NUEVAS REALIDADES PARA LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA: CURRÍCULO, TECNOLOGÍA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO
13 - 16 DE SEPTIEMBRE 2022 CARTAGENA DE INDIAS, COLOMBIA
Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI

La modelización en mecánica: una estrategia para su aprendizaje

Luis G. Cabral Rosetti, Adriana Castillo Rosas

Departamento de Postgrado del Centro Interdisciplinario de Investigación y Docencia en Educación Técnica, CIIDET
Santiago de Querétaro, México

Resumen

Con la intensión de fortalecer las estrategias de enseñanza de los profesores que dictan los cursos de Mecánica Clásica, construimos y discutimos una serie de problemas retadores para la asignatura de Dinámica dentro de la llamada ***Estrategia Progresiva de Modelización*** vinculando diferentes conocimientos de matemáticas, física y computo. Las pruebas hechas en Cursos de capacitación a profesores nos hablan de resultados satisfactorios.

Palabras clave: formación de ingenieros; enseñanza de la física; modelo matemático; formación profesional; enseñanza; aprendizaje

Abstract

With the intention of strengthening the teaching strategies of the professors who teach Classical Mechanics courses, we constructed and discussed a series of challenging problems for the subject of Dynamics within the so-called ***Progressive Modeling Strategy*** *linking different knowledge of mathematics, physics and computation. The tests carried out in Teacher Training Courses tell us of satisfactory results.*

Keywords*: engineering training; physics teaching; mathematical model; vocational training; teaching; learning*

1. Introducción

Es bien conocido el bajo índice de aprobación en la asignatura de Dinámica en el TecNM. Uno, de entre muchos factores, que nos permiten entender lo anterior, es la pertinencia de cómo se abordan los contenidos específicos de dicha asignatura. Tradicionalmente se imparte una clase magistral del profesor donde los alumnos pasivamente asisten al curso, y a lo más entregarán algún tipo de tarea extraída de algún libro de texto. Esta forma de proceder en la catedra, está perfectamente probado que no funciona. Es por ello que nosotros proponemos la llamada *Estrategia de la Modelización Progresiva* como estrategia de enseñanza. Enseñar ciencias a través de la modelización implica, por lo tanto, grandes desafíos para los instructores del TecNM [Godoy].

2. Antecedentes

Las últimas décadas han sido testigos de la modernización tecnológica de la sociedad con características aparentemente contradictorias: (i) la falta de inversiones en ciencia y tecnología y (ii) la política industrial burocrática [Lezana et al]. El mercado mexicano comenzó a abrirse para la incorporación de elementos externos recientemente, con una industria marcada por la falta de preparación para la competencia mundial. Por ello, es necesario que los profesores formen profesionales en Ingeniería para superar este período de transición entre un mundo de alta tecnología y un país en vías de desarrollo. Es en este contexto que es necesario repensar las actividades de aprendizaje que los maestros realizan con sus alumnos relacionadas con el curso de Dinámica en las diferentes Ingenierías. Por ello, es fundamental que la formación del futuro profesional de la ingeniería cuente y desarrolle con algunos atributos necesarios para dar respuestas rápidas y eficientes durante su desempeño profesional, entre los que podemos mencionar [Lezana et al]:

a) Conocimiento científico-tecnológico para superar desafíos y la rápida evolución del conocimiento;

b) El conocimiento Informático como instrumento de la práctica de la ingeniería;

c) Capacidad para Resolver Problemas;

Por otro lado, la repetición de contenidos disciplinares en diferentes cursos reduce la diversidad de temas a estudiar por los estudiantes. Así, en la parte de los llamados Cursos de Ciencias Básicas son los que presenta mayores problemas de comprensión, con un alto índice de reprobación y, en particular, la asignatura de Dinámica (Mecánica Vectorial Básica).

