

ECUACIONES DIFERENCIALES, UNA PROPUESTA DE APRENDIZAJE SEMIADAPTATIVA

Rubén-Darío Santiago-Acosta
Tecnológico de Monterrey. (México)
ruben.dario@itesm.mx

Resumen

Este trabajo es el resultado de aplicar un ambiente de aprendizaje semiadaptativo en un curso en línea de ecuaciones diferenciales. El objetivo es fortalecer las competencias de análisis y solución de modelos matemáticos en estudiantes de ingeniería. Se utilizó la plataforma OpenEdX como: repositorio de materiales diversos y organizador de diferentes actividades de aprendizaje, lo que permitió reducir el tiempo de estudio en el aula de algoritmos de solución de ecuaciones diferenciales y, a su vez, incrementar el tiempo dedicado a la modelación matemática. El curso consta de cinco módulos que contienen: material de apoyo, prácticas de experimentación de conceptos, entrenador de ejercicios y problemas, actividades integradora y evaluación semiadaptativa. El sistema de evaluación se construyó mediante programas que cambian aleatoriamente las preguntas con contenido matemático y que retroalimentan inmediatamente. Las prácticas de exploración fueron elaboradas en el paquete Mathematica que permite analizar simbólicamente y gráficamente soluciones de ejercicios y problemas. En el trabajo se muestran varios elementos usados en su construcción y se contrastan resultados de aprendizaje de 32 estudiantes que tomaron el curso recientemente.

Palabras clave: OpenEdX, aprendizaje adaptativo, retos

Abstract

This report shows the results of applying a semi-adaptive learning environment in an online course of differential equations. It is intended to develop the analytical and mathematical problem solving skills of engineering students. An OpenEdX platform was used to store and organize materials and learning activities, which contribute to save time of study in the classroom of algorithmic solutions of differential equations, in turn it allows increasing the time allotted to mathematical modeling. This course is divided into five modules, which involve: material aids, concept experimentation practices, trainer of exercises and problems, integrated activities, and semi-adaptive evaluation. The evaluation system was designed as software that changes the questions with mathematical content at random, and offers an immediate feedback to the students. Exploration exercises and activities were developed in the Mathematica package, which allows the symbolic and graphic analysis of the solutions to problems and exercises. In this work, we show several elements that were used for the design of this course, and compare the learning skills obtained through the results of 32 students that recently took this course.

Key words: OpenEdX, adaptive learning, challenges

■ Introducción

El curso de Ecuaciones Diferenciales (ED) que se ofrece en el Tecnológico de Monterrey (ITESM) es amplio ya que contiene cinco temas complejos, difíciles de cubrir a profundidad en el tiempo asignado. Diversos estudios indican que los alumnos que toman el curso no son capaces de analizar situaciones problemáticas en contexto debido en gran medida a dos factores, a saber: el precario desarrollo de sus habilidades y competencias de resolución de problemas y la promoción excesiva de métodos algorítmicos de solución de ecuaciones diferenciales (Santiago, 2002). Como consecuencia, se sacrifica la modelación matemática y el análisis de situaciones complejas para dedicar mayor espacio al estudio de los algoritmos. Se pierde así la posibilidad de utilizar las ED para describir fenómenos que ocurren en la naturaleza asociados con la física, la economía, la demografía, la ecología, entre muchas otras áreas. En un trabajo reciente, se plantea la necesidad de integrar herramientas de tecnología móvil para reducir los tiempos de algoritmia en clase y aumentar las actividades de modelación matemática (Santiago, Delgado & Quezada, 2012).

En este trabajo se propone reducir el tiempo de clase dedicado al estudio de los algoritmos de solución de ED y ampliar el tiempo dedicado a la modelación matemática mediante el uso de diversas tecnologías móviles. Los objetivos son: determinar los efectos en el desarrollo de competencias de modelación matemática en alumnos que toman un curso de ecuaciones diferenciales apoyado por tecnología móvil y retos de aprendizaje; y analizar los cambios en los procesos algorítmicos utilizados por los alumnos que utilizan un entrenador en línea de métodos de solución de ecuaciones diferenciales.

