Toro, Villa-Ochoa y Suárez (2018), desde un entorno cotidiano (Villa-Ochoa, Bustamante, Berrio, Osorio y Ocampo, 2009), discutiendo el papel de la tecnología en la enseñanza de la Física. La investigación incluye el diseño de tres situaciones de aprendizaje con el uso de Tracker, que genera gráficas cartesianas de movimientos grabados en formato de video de movimientos en el plano. Con el marco de niveles de comprensión de Biggs (2010) se observa una evolución hacia una comprensión profunda en los estudiantes. Este estudio contribuye a la discusión de las relaciones que existen entre las didácticas de la Matemática y la Física, en este caso conjuntando las representaciones gráficas y la tecnología.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este capítulo es evidenciar la modelación matemática, donde se permite visualizar y comprender fenómenos físicos estudiados en el área de la Física definida como ciencia experimental.

La Física se define como la ciencia que trata del comportamiento y la comprensión de la materia y de sus interacciones en el nivel más fundamental (Gutiérrez, 2009), una de las ramas de estudio es la mecánica clásica, entre lo que se puede estudiar el movimiento.

En palabras de Serway, Jewett, Hernández y López (2002), a partir de la experiencia cotidiana es claro que el movimiento de un objeto representa un cambio continuo en la posición del mismo; para el estudio del movimiento se usa el modelo de partícula y el objeto en movimiento se describe como una partícula sin importar el tamaño. Es importante resaltar el uso de los modelos en la Física, partiendo de la construcción que tome en cuenta todos los aspectos y fenómenos detectados.

La importancia de usar modelos reside en la utilización por parte de la ciencia de todo tipo para representar fenómenos de muy distinta naturaleza, en un intento por descubrir y comprender desde un punto de vista racional las regularidades con las que se nos presenta el mundo. De acuerdo con Vélez (2006), los modelos son hoy en día una herramienta fundamental de análisis, descripción y predicción de que la ciencia dispone para llevar a cabo la sistematización, control y comprensión de los aspectos más relevantes de la realidad física y social.

El estudio de los problemas del mundo real ha sido fuente de inspiración para que muchos matemáticos construyan nuevas teorías y modelos que expliquen y solucionen problemas de un fragmento de esa realidad. Adicionalmente, algunos investigadores en educación matemática destinan parte de sus esfuerzos hacia el estudio de dicha realidad, sus vínculos con el conocimiento matemático y su aprovechamiento como recurso en la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas. Algunos otros investigadores sugieren que parte de los resultados en este campo de investigación formen parte del llamado *conocimiento del profesor* de Matemáticas (Doerr, 2007, citado en Villa-Ochoa *et al.*, 2009).

La inclusión de la modelación como un proceso en la clase de Matemáticas y la formación de los profesores constituye una necesidad para incorporar y generar un mayor número de investigaciones en la modelación de las matemáticas, y una forma de llevarlo a cabo es a través de las sesiones del Seminario Repensar las Matemáticas (SRM), que a partir de los referentes de investigadores expertos en el área y a través del diálogo logra conjuntar ideas que posteriormente se llevan a la práctica docente en las aulas, que es el principal objetivo de estos seminarios.

Este trabajo enfatiza la experiencia de aprendizaje de profesores en activo y a través de la modelación matemática integra el estudio de fenómenos físicos en la enseñanza de la física, considerando a éste el objeto de estudio, las herramientas ma-

temáticas y tecnológicas que pretende utilizar para resolver el problema presentado. Abordamos la propuesta de un caso particular de Física I, con el tema de Cinemática, en la primicia de la modelación matemática para el estudio de los movimientos en el plano.

PROBLEMATIZACIÓN DE LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA CON TECNOLOGÍA

En el Instituto Politécnico Nacional hay una reflexión de profesores de bachillerato sobre que, para ejercer la docencia, su formación profesional debe complementarse para adquirir las competencias para organizar el aprendizaje de sus estudiantes y cumplir con los ambiciosos objetivos de aprendizaje que establecen los planes y programas de estudio en las instituciones de educación superior. La oferta de formación de un profesor en ejercicio es variada y flexible, pueden ser cursos o talleres con propósito específicos, estudios de posgrado en educación cuyas trayectorias incluyen la formación en investigación educativa y la participación en redes y proyectos.

Como producto de su paso por esta maestría una de las autoras realizó un estudio sobre el aprendizaje profundo que se puede generar en los alumnos de Física aplicando tecnologías de la información y comunicación (Ávila, 2017), que es uno de los antecedentes del trabajo que presentamos en este capítulo.

La comprensión de los conceptos de la Física requiere de un manejo adecuado de distintos registros y representaciones donde entran en juego procesos analíticos, verbales, pictóricos y de construcción gráfica. Asimismo, una mayor comprensión y un mejor manejo de las matemáticas y de las representaciones conceptuales y gráficas es fundamental si se requiere lograr una comprensión de los conceptos de la Física de la forma en la que se propone en los criterios.

Proponer la modelación usando la herramienta Tracker para el tema de Cinemática implica el estudio de movimientos en el plano, y el aprendizaje significativo en los alumnos de nivel medio superior fue el punto de partida para introducirla en la temática de la modelación. El tema está dentro del plan y programa de estudios del CECyT 11, donde la problemática reside en relacionar la teoría, la experimentación y la tecnología para un aprendizaje significativo en los alumnos de nivel medio superior, utilizando la modelación de fenómenos físicos.

FUNDAMENTACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA DIDÁCTICA ESPECÍFICA

En este apartado hablaremos de la didáctica específica orientada hacia las disciplinas, particularmente de la didáctica de la Matemática y de la Física. La didáctica específica, por ejemplo, en la enseñanza de una disciplina particular, permite identificar problemas que se revelan muy esclarecedores en la enseñanza de otras disciplinas.

Esta experiencia sirvió como rasgo general de la modelación de problemas de aprendizaje en la enseñanza de la Física, tomando en cuenta la implementación detallada de la secuencia didáctica.

El espacio de construcción de la didáctica de la Física es multifacético y se sostiene como el *cruce* (punto de encuentro) y como *punto* (vínculo) entre diferentes campos epistemológicos. Se distinguen varios cruces-puentes en el caso de la formación docente del profesorado (Klein, 2012, p. 21):

- Interacción física-educación: ambas ciencias aportan elementos teóricos y metodológicos para comprender la realidad. En el caso de la didáctica de la Física esto supone conflictos ya que los sustentos, normalidad, formas de análisis y justificación son muchas veces antagónicos, correspondiendo cada uno de ellos a prototipos de ciencias naturales y humanas.
- Interacción teoría-práctica: es otra dimensión para considerar. Durante mucho tiempo se consideró a la didáctica como una actividad relacionada casi exclusivamente a la práctica, de allí el peso relativo en la formación del futuro profesor. Las investigaciones demuestran que la Didáctica de la Física (DF) no puede desconocer la teoría, como es el caso de las micro-concepciones, resolución de problemas y efectos de los contextos de aprendizaje.
- Interacción enseñanza-investigación: la enseñanza parece la función específica de cualquier didáctica, y más ubicada dentro de una institución formada por docentes. Cómo educar, quién educa, qué enseña y a quién educar parecen dudas y búsquedas constantes de esta disciplina. La visión de un conocimiento en continua construcción sustentado en una actitud crítica y transformadora supone la necesidad de la investigación, recibiendo aportes de otras ramas del conocimiento, pero también investigación propia.