En principio, en la enseñanza de la Dinámica, el alumno debe contar con condiciones para identificar y articular elementos multidisciplinares, de tal manera que se establezca la interrelación de diferentes conocimientos. Para ello, es necesario que el profesor desarrolle estrategias que permitan al alumno convertirse en una persona propositiva y creativa. La conclusión de estos trabajos siempre apunta a la necesidad de cambiar el enfoque en los contenidos de dichas disciplinas a

medida que se establece su interrelación. Esta conclusión sigue siendo válida si analizamos la formación del estudiante mexicano en una perspectiva más amplia e internacional [Raffi].

3. Marco Teórico

Uno de los retos de la sociedad globalizada del siglo XXI, es generar propuestas educativas que permitan a los estudiantes aprender ciencia, aprender sobre la ciencia y aprender a hacer ciencia (Hodson ,1992, 2014), de tal manera que en la sociedad existan ciudadanos críticos y con competencias socio científicas.

La didáctica de las ciencias genera propuestas que contribuyen al mejoramiento de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias; una de ellas y la cual comparto es la educación en ciencias basada en la práctica científica de la modelización; la cual ha tenido diferentes perspectivas desde que emergió al final del siglo XX, en la década de los 90s. Actualmente se encuentra en la literatura una amplia variedad de publicaciones de investigación sobre este tema desde diversos puntos de vista (Clemente, 2000; Espinet, Izquierdo, Bonil, & Ramos- De R., 2012; Izquierdo, 2006; Greca & Moreira, 2000, Gilbert & Boulter, 2000). Algunos investigadores educativos en ciencias apuestan por un enfoque basado en modelos que permee los planes de estudio, los métodos de enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, así como las concepciones de la naturaleza del conocimiento científico de los profesores y de los estudiantes (Grandy, 2003; Izquierdo & Adúriz-Bravo, 2003; Justi & Gilbert, 2003).

Para este proyecto se asume la definición de modelo científico de Schwarz, Reiser, Fortus, et al., 2009a) "como una representación que abstrae y simplifica un sistema centrándose en las características clave para explicar y predecir los fenómenos científicos" (p.634). Además, los modelos les permiten a los estudiantes: Ilustrar, explicar y predecir fenómenos, comparar y evaluar la capacidad de los diferentes modelos para representar con exactitud y dar cuenta de los patrones en los fenómenos y realizar procesos metacognitivos (Schwarz et al., 2009).

El análisis del fenómeno es el que permite establecer las relaciones y reglas entre los elementos del sistema y que los datos experimentales condicionan al modelo; y la modelización como un proceso de construcción, evaluación y refinamiento de modelos (Schwarz, Reiser, Davis, et al., 2009b) y una práctica científica importante para que los estudiantes aprendan ciencia (Osborne, 2014), así desde la didáctica de las ciencias, por un lado, es un objetivo de aprendizaje en sí mismo (el estudiante requiere aprender a modelizar de forma similar a como lo hacen los científicos); y por otro, una propuesta didáctica para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias donde los estudiantes realizan aprendizajes conceptuales, procedimentales y epistemológicos, esta es coherente con el marco de la NRC (2012) que propone las prácticas científicas tanto como contenido, como marco de enseñanza.

Justi, Ferreira, Queiroz, & Mendonça (2012) proponen una enseñanza de las ciencias basada en actividades de modelización, porque es la forma natural cómo funciona la ciencia y de esta manera los estudiantes se acercan a ella, pueden elaborar sus propios modelos, evaluarlos con rela-

ción a otros que pueden ser sus compañeros de clase o con el modelo del profesor, además estas actividades contribuyen a entender cómo y por qué los modelos fueron y son elaborados.
A continuación, haré mención de algunas de ellas:

1) Se requiere un compromiso gubernamental, en la cual la educación sea el motor de cambio, y se promuevan políticas que dinamicen la enseñanza.
2) Las instituciones formadoras de futuros ingenieros tienen el reto de ajustar sus currículos para permitir que florezcan otras propuestas didácticas como la enseñanza de las ciencias a través de las prácticas científicas y a su vez convertir sus aulas, en lugares que las promuevan buscando coherencia entre la forma en que enseñan y lo que promueven.
3) Incentivar la participación de los estudiantes en prácticas de modelización requiere que el profesor conozca su contribución para la enseñanza de las ciencias y las propuestas de cómo materializarla en el aula porque en la literatura se encuentran diferentes alternativas que pueden responder a las necesidades sociales de una determinada comunidad educativa.
4) Establecer las diferencias entre lo que hace en el profesor para que el estudiante aprenda de lo que hace el estudiante para lograrlo. Ellos necesitan entender cómo se utilizan los modelos, porqué se utilizan y cuáles son sus fortalezas y limitaciones, con el fin de apreciar cómo funciona la ciencia y la naturaleza dinámica de los conocimientos que la ciencia produce (Schwarz et al., 2009).

4. Objetivos

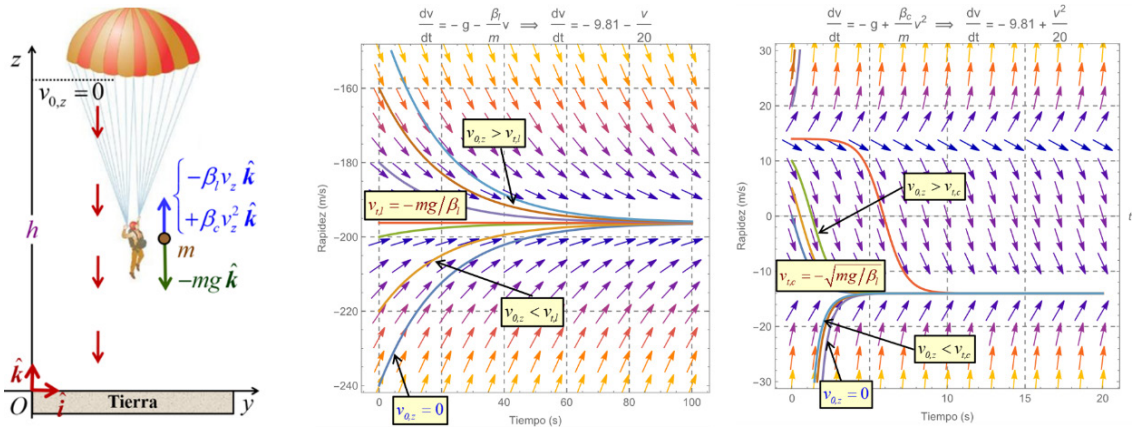
El propósito de este trabajo de investigación es explorar diferentes problemas de Dinámica y modelizarlos adecuadamente, para que al profesor de la asignatura se le proporcione la autonomía necesaria para resolver estos problemas interesantes y retadores, utilizando, cuando sea necesario, técnicas de programación. Para ello es necesario interconectar conceptos físicos, matemáticos y técnicas computacionales, donde sean fundamentales, creando condiciones para la fijación de dichos contenidos. Este tipo de ejercicio tiene un carácter motivador para los futuros profesionales de la ingeniería, mejorando la calidad de los aprendizajes, ya que el alumno (previamente tomado como elemento pasivo), se convierte en un agente activo en la búsqueda de la solución de tales problemas, favoreciendo su formación.