■ Marco teórico

Los modelos matemáticos surgen de manera natural cuando se tiene la necesidad de responder preguntas específicas en situaciones reales, cuando se requiere tomar decisiones o cuando es necesario hacer predicciones relacionadas con fenómenos naturales. Lehrer y Schauble (2000) sugieren que la introducción de la modelación matemática al aula permite que: los alumnos enfrenten situaciones problemáticas de interés y desarrollen sus capacidades de explorar y representar fenómenos mediante ecuaciones diferenciales. En general, el planteamiento de modelos, vía ecuaciones diferenciales, no es simple y su construcción requiere de práctica (Rodríguez, 2010; Rodríguez & Rivera, 2016). Otros autores señalan que la enseñanza de las ED por medio de la modelación requiere enseñar tanto los elementos teóricos como las estrategias de construcción de las ED (Trigueros, 2009). Existe acuerdo entre estas posturas y la metodología de aprendizaje basado en retos (ITESM, 2016), donde los estudiantes enfrentan desafíos reales, apoyados con módulos de aprendizaje, y vinculan las matemáticas con los fenómenos de cambio.

De acuerdo con la Teoría APOE (Acciones, Procesos, Objetos, Esquemas) los estudiantes deben evolucionar desde utilizar sólo procedimientos y acciones hasta lograr esquemas que les permitan resolver problemas (Dubinsky, 2002). En la práctica, la teoría APOE se usa mediante ciclos de aprendizaje ACE formados por actividades, discusiones en clase y ejercicios. Por ejemplo, Vizcaíno (2004) utilizó el ciclo en un curso de cálculo, y sugiere: organizar a los alumnos en equipos de trabajo, desarrollar todas las actividades en un laboratorio utilizando paquetes computacionales de análisis matemático, discutir en el aula lo aprendido y culminar con ejercicios individuales.

Por otra parte, diversos materiales didácticos (programas, asistentes educativos, libros electrónicos, tutoriales de apoyo) han sido construidos con el objetivo específico de provocar una mejora en el aprendizaje de la matemática. Artigue (2007) menciona que “las tecnologías informáticas trastornan los equilibrios tradicionales entre el valor epistémico y pragmático de las técnicas”. Es decir, aun cuando la tecnología pretende que los estudiantes aprendan más y mejor es necesario no descuidar los problemas que el estudiante tiene con los objetos matemáticos de aprendizaje. Actualmente, existe una tendencia para construir sistemas adaptativos para el aprendizaje de la matemática que consideren las características y conocimientos de los estudiantes. Por ejemplo, GenTutor es un software que produce entrenadores semiadaptativos y ha sido usado recientemente para construir sistemas de entrenamiento algorítmico en cursos de cálculo (Santiago y Quezada, 2013).

En otro contexto, nuevas tendencias y necesidades de aprendizaje han provocado el surgimiento de los cursos masivos abiertos en línea (MOOC: Massive Open Online Course). La tecnología para elaborar estos cursos requiere de poco hardware y están al alcance de la generalidad de los docentes. Por ejemplo, la plataforma Open-EdX ha sido usada por muchas instituciones empeñadas en mejorar la calidad de aprendizaje de los estudiantes. El diseño instruccional en la elaboración de un MOOC es un elemento fundamental para el éxito o fracaso del curso. Zapata (2015) recomienda seguir una metodología de 6 fases para construirlo, a saber: 1) establecer los objetivos; 2) seleccionar y construir unidades de aprendizaje; 3) elaborar la guía docente; 4) hacer la guía didáctica para el alumno; 5) organizar los materiales considerando objetivos y evaluación; 6) elaborar la guía de comunicación entre profesores y alumnos.

En conclusión, la propuesta de este trabajo es construir un curso de Ecuaciones Diferenciales en la plataforma Open-EdX. Los objetivos de este curso son promover el desarrollo de competencias de modelación matemática y mejorar las habilidades algorítmicas de los alumnos. Además, el curso debe caracterizarse por el uso de herramientas tecnológicas de vanguardia, estar estructurado con actividades de resolución de ejercicios interactivos y problemas complejos y con un sistema de evaluación semiadaptativa.

■ Diseño del curso

El curso contiene cinco módulos. En el primero “Análisis de las ecuaciones diferenciales de primer orden” se revisan los conceptos básicos y se muestran ejemplos de aplicación en diversas áreas. El segundo módulo “Estudio de las ecuaciones diferenciales de segundo orden” tiene como objetivo analizar situaciones emanadas de la mecánica clásica donde, de manera natural, aparecen ecuaciones de segundo orden. El tercer módulo “Comprendiendo la Transformada de Laplace” se dedica al estudio de un paradigma diferente de solución de ecuaciones y sistemas de ecuaciones diferenciales. En el cuarto “El uso de métodos numéricos en la solución de ecuaciones diferenciales ordinarias” se construyen programas para resolver sistemas de ecuaciones diferenciales de forma numérica y se analizan diferentes sistemas físicos mediante las ecuaciones de Hamilton. En el último módulo “Conceptos básicos de las ecuaciones diferenciales parciales” se discuten las ecuaciones clásicas del calor, de la cuerda y de Laplace.