Este conjunto de interacciones permite distintas “enseñanzas de la Física”, y por lo tanto distintas didácticas de la Física, considerando un plan flexible y con ello el autoanálisis crítico del docente, así como su formación y actualización permanente que derivan en una enseñanza sin rupturas.

La modelación sólo es considerada como una actividad que le da un sentido de aplicación a los conocimientos adquiridos en los distintos cursos de Matemáticas, enfatizando en “aplicaciones reales”, es decir, un acercamiento a la “realidad” y la “matemática”, y se usan estrategias de enseñanza, por sola introducción de una tecnología para modelar, determinan ciertos ambientes tecnológicos (Suárez, 2014). Y ese sentido de la realidad, más que una componente racional del conocimiento del profesor es una componente subjetiva que metafóricamente actúa como un lente con el cual los profesores observan la realidad objetiva y promueve una (re)significación de tal realidad a través de un proceso de modelación matemática (Villa-Ochoa *et al.*, 2009).

REPORTE DE LA EXPERIENCIA DEL USO DE TRACKER PARA INNOVAR LA CLASE DE FÍSICA

El CECyT 11 cuenta con el área ciencias Físico-Matemáticas. El trabajo se llevó a cabo con un grupo de 15 alumnos de 16 y 17 años que cursan el tercer semestre, primer

curso de Física de su educación de bachillerato, en la especialidad de Construcción, en el turno vespertino.

Se consideró el plan y programa de estudios 2008 del IPN para la propuesta educativa:

- Competencia General: resuelve problemas de Estática y Cinemática basándose en leyes y principios de la Física, estableciendo una interrelación entre su entorno, ciencia y tecnología.
- Competencia Particular 4: demuestra el movimiento de los cuerpos aplicando los principios de la cinemática, en situaciones académicas y su entorno social.
- Resultado de Aprendizaje Propuesto 2: soluciona problemas de movimiento en dos dimensiones en situaciones académicas y su entorno social.

El tema que se incluye en la propuesta educativa es Cinemática, y se muestra en el siguiente formato de planeación.

En la tabla 1 se muestra el programa de Física I, que tiene una tendencia con enfoque superficial.

Tabla 1. Extracto de la unidad IV del Programa de Física I.

Programa de Física I			
Enfoque Superficial			
Unidad IV: Cinemática			
<i>Competencia particular:</i> Demuestra el movimiento de los cuerpos aplicando los principios de la cinemática, en situaciones académicas y sociales.			
<i>Resultado de Aprendizaje Propuesto (RAP) No 2.</i> Resuelve problemas de movimiento dos dimensiones, en situaciones académicas y su entorno social.			
Contenido de aprendizaje	Actividades sustantivas		Ambiente de aprendizaje
	De aprendizaje	De enseñanza	
Conceptual • Movimiento en un plano. a. Movimiento parabólico (MP) b. Movimiento Circular Uniformemente Variado (MCUV) c. Movimiento Armónico Simple (MAS)	• Conceptualiza y representa el movimiento en dos dimensiones • Identifica elementos que le permitan resolver	• Induce al concepto y características del movimiento en dos dimensiones • Ejemplifica las gráficas características de los diferentes movimientos en dos dimensiones • Ejemplifica el procedimiento para calcular las variables del movimiento en dos dimensiones.	* Aula * Laboratorio * Patio escolar
Procedimental • Movimiento en una dimensión: a. Movimiento Rectilíneo Uniforme (MRU) b. Movimiento Rectilíneo Uniformemente Variado (MRUV) horizontal y vertical	• Resuelve problemas de movimiento parabólico (MP), movimiento circular uniformemente variado (MCUV) y movimiento armónico simple (MAS)	Plantea problemas de movimiento en dos dimensiones en situaciones académicas y en su entorno	
Prácticas de laboratorio • Caída libre • Tiro vertical • Tiro parabólico • MCU • MCV			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Adecuación de la planeación (2008), con el plan de acción a implementar para un enfoque profundo.

Aprendizaje profundo	Programa de Física I – Plan de acción				
	Enfoque Profundo				
	Unidad IV: Cinemática				
	<i>Objetivo curricular.</i> Reflexionar y demostrar los tipos de movimiento que existen, situando problemas clave y relacionándolos con el entorno cotidiano, considerando la importancia de la modelación de estos movimientos con el uso de software Tracker para la realización de un análisis profundo.				
Alineación de objetivos curriculares, actividades de enseñanza y aprendizaje y tareas de evaluación	Actividades			Evaluación	Ambiente de aprendizaje
	De enseñanza	De aprendizaje	Con TIC		
<p>Nivel</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Conocimiento declarativo</i>, los alumnos saben qué tipo de movimientos son los que se estudian y la diferencia entre ellos. También hacen declarativo el conocimiento por medio de la expresión de que es movimiento con sus propias palabras y constatando con la teoría, práctica y TIC • <i>Conocimiento funcional</i>, los alumnos experimentan y comparten sus experiencias de los tipos de movimiento durante la actividad de “cohete hidráulico”, desarrollando sus destrezas en cada lanzamiento realizado y analizando el por qué sucede tanto físicamente como con el software de Tracker <p>Niveles:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Multiestructural</i>, al final de la unidad los alumnos describen los tipos de movimiento mediante la experimentación y además hace una combinación de los hechos experimentales con el uso de la tecnología • <i>Relacional</i>, durante la experimentación el alumno compara los movimientos experimentados, explica las causas de los movimientos, analiza los movimientos vistos en la experimentación por medio del software Tracker y los relaciona como parte de la conclusión • <i>Abstracto ampliado</i>, adecuado al plan y programa de estudios. Considerando los siguientes verbos: <i>reflexionar</i> y <i>demostrar</i>. Los alumnos demuestran mediante reportes que evidencian su aprendizaje alcanzado, además de contestar de manera correcta y profundizar en sus respuestas del ítem aplicado 	<ul style="list-style-type: none"> • Presentar ejemplos de los diversos tipos de movimiento y la aplicación cotidiana de los mismos. • Compartir videos tutoriales del uso del software Tracker • Ejemplificación del movimiento de un objeto por medio de gráficos, haciendo el comparativo con la solución analítica (algebraica) • Muestra en clase de cómo utilizar el software de Tracker y el gráfico • Resolución del problema propuesto • Indicaciones para llevar a cabo la actividad experimental de “Cohete Hidráulico” 	<ul style="list-style-type: none"> • Presentar ejemplos de los diversos tipos de movimiento y la aplicación cotidiana de los mismos. • Compartir videos tutoriales del uso del software Tracker • Ejemplificación del movimiento de un objeto por medio de gráficos, haciendo el comparativo con la solución analítica (algebraica) • Muestra en clase de cómo utilizar el software de Tracker y el gráfico • Resolución del problema propuesto • Indicaciones para llevar a cabo la actividad experimental de “Cohete Hidráulico” 	<ul style="list-style-type: none"> • Descarga de software Tracker para llevar a cabo el trabajo de análisis y modelación de los movimientos a estudiar • Uso de celular para grabar la experiencia del cohete hidráulico • Uso de Tracker para analizar el movimiento del cohete hidráulico • Identificación de los movimientos y trayectorias que realizó el cohete hidráulico 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación formativa: videos tutoriales para el uso del software Tracker. <p>En esta evaluación los alumnos pueden compartir puntos de vista, sugerencias de cómo utilizar las aplicaciones sugeridas, las variantes que encuentran en la información propuesta por la profesora y las fuentes a las que recurren los alumnos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluación sumativa: se consideran los porcentajes para los siguientes productos: <ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluación continua (experimento en el patio) 2. Reporte de actividad 3. Análisis de gráficos y tablas 4. Video con los análisis y conclusiones 5. Ítem aplicado 	<ul style="list-style-type: none"> • Aula • Laboratorio • Patio central de la escuela • Espacios virtuales <p><i>Evidencias</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Reporte con conclusiones • Video, tabla y gráficos con análisis de datos, en Tracker • Problemas resueltos en papel para la realización del comparativo • Reporte escrito que evidencia los aprendizajes logrados