5. Ejemplos concretos

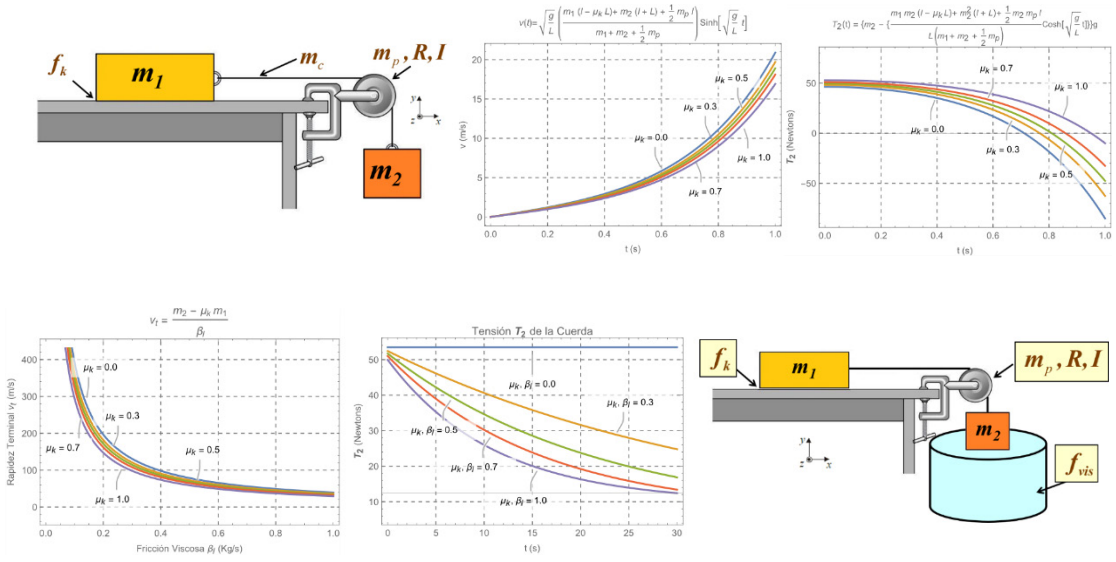
A manera de ejemplo, mostramos algunos Modelo Progresivos y sus resultados más relevantes que hemos trabajado y presentado en algunos eventos.

a) **Modelo de Galileo-Stokes**. Estudiamos simultáneamente la *Caída de un Paracaidista* tanto en un Medio (Aire) con *Viscosa Lineal* $F = -\beta_l v$ (*Stokes*) y *Cuadrática* $F = +\beta_c v^2$ (*Newton*), es decir, con *número de Reynolds bajos* (n = 1, 2). Lo anterior lo hacemos con la finalidad de poder compararlas entre sí y con el *Caso Sin Fricción* (*Galileo*). Este tema nos ha permitido hacer una discusión con profesores y alumnos sobre la "*Caída de los Graves*", contrastando en todo momento los puntos

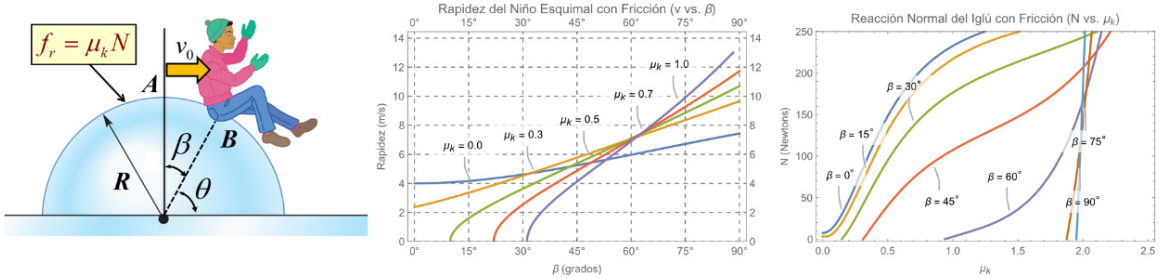
de vista de *Aristóteles* y *Galileo*. Y con ello, construir un *Modelo de Galileo Mejorado* es decir el *Modelo Galileo-Stokes*, (Trabajo presentado y aceptado en la 8ª Jornada de Ciencia & Tecnología Aplicada del TecNM/CENIDET, 25 de Mayo de 2022).