Cada módulo está estructurado en la forma usual de un MOOC y contiene: presentación de entrada, material electrónico de apoyo, teoría básica, práctica de exploración, ejemplos y ejercicios interactivos, problemas y retos, para terminar con una actividad de autoevaluación. En la sección de ejemplos y

ejercicios interactivos se explican detalladamente ejemplos típicos y se enlaza con el entrenador semiadaptativo de ejercicios del tema. El entrenador presenta aleatoriamente ejercicios y los estudiantes reciben retroalimentación inmediata.

En las prácticas de exploración se analizan sistemas físicos mediante el paquete Mathematica. Por ejemplo, en la figura 1 se muestra una práctica de exploración sobre un péndulo doble que requiere, para su análisis, de establecer un sistema de ecuaciones diferenciales.

En el apartado de problemas y retos se presentan situaciones complejas a los estudiantes. Por ejemplo, el reto “¡No hay clases!” trata sobre la modelación de la epidemia de la influenza acontecido en México hace varios años. A partir de los datos los alumnos construyen la ecuación diferencial que modela la situación, el reto se complementa con dilemas éticos. Finalmente, el último apartado de cada módulo se orienta a la evaluación de los estudiantes mediante ejercicios y problemas seleccionados aleatoriamente en la plataforma Open-EdX.

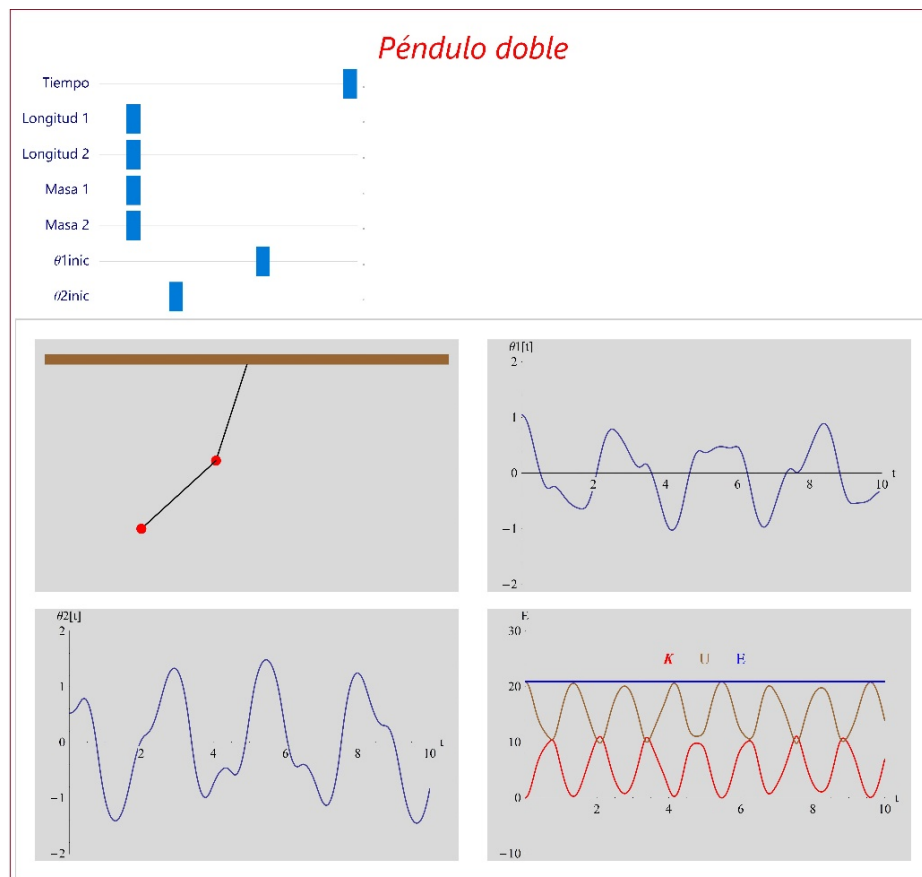


Figura 1. Práctica de sistemas de ecuaciones diferenciales. (Elaboración propia)

■ Investigación

Para realizar la investigación se consideró un grupo