Fuente: Recuperado de Ávila (2017).

La tabla 2 muestra la adecuación de la planeación del programa (2008) con el plan de acción que se implementa, orientado hacia un enfoque profundo.

Como se observa en la planeación didáctica, se integra el software Tracker como herramienta tecnológica, que se define como un programa libre para el análisis y modelado de videos que detectan objetos o sujetos en movimiento. El programa permite la generación de datos de posición, velocidad y aceleración, que es lo que se requiere en el estudio de la cinemática.

Con la herramienta se obtiene información partiendo de los videos que generan los estudiantes de los modelos físicos que graban; una vez que se adjunta el video en el software los usuarios pueden generar gráficos, marcos de referencia, puntos de calibración, los modelos de partícula, además de garantizar el análisis cuadro por cuadro del movimiento detectado a partir del video.

MODELACIÓN PARA SITUACIONES QUE INVOLUCRAN CINEMÁTICA

El plan y programa de estudios (2008) contempla el tema de cinemática con movimientos en el plano (movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, caída libre, tiro parabólico), que se estudia a través de gráficas, destacando las siguientes características de modelos en la educación científica, según Bailer-Jones (2009, p. 13):

- Las teorías tienden a ser más fundamentales y generales que los modelos, mientras que los modelos pueden extraerse de las teorías, y así se muestra cómo las teorías contribuyen a modelar fenómenos específicos.
- Los modelos simplifican las cosas y de ahí tratan de capturar la esencia de algo, mientras que dejan fuera detalles menos esenciales acerca del fenómeno modelado.
- La validez de los modelos puede ser limitada, lo que significa que diferentes modelos pueden cumplir funciones diferentes.
- Los modelos no sólo deben encajar con los datos empíricos disponibles, sino también deben dar lugar a predicciones y de esta manera ser contrastables.

Antes de estudiar con los alumnos el tema de Cinemática se reconoce el concepto de los movimientos en el plano.

Si hay un ejemplo de fenómeno físico que ha merecido la atención del ser humano desde la antigüedad hasta nuestros días es el del movimiento. La forma de orientarse más antigua conocida es a través de la posición que van adoptando las estrellas en la cúpula celeste a lo largo del año y de la zona desde donde se observa. La trayectoria de las partículas fundamentales en reacciones nucleares es un tema de gran actualidad, permite retrotraernos a los orígenes del universo.

Las situaciones que se abordan con ese trabajo representan una parte de la realidad de los trabajos efectuados por el científico Galileo sobre experimentos de caída libre desde la torre de Pisa, Italia.

La apariencia de un movimiento depende del lugar de la observación, en concreto de su estado de movimiento. El movimiento de los cuerpos plantea la necesidad de elegir un sistema de referencia relativo al cual se refiera la observación.

El sistema de referencia es el lugar desde donde se miden las posiciones que atraviesa un móvil a lo largo del tiempo. Otro concepto importante es la trayectoria; las preguntas iniciales para aprender el concepto de trayectoria con los alumnos son: ¿Cómo describirías el movimiento de la Luna? ¿Cómo describirías el movimiento de la Tierra? Cuando cae un objeto, ¿cómo es el movimiento? El resultado de observar un movimiento está ligado a un sistema de referencia, el que se mueva o no el sistema de referencia repercute en la forma de percibir el movimiento estudiado. Así podemos hablar con los alumnos de algo cotidiano, como la trayectoria que describe un avión que coincide con el rastro creado por la condensación de los gases que expulsa el motor, entre otros ejemplos.

La descripción de un movimiento requiere conocer el lugar donde (posición) y en qué momento se encuentra (instante), como se muestra en la figura 1.

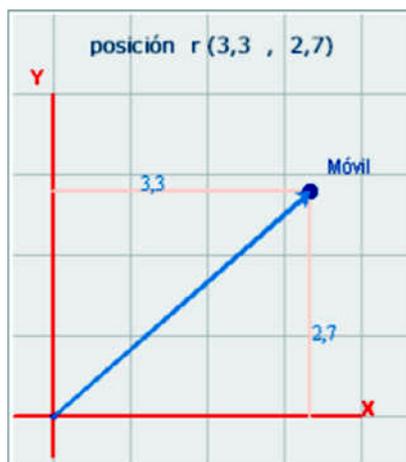


Figura 1. Posición de un móvil en un determinado tiempo t .
La representación vectorial de la posición.

Fuente: Recuperado de Materiales Didácticos Proyecto Descartes
(Muñoz, Ramírez, San Emeterio, Sevilla y Villasuso, 2009).

La representación en un plano se realiza sobre ejes coordenados xy . El observador se sitúa en el origen del sistema de referencia. En este sentido, se propuso la tarea de situar las posiciones del personaje de “Valentina” en movimiento, y los estudiantes intervienen representando en una gráfica el recorrido.