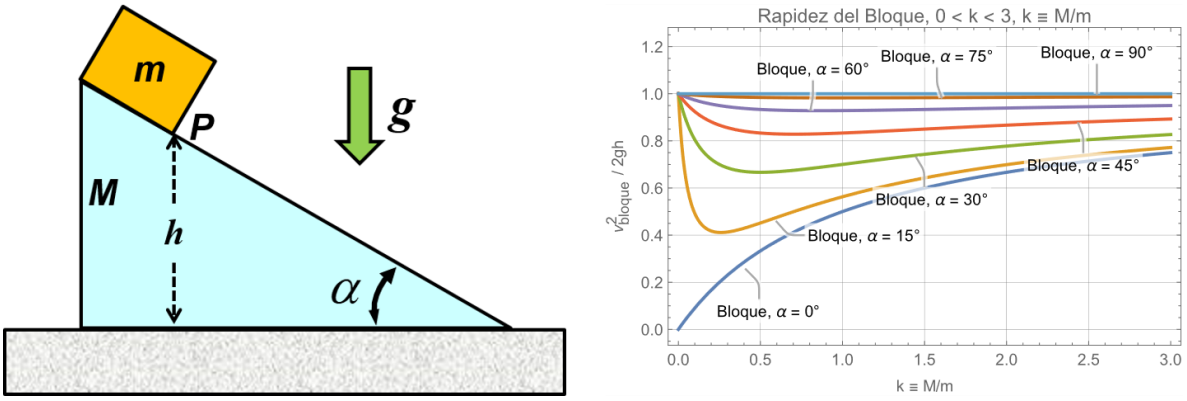
b) **Construyendo un Modelo Mecánico**. Como Estrategia de Enseñanza de la Mecánica Clásica usamos la Construcción Progresiva del Modelo Clásico de Dos Bloques atados con un hilo que resbalan sobre una mesa y que pasa por una Polea, desde el más simple hasta el que considera fricción y masa en el hilo, así como la inmersión del Bloque 2 en un medio viscoso. Dicho modelo (en la parte más simple) es considerado en la mayoría de los textos y cursos de bachillerato y pregrado universitario como instrumento para estudiar las Leyes Dinámicas de Newton. (Trabajo actualmente en arbitraje en la **Rev. Bras. Ens. Fis.**)



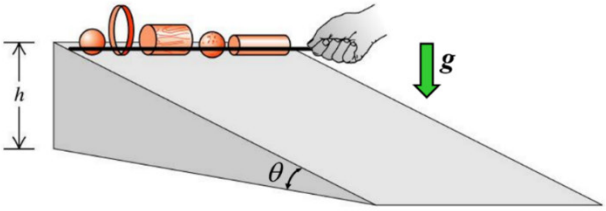
c) **Niño Esquimal que resbala de su Iglú**. Estudiamos la Dinámica del movimiento de un niño esquimal que resbala por su Iglú, con y sin Fricción y usando, Dinámica Traslacional, Conservación de la Energía y Teorema Trabajo-Energía. Comparando en todo momento las ventajas y desventajas de cada método y sus resultados.

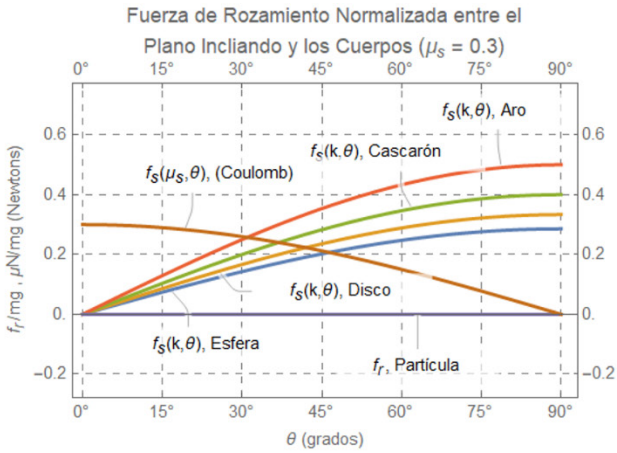


d) **Bloque y Cuña resbalando Mutuamente**. Estudiamos la Dinámica del Movimiento de un Bloque de masa m y una Cuña (Plano Inclinado) de masa M que resbalan mutuamente con y sin fricción. Encontrando todas las cantidades física relevantes del problema, así como un resultado que no esperábamos. El bloque para ciertos valores del cociente $k \equiv M/m$ se frena en su movimiento de caída, ver la gráfica adjunta.

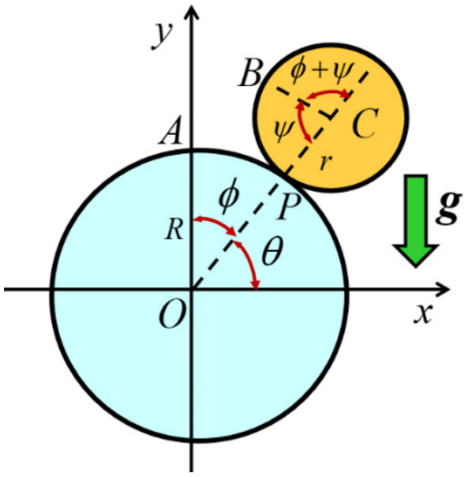


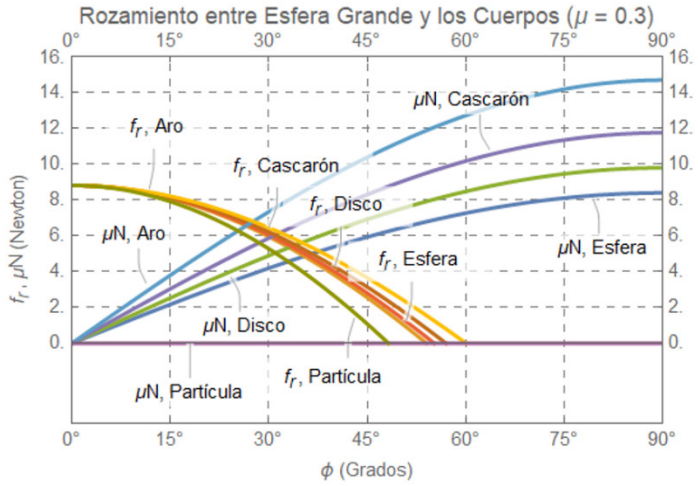
e) **¿Quién llega primero a la Meta?** En un plano inclinado de ángulo "θ" dejamos que rueden sin resbalar cuatro objetos que tienen la misma masa y el mismo radio, pero diferente ***Momento de Inercia***. *una esfera sólida, una esfera hueca, un cilindro sólido o disco y un cilindro hueco o aro.* Encontramos todas las cantidades Dinámicas de interés y hallamos que al igualar la ***Fuerza de Fricción Estática*** que proviene del Momento de la ***Fuerza con la Ley de Coulomb*** para ***Fricción Seca***, que ***existe un punto para cada Cuerpo en donde irremediablemente los cuerpos dejan de Rodar y comienza a Patinar***, ver figura anexa.