Situación 1. El problema de “Epifanía”

Valentina llegó temprano a su clase de música. A punto estaba de sentarse cuando advirtió, disgustada, que había olvidado su cuaderno en su refugio predilecto: la siempre cómoda y acogedora biblioteca. No podía perderse el comienzo de la clase, así que fue a la biblioteca, cogió su

cuaderno y regresó a su asiento, a tiempo para comenzar su, probablemente disfrutable, clase de música. Pero en el camino se encontró a su bien amado Juan y se detuvo a intercambiar algunas muestras de su muy auténtico cariño, lo que le llevó 4 minutos, pero de los largos, y la obligó a recuperar los 4 minutos tan bien aprovechados, porque cuando salió del salón no previó la Epifanía. La biblioteca está en un punto diametralmente opuesto del salón de música en el patio circular, que tiene 500 metros de diámetro, de la escuela. Valentina tardó, en total, 9 minutos. Construye una gráfica que describa los cambios de posición de Valentina en su trayecto de ida y vuelta con respecto al tiempo [IPN, 2006, p. 54].

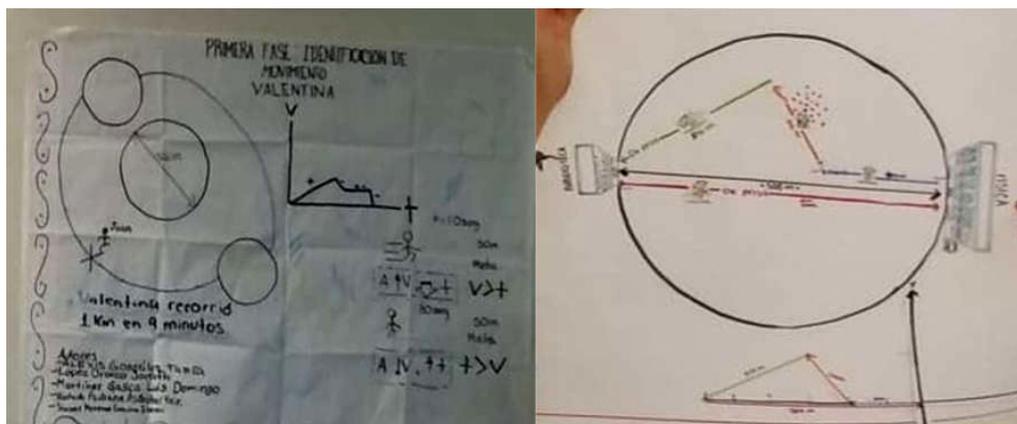


Figura 2. Recorrido de Valentina.

Fuente: Recuperado del trabajo de los estudiantes.

A partir de los datos proporcionados, dibujar una gráfica que describa todos los movimientos que realiza el personaje, identificando las variables que intervienen. Los estudiantes se agrupan por equipos y trabajan las posiciones de “Valentina”, que se muestra en la figura 2, se ilustran sólo dos trabajos que fueron diferentes ya que el resto de las gráficas presentan resultados muy semejantes.

Como puede observarse, los estudiantes identifican sin mayor problema las posiciones del personaje, y en un equipo están representando las velocidades negativas y positivas, de acuerdo con el recorrido que realiza “Valentina”.

La secuencia didáctica plantea que los estudiantes lleven a cabo una propuesta con condiciones de movimiento análogos al de “Valentina”, cumpliendo con los recorridos y posiciones de un objeto o cuerpo, además de analizar con la herramienta tecnológica Tracker, como parte de la modelación y estudio del fenómeno físico.

A continuación se muestran dos problemas que plantearon dos equipos de trabajo con situaciones distintas, a partir de la planeación implementada.

Situación 2. El problema del taxista

Un taxista va al aeropuerto a velocidad constante, sin embargo, el cliente le pide que acelere debido a que va un poco atrasado y no quiere perder su vuelo. Realiza la representación gráfica del recorrido del taxista para llegar al aeropuerto, e indica las variables que intervienen en la situación.

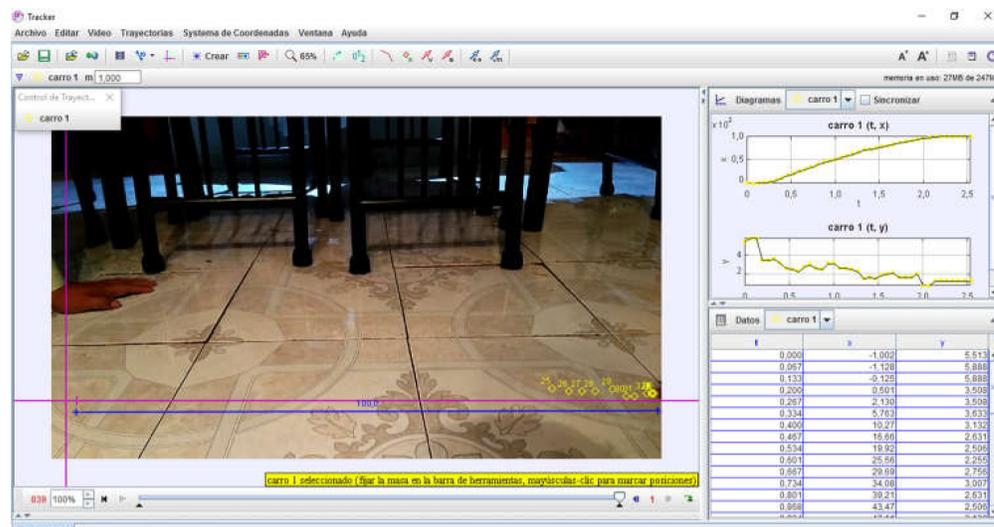


Figura 3. Uso de Tracker para analizar el recorrido del taxista.

Fuente: Recuperado del trabajo del equipo de estudiantes.

Los estudiantes llevaron a cabo la simulación de este taxi con un carrito, grabaron por medio del celular para posteriormente analizarlo con la herramienta Tracker, de donde se recupera la gráfica que se muestra en la figura 3.

Los estudiantes argumentan que la aceleración está presente debido a una ligera variación de velocidad. Del análisis con la herramienta tecnológica, los estudiantes observan un aumento de la velocidad, lo que corrobora la aceleración, y con la tabla que se genera a partir de Tracker.

Los estudiantes evidencian con ayuda de la gráfica generada con Tracker la posición-tiempo (t, x) , a medida que avanza el “taxista” se observa un tramo con velocidad constante pero después, “debido al tráfico” (argumento de los estudiantes), hay una variación de velocidad por el tráfico.