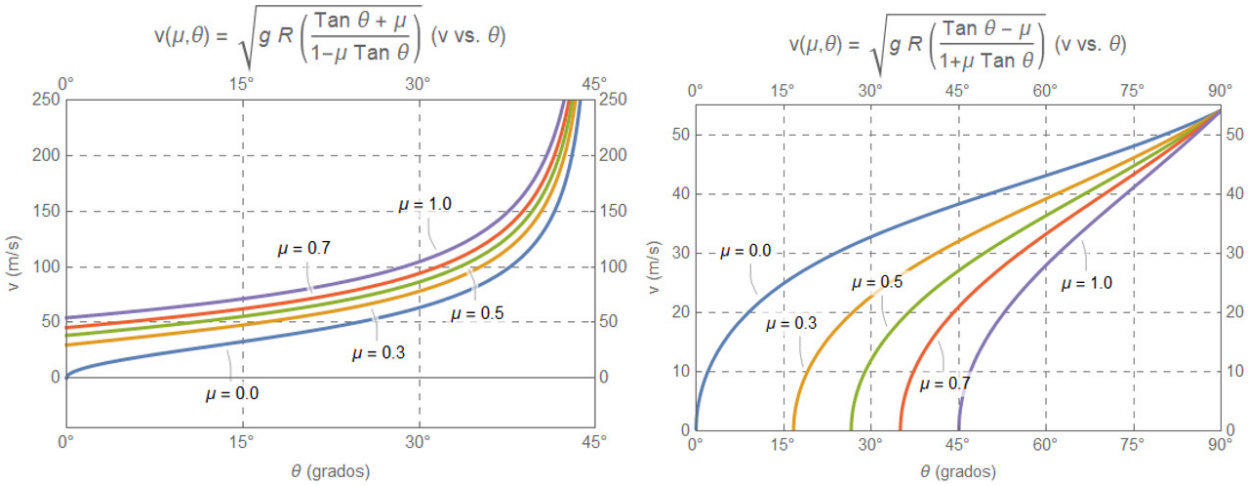


f) **Desprendimiento de una Esfera**. Dejamos Rodar sin Resbalar sobre la Superficie externa de una Esfera de Radio R cuatro objetos que tienen la misma masa y el mismo radio, pero diferente Momento de Inercia. Una Esfera Sólida, una Esfera Hueca, un Cilindro Sólido o Disco y un Cilindro Hueco o Aro. Encontramos todas las cantidades Dinámicas de interés y hallamos dos Puntos Críticos para cada Cuerpo. El Primero de ellos nos habla que, pasado ese punto, el cuerpo irremediablemente comienza a patinar, y el segundo punto, es el llamado ***Punto de Desprendimiento***, en donde el cuerpo deja de tener contacto con la Esfera Grande, ver figura.





g) **Análisis Dinámico de las Curvas Peraltadas**: Estudiamos con detalle el Movimiento de un automóvil cuando toma una curva peraltada y encontramos las condiciones para la velocidad del automóvil como función ángulo de peralte de la Curva y el Coeficiente de Rozamiento para poder tener un tránsito seguro, ver figura anexa.



6. Conclusiones

Hemos construimos una serie de problemas retadores para la asignatura de Dinámica dentro de la llamada ***Estrategia Progresiva de Modelización*** vinculando diferentes conocimientos de matemáticas, física y computo. Dichos problemas servirán para profesores y alumnos como material de análisis en la asignatura de Mecánica de las diferentes Ingenierías. Creemos que es un material valioso y que servirá para fortalecer las estrategias de enseñanza de los profesores.

7. Agradecimientos

Los autores del presente trabajo, agradecemos a la ***Dirección de Posgrado, Investigación e Innovación del TecNM*** el apoyo brindado al Proyecto de Investigación, ***Modelización en Mecánica: Una estrategia para el Aprendizaje de la Dinámica,*** **Clave: 11001.21-P**, en su convocatoria 2021.