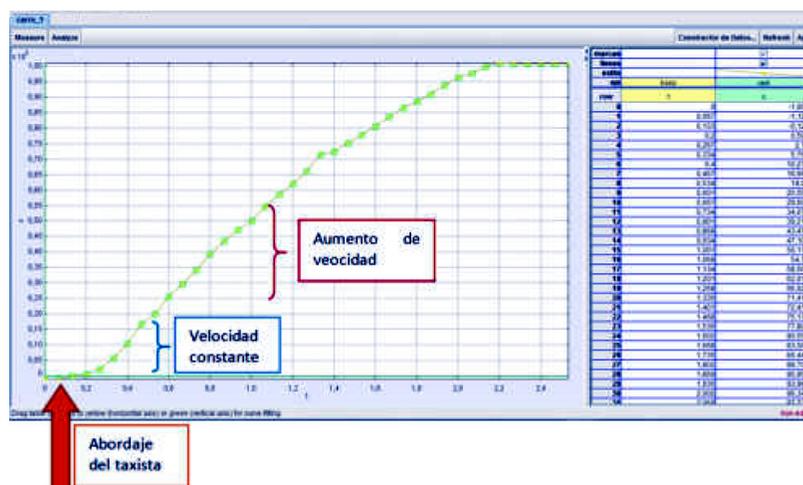


Figura 4. Explicación del movimiento realizado por el taxista con la herramienta Tracker.

Fuente: Recuperado del trabajo de los estudiantes.

MODELACIÓN PARA SITUACIONES QUE INVOLUCRAN LAS LEYES DE NEWTON

Otro de los temas que referimos en este trabajo y que se ha llevado a cabo con los estudiantes es sobre las leyes de Newton.

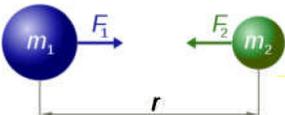
A modo de introducción para el siguiente problema de modelación que realizaron los estudiantes, se describe el plano inclinado, cuyas contribuciones están basadas en la experimentación del plano inclinado de Galileo Galilei, y en consecuencia los conceptos de aceleración, velocidad y tiempo.

La gravedad es un fenómeno físico que podemos notar cuando lanzamos una moneda, cuando lanzamos un balón o cualquier otro objeto, a los objetos se les ejerce una fuerza de atracción al suelo, llamada *gravitatoria*. La gravedad es una de las cuatro fuerzas de la naturaleza junto con el electromagnetismo, la fuerza nuclear débil y la fuerza nuclear fuerte; la gravedad es una fuerza de atracción que actúa entre todos los objetos físicos con materia (masa) o energía. El desarrollo moderno de la Teoría Gravitacional comenzó a finales del siglo XVI y principios del siglo XVII con el trabajo de Galileo Galilei, con su famoso experimento en la Torre de Pisa al dejar caer bolas y poco después con cuidadosas mediciones de las bolas rodando en un plano inclinado. Galileo mostró que la gravedad acelera todos los objetos a la misma velocidad y a su vez postuló que “la resistencia del aire es la razón por la cual los objetos ligeros pueden caer despacio en la atmósfera” (Cruz, Nosnik y Recillas, 2002). Este trabajo sentó las bases para la formulación de la teoría de la gravitación de Newton y en consecuencia la segunda Ley de Newton, que explica que la aceleración que sufre un cuerpo es proporcional a la fuerza ejercida sobre él, estando ambas relacionadas por una constante de proporcionalidad que es precisamente la masa de dicho objeto, donde:

$$F = mg$$

Y a su vez, introduciéndola en la ley de la Gravitación Universal, se obtiene que la aceleración que sufre un cuerpo debido a la fuerza de la gravedad ejercida por otro de masa

M es igual a: $g = G \frac{M}{r^2}$



Donde g es la aceleración sufrida, dicha aceleración es independiente de la masa que posee el objeto. Por ello, si se tienen dos cuerpos de diferente masa a la misma distancia de la Tierra, la aceleración que produce ésta sobre ambos es exactamente la misma.

Ecuaciones en un plano inclinado

Para la realización de problemas que refieren el uso de las Leyes de Newton, se considera el plano inclinado y las estrategias de solución son mediante un diagrama

de cuerpo libre que permita la observación de todas las fuerzas que intervienen en un sistema.

De acuerdo con el diagrama de cuerpo libre se obtienen las siguientes ecuaciones para el cálculo de la aceleración de la gravedad, como se muestra en la figura 5.

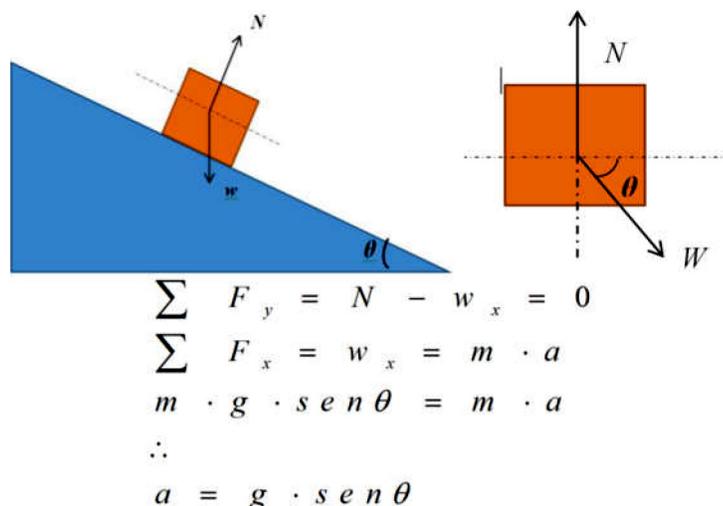


Figura 5. Diagrama de Cuerpo Libre (DCL), donde la normal y el peso forman un ángulo, el cual coincide con el ángulo del plano inclinado y las ecuaciones para el cálculo de la aceleración de la gravedad.

Fuente: Sears, Zemansky, Young y Freedman, 1999.

El segundo caso de modelación que un equipo de estudiantes realizó sobre un problema de plano inclinado es un poco más complejo, si se analizan todas las variables que intervienen.

Situación 3. Problema de plano inclinado

Una caja se desliza sobre una rampa como se muestra en la figura 6. Realiza su gráfica de posición con respecto al tiempo utilizando Tracker.

Las estudiantes plantean el deslizamiento de un caja, partiendo desde un punto alto hacia la parte baja del plano inclinado, donde también relacionan el problema con los planos inclinados de Galileo Galilei; los números que están representados en Tracker representan las distancias entre las marcas señaladas, en unidades arbitrarias, que finalmente corresponden a un movimiento uniformemente acelerado y que, de acuerdo a la investigación previa realizada por las estudiantes, corroboran que las distancias totales recorridas partiendo del reposo son proporcionales a los cuadrados de los tiempos, como también describió Galileo, que se detalla en la gráfica generada por Tracker (figura 7).

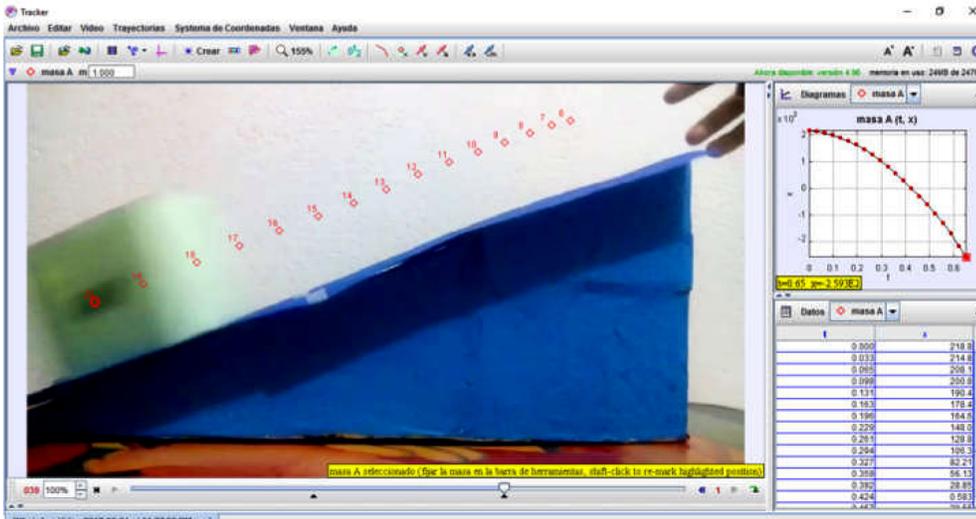


Figura 6. Deslizamiento de una caja sobre una rampa.

Fuente: Recuperado del trabajo en equipo de los estudiantes.



Figura 7. Gráfica generada de la caja deslizándose, con la herramienta Tracker.

Fuente: Recuperado del trabajo de las estudiantes.

Como puede observarse en la figura 7, la experimentación que realizaron las estudiantes y con el apoyo del software Tracker, la ecuación que describe el movimiento es: $x = At^2 + Bt + C$, de donde la velocidad, que es la primera derivada con respecto al tiempo, se obtiene: $v = \frac{dx}{dt} = 2At + B$, considerando que la segunda derivada corresponde a la aceleración, las estudiantes calcularon con base en la ecuación que proyecta el software: $a = \frac{dv}{dt} = 2A$; también derivado del mismo software obtienen los valores de los parámetros A , B y C , dado que: $a = 2A$; concluyen que:

$$a = 2(-9.617 \times 10^2), a = -1.9234 \text{ m/s}^2$$

Las estudiantes concluyen que dado el análisis experimental y los datos proporcionados por el software es más sencillo realizar los cálculos de la aceleración, así como de la velocidad, obteniendo los resultados siguientes:

- Observación de que entre mayor es el ángulo, la aceleración también va aumentando.
- Valor negativo de la aceleración porque el objeto va hacia abajo.
- El uso del software nos permite captar los instantes del deslizamiento del objeto sobre el plano inclinado, datos que durante la experimentación sin el uso del software son casi imposibles de conseguir.
- El software permite que realices los cálculos de manera más sencilla, de este modo pones más atención en lo que sucede y cómo puedes relacionar lo que estudias en la Física con tu especialidad de construcción o bien con tu entorno cotidiano.
- En la especialidad de construcción hay mucha aplicación y con ayuda del software suponemos que se pueden facilitar los cálculos de los diseños del plano inclinado.

La evaluación de las situaciones de modelación

La evaluación en el ámbito educativo es una componente fundamental que constituye una tarea necesaria y esencial en la labor docente (Díaz y Hernández, 2002). Para los efectos de la investigación se puntualiza en la cinemática, que Halliday *et al.* (2010) definen así: la palabra cinemática proviene del griego *kinema*, que significa “movimiento”, por lo que la cinemática es la ciencia que estudia el movimiento de los cuerpos sin tomar en cuenta las causas o fuerzas que producen dicho movimiento. En concordancia con Espinoza (2013), podemos afirmar que la descripción del movimiento de los cuerpos conlleva al uso de palabras, diagramas, números, gráficos y ecuaciones, por lo que exige una moderna evaluación periódica integral del estudiante en sus tareas de construcción del conocimiento.

Biggs (2010, pp. 214-217) sugiere la prueba objetiva en un formato cerrado o convergente que requiere una respuesta correcta, los cuales se escalonan según la dificultad o estructura, solicitando al estudiante que responda en el máximo nivel que sea posible (el resultado ordenado).

Se consideran como resultado ordenado para la evaluación del aprendizaje de los estudiantes, que toma en cuenta los niveles de la taxonomía SOLO.

- Uniestructural: se toma en cuenta un elemento obvio de información directamente extraído de los conceptos de cinemática. Para este tipo de subítem sólo se requiere una lectura correcta de un diagrama, sencilla pero esencial.
 - Multiestructural: se valoran dos o más elementos discretos y separados de la información contenida de los conceptos de cinemática. En este nivel se requiere la comparación de dos lecturas diferentes.
 - Relacional: considera dos o más elementos de información, cada uno de los cuales está directamente relacionado con la comprensión integrada de los conceptos de cinemática. Este subítem exige la interpretación en una respuesta sencilla del nivel relacional.
-

- Abstracto ampliado: se examina un principio o hipótesis general y abstracto que se deriva de la información de los conceptos de cinemática. Finalmente, es relacional, pero con más complejidad, requiriendo una interpretación completa integrando el conocimiento funcional de las destrezas.

Tabla 3. Evaluación por ítems para la verificación del aprendizaje que alcanzaron los estudiantes.

Preguntas	Niveles cognitivos de comprensión	
	Deseados en los objetivos	Utilizados en el aprendizaje
Subítem (a) son del tipo conceptual, donde el alumno solo requiere recordar las definiciones y/o algunas características del tema	Identifica y comprende la oración	Identifica y comprende
Subítem (b) donde el alumno tiene que comprender las ideas principales que enuncia el problema y con base en ello describe la situación	Describe y comprende la idea principal	Comprende las ideas principales y describe la respuesta
Subítem (c), aquí el alumno lee la situación planteada; identificando y comprendiendo las ideas del problema, además brinda una explicación con base en su razonamiento de los conceptos y experiencias propias de la materia	Razona y explica detalladamente su respuesta	Razona y explica con argumentos qué ocurre en la situación que se describe en el problema planteado
Subítem (d), el alumno alcanza los niveles cognitivos de comprensión más altos siendo estos de manera autónoma	Aplica, reflexiona y demuestra	Aplica los conceptos de manera reflexiva, pues justifica el porqué de su respuesta, finalmente demuestra con argumentos que constata con la teoría vista en clase

Fuente: Elaboración propia.