8. Referencias

- [Godoy] Revista Tecné, Episteme y Didaxis. Año 2018. Numero Extraordinário. ISSN impreso: 0121-3814, ISSN web: 2323-0126 Memorias, Octavo Congreso Internacional de formación de Profesores de Ciencias para la Construcción de Sociedades Sustentables. Octubre 10, 11 Y 12 de 2018, Bogotá
- [Lezana et al] Álvaro G. Rojas Lezana y otros, Formación de ingenieros, Organizadores: Irlan von Linsingen et al. Editorial UFSC, 1999.
- [Vandelí, Cobenge] Vandelí F. de Oliveira y Ricardo Manfredi Naveiro, Enseñanza / Aprendizaje en Ingeniería: Importancia del contexto de aplicación, Revista de Ensino de Engenharia, vol. 18, n. 1, (1999), J. A. Salvador, C. Constantino, N. Baldin y J. M. Póvoa, Integración de Cálculo y Física en los cursos de Ingeniería en UFSCar Cobenge 99.
- [Raffi] de Campos, F., García-Raffi, L.M., Sánchez-Pérez, E.A., Sánchez-Pérez, J.V. Las prácticas del modelado físico-matemático: innovación universitaria desde un punto de vista internacional. UNO Revista de Didáctica de las Matemáticas (España) 31, (2002), 24.
- [García-Raffi] García-Raffi, L. M., Sánchez-Pérez, E. A., Martínez-Giménez, F. De los ejemplos de introducción de métodos de simulación Montecarlo en los primeros recorridos de las carreras técnicas. Conferencias de Matemáticas (Colombia) 20, (1999) 7-28.
- [Sánchez-Pérez] Sánchez-Pérez, E.A., García-Raffi, L.M., Sánchez-Pérez, J.V. Introducción de técnicas de modelado para el estudio de física y matemáticas en los primeros cursos de los cursos técnicos. Enseñanza de las Ciencias 17 (1), (1999) 119-129.
- Acher, A., Arcà, M., & Sanmartí, N. (2007). Modeling as a Teaching Learning Process for Understanding Materials: A Case Study in Primary Education. Science Education, 91(1), 36–74. https://doi.org/10.1002/sce
- Clemente, J. (2000). Model based learnig as key rearsech area for science education. International Journal of Science Education, 22(9), 1041–1053.
- Espinet, M., Izquierdo, M., Bonil, J., & Ramos- De R., S. L. (2012). The role of language in modeling the natural world: perspectives in science Education. In B. Fraser, K. Tobin, & C. McRobbie (Eds.), Second International Handbook of Science Education (pp. 1385–1404). Springer.
- Gilbert, J., & Boulter, C. (Eds.). (2000). Developing models in science education. Springer.
- Grandy, R. (2003). What are models and why do we need them? Science & Education, 12(8), 771–773.
- Greca, I. M., & Moreira, M. (2000). "Mental models, conceptual models, and modeling." International Journal of Science, 22(2), 1–11.
- Izquierdo, M. (2006). La educación química frente a los retos del tercer milenio. Educación Química, 17(x), 286–299. Retrieved from http://www.cneq.unam.mx/cursos_diplomados/diplomados/anteriores/medio_superior/gdf08_quimica/material/LaQuimicaysuDidactical/1s/EQ17_Educacion_Quimica_Izquierdo_2006.pdf
- Izquierdo, M. (2014). Los modelos teóricos en la enseñanza de las "ciencias para todos" (ESO, nivel secundario). Bio-Grafía: Escritos Sobre La Biología Y Su Enseñanza, 7(13), 69–85.

- Izquierdo, M., & Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological Foundations of School Science. Science & Education, 12(1), 27–43. https://doi.org/10.1023/A:1022698205904
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. Enseñanza de Las Ciencias, 24(2), 173–184. Retrieved from http://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/75824/96328
- Justi, R., Ferreira, P. F. M., Queiroz, A., & Mendonça, P. C. C. (2012). Contribuciones de la enseñanza fundamentada en modelación para el desarrollo de la capacidad de visualización. In Algunas aproximaciones a la investigación en educación en enseñanza de las ciencias naturales en

América Latina (pp. 155–174). Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Retrieved from http://die.udistrital.edu.co/sites/default/files/doctorado_ud/publicaciones/algunas_aproximaciones_la_investigacion_en_educacion_en_ensenanza_de_las_ciencias_naturales_en_ameri/contribuciones_de_la_ensenanza_fundamentada_en_modelacion_para_el_desarrollo_d

- Justi, R., & Gilbert, J. (2003). Teachers' views on the nature of models. International Journal of Science Education, 25(11), 1369–1386. https://doi.org/10.1080/0950069032000070324
- NRC. (2012). A Framework for K-12 Science Education:Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas. Washington, D.C: The National Academies Press. Retrieved from doi:https://doi.org/10.17226/13165
- Osborne, J. (2014). Teaching Scientific Practices: Meeting the Challenge of Change. Journal of Science Teacher Education, 25, 177–196. https://doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1
- Schwarz, C., Reiser, B., Davis, E., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D., … Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. Journal of Research in Science Teaching, 46(6), 632–654. https://doi.org/10.1002/tea.20311
- Schwarz, C., Reiser, B., Fortus, D., Scwartz, Y., Acher, A., Davis, B., … Hug, B. (2009). Models: Defining a Learning Progression for Scientific. In Paper presented at he Learning Progressions in Science (pp. 1–14). Iowa City.

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2022 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)