Ítems aplicados

Los ítems se aplicaron a los estudiantes de forma individual, con la indicación:

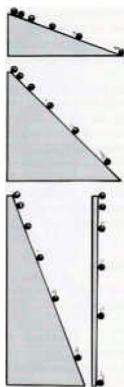
Analice y después responda: cada inciso está propuesto de modo que el inciso (a) corresponde a la categoría del subítem (a), el inciso (b) corresponde a la categoría del subítem (b), y así sucesivamente.

Ítem 1

Observe la figura 8, donde se considera la fricción igual a cero y es referente para contestar los cuatro incisos propuestos.

En la figura 9 se muestra la gráfica con los resultados obtenidos en el ítem 1; a, b, c y d son los niveles definidos propuestos para la evaluación del tema.

De acuerdo con los resultados del ítem aplicado, el 100% (que corresponde a 15 estudiantes) contesta de manera acertada al inciso a, el cual se encuentra relacionado con los conceptos de manera casi inmediata; este nivel está caracterizado porque los estudiantes, de acuerdo con la definición de movimiento en el plano y con apoyo de



- En el plano vertical, ¿cuál es el valor de la aceleración?
- En el plano vertical, ¿cuál es la velocidad instantánea v de un objeto que cae desde el reposo después de un tiempo t ?
- Si arrojas una pelota directamente hacia arriba que sale de tu mano con una velocidad inicial. ¿Cómo impacta el valor de la gravedad durante todo su recorrido de este tiro vertical?
- ¿En cuál de las figuras la aceleración es mayor?

Figura 8. Planos de Galileo.

Fuente: Hewitt y Lira, 2004.

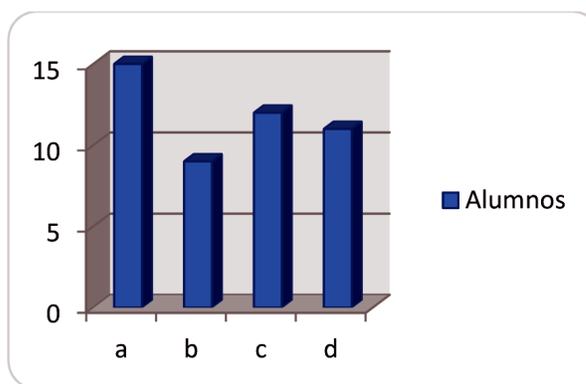


Figura 9. Gráfica de resultados obtenidos del ítem 1.

Fuente: Elaboración propia.

la imagen, deducen la respuesta, respondiendo que el valor de la aceleración para ese caso es de 9.8 m/s^2 .

En el caso de la respuesta al inciso b, solo 60% (que corresponde a 9 estudiantes) responde de manera correcta, o están muy próximos a la respuesta de que la velocidad instantánea en cualquier momento es cuando multiplican la aceleración por los segundos transcurridos. Aquí cabe aclarar que los estudiantes están interpretando la forma de ecuación $v = at$, ecuación de MRUA. El resto de los alumnos no responde, argumentando confusión.

En el inciso c, el 80% (que corresponde a 12 estudiantes) responde de manera correcta, donde demuestran que la velocidad de inicio es de 0 m/s y el valor de la gravedad se opone a dicho movimiento, por lo que es un valor para todo el recorrido. El resto de los estudiantes no plantea el valor de la gravedad como el de la aceleración que tiene el cuerpo.

En el inciso d, el 73.3% (que corresponde a 11 estudiantes) responde de manera correcta, analizando y deduciendo que el valor máximo de la aceleración en el plano es totalmente vertical. Los 4 estudiantes responden que, en otros planos, no logran imaginar la situación o al menos representarla con materiales inmediatos.

De este modo podemos concluir: los estudiantes que contestan correctamente toman elementos (materiales) que parten de la realización del experimento y de los análisis de datos experimentales usando Tracker.

Ítem 2

En la figura 10 se muestran dos esferas que se encuentran a la misma altura y se sueltan al mismo tiempo, desde el reposo, en el extremo izquierdo de las pistas A y B. Observe para responder los cuatro incisos.



Figura 10. Movimiento de dos esferas.

Fuente: Hewitt y Lira, 2004.

- ¿Cuál de ellas llega primero al final de su pista, considerando que la altura final para ambos cuerpos es la misma?
- ¿En cuál de ellas es mayor la rapidez?
- Establezca si hubo un desplazamiento mayor en alguna de las pistas cuando se deslizan las esferas.
- Explique qué sucede con el desplazamiento y rapidez cuando existen más protuberancias en la pista B.

En la figura 11 se muestra la gráfica con los resultados obtenidos en el ítem 2, de acuerdo con los niveles de cognición, a, b, c y d, propuestos para la evaluación del tema.

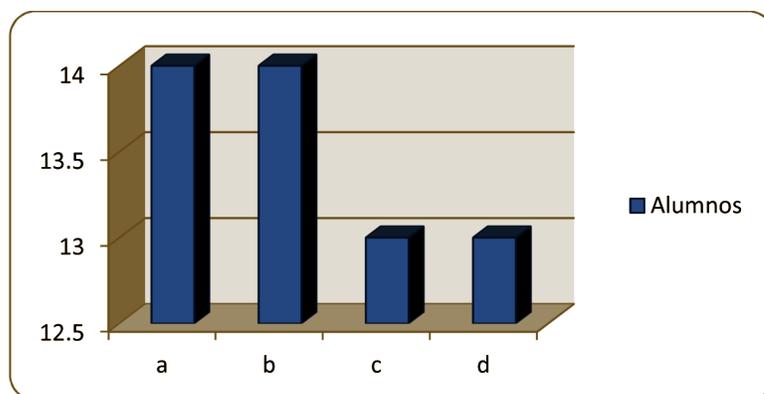


Figura 11. Gráfica de resultados obtenidos del ítem 2.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados del ítem aplicado, el 93.3% (que corresponde a 14 estudiantes) contesta de manera acertada al inciso a, en el cual relacionan todos los conceptos de manera casi inmediata; este nivel está caracterizado porque los

estudiantes, de acuerdo con la simple inspección de la figura, indican que la esfera B es la que llega primero a la meta.

En el caso de la respuesta al inciso b, solo 93.3% (que corresponde 14 estudiantes) responde que la mayor rapidez la experimenta la esfera B, mientras que dos estudiantes dicen tener confusión y no saber cuál de las esferas tiene mayor rapidez.

En el inciso c, el 86.6% (que corresponde a 13 estudiantes) responde de manera correcta, argumentando que la esfera B es la que tiene el mayor desplazamiento. Los otros dos estudiantes dicen que ambas esferas experimentan el mismo desplazamiento, no tomando en cuenta las protuberancias.

En el inciso d, el 86.6% (que corresponde a 13 estudiantes) responde de manera correcta, analizando que tanto el desplazamiento como la rapidez dependen de la forma de la protuberancia.

Como puede observarse, los resultados de los ítems aplicados demuestran una tendencia hacia los niveles de la taxonomía SOLO en los niveles relacional y abstracto ampliado, que enfoca a un aprendizaje más profundo en los estudiantes, ya que las mayores respuestas correctas están en los incisos a y b.

En términos cualitativos, los estudiantes dijeron que fue de gran ayuda observar el comportamiento del fenómeno físico a través de un análisis de cuadro por cuadro, la generación de los datos y gráfica de movimiento del fenómeno es muy clara, de tal modo que pueden hacer comparativos. La comprensión de los conceptos fue constatada en gran parte por la observación, pero sobre todo debido al experimento vivencial del fenómeno físico y exploración en tiempo real del video mediante Tracker.

CONCLUSIONES

Con respecto al trabajo que se llevó a cabo, se tomó en cuenta la integración de la tecnología en Física que, más allá de su uso, en la actualidad es una necesidad para el desarrollo del aprendizaje. La propuesta educativa potencializa la construcción y comprensión de los conceptos en cinemática, logrando generar un ambiente agradable y favorable para el aprendizaje orientado hacia el desarrollo de un pensamiento crítico y también de colaboración con los estudiantes.

La formación docente es un proceso proactivo en la construcción de modelos innovadores de aprendizaje para potencializar la imaginación y transformación en la enseñanza; en este sentido la Matemática como modelo para la descripción de fenómenos físicos para la enseñanza de la Física, a partir del uso de la herramienta Tracker permite que el estudiante realice observaciones más precisas que de modo tradicional no se pueden realizar. Tracker como herramienta didáctica potencializa las opciones de experimentación y de obtención de datos con mayor precisión, facilitando al estudiante relacionar los conceptos de cinemática con el modelo físico, algebraico y gráfico.

Concluimos que el uso de la tecnología en la modelación de fenómenos físicos a partir de experimentos caseros permite al estudiante visualizar en tiempo real lo

que sucede y de ese modo ir conectando sus conocimientos previos e integrar los conocimientos nuevos, que se van consolidando con los modelos matemáticos establecidos en cinemática.

Finalmente, la reflexión como docentes a partir de la experiencia en el Seminario Repensar las Matemáticas es el insumo para esta travesía en la educación, como resultado de la investigación que se realizó en conjunto con la formación docente, consolidando el aprendizaje de los estudiantes, que es uno de los objetivos de la educación. La invitación a participar en el SRM ofrece una oportunidad para avanzar en experiencias y en la reconstrucción de la práctica docente, apuntando a la enseñanza de forma efectiva y generando vínculos activos entre prácticas innovadoras del diálogo con otros docentes de instituciones educativas nacionales e internacionales.

Consideramos que la intención de formar un equipo en el SRM es conformar colectivos docentes para compartir experiencias de enseñanza, el desarrollo profesional para recuperar de manera paralela la enseñanza de un modo innovador y el enriquecimiento del trayecto formativo de los docentes.

Referencias

- Ávila, G. (2017). *Adecuación del alineamiento constructivo en Física I y el uso de TIC para generar aprendizaje profundo en los alumnos del CECyT 11* [Tesis de Maestría]. Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales, México.
- Biggs, J. (2010). *Calidad del aprendizaje universitario*. España: Narcea.
- Cruz, I., Nosnik, A., y Recillas, E. (2002). *El hombre de la torre inclinada: Galileo Galilei*. México: Pangea.
- De Camilloni, A. R., Cols, E., Basabe, L., y Feeney, S. (2007). *El saber didáctico*. Paidós.
- Díaz, B., y Hernández, G. (2002). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo* (2a. ed.). México: McGraw-Hill.
- Espinoza, M. (2013). *Física esencial*. Guayaquil: Ediciones Holguín S. A.
- Gutiérrez, C. (2009). *Física general*. McGraw-Hill Interamericana.
- Halliday, D., Resnick, R., y Walker, J. (2010). *Fundamentos de física* (8a. ed.). México: Patria.
- Hewitt, P. G., y Lira, J. A. F. (2004). *Física conceptual* (vol. 6). Addison-Wesley.
- IPN [Instituto Politécnico Nacional] (s.f.). *Oferta Educativa/Educación Medio Superior*. Recuperado de: <https://www.ipn.mx/oferta-educativa/educacion-medio-superior/?a=1&m=-1&e=-1> (consulta: 31 may. 2019).
- IPN (2006). *Geometría analítica. Libro del profesor*. Ciudad de México: IPN.
- Klein, G. (2012). *Didáctica de la física*. Madrid: Morata.
- Molina-Toro, J. F., Villa-Ochoa, J. A., y Suárez, L. (2018). La modelación en el aula como un ambiente de experimentación-con-graficación-y-tecnología. Un estudio con funciones trigonométricas. *Revista Latinoamericana de Etnomatemática*, 11(1), 87-115.
- Muñoz, J. M., Ramírez, L., San Emeterio, J. L., Sevilla, I., y Villasuso, J. (2009). *Física y Química 4º ESO*. Centro para la Innovación y Desarrollo de la Educación a Distancia. Instituto Superior de Formación y Recursos en Red para el profesorado del Ministerio de Educación, Política Social y Deporte.
- Pantoja, R., Ulloa, R., y Nesterova, E. (2013). La modelación matemática en situaciones cotidianas con los software Avimeca y Mathcad. *Góndola*, 8(1), 8-22.

- Rolleri, J. L. (2013). ¿Qué son los modelos físicos? *Valenciana*, 6(11), 271-288.
- Sears, F., Zemansky, M., Young, H. D., y Freedman, R. (1999). *Física universitaria* (vol. 1). México: Addison-Wesley Longman.
- Serway, R. A., Jewett, J. W., Hernández, A. E. G., y López, E. F. (2002). *Física para ciencias e ingeniería*. McGraw-Hill.
- Suárez, L. (2014). *Modelación-graficación para la matemática escolar*. México: Díaz de Santos.
- Suárez, L., Ruiz, B. R., Torres, J. L. Gómez, A. Flores, C., y Luna, V. H. (2016). Laboratorio de modelación graficación para la matemática escolar. *Investigación e Innovación en Matemática Educativa*, 1(1), 486-497.
- Trigueros, M. (2009). El uso de la modelación en la enseñanza de las matemáticas. *Innovación Educativa*, 9(46).
- Vélez, D. C. (2006). *Modelos teóricos y representación del conocimiento*. Universidad Complutense de Madrid.
- Vera, F., Rivera, R., Fuentes, R., y Romero, D. (2015). Estudio del movimiento de caída libre usando vídeos de experimentos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(3), 581-592.
- Villa-Ochoa, J., Bustamante, C., Berrio, M., Osorio, A., y Ocampo, D. (2009). El proceso de modelación matemática. Una mirada a la práctica del docente. *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa ALME*, (22), 1443-1451.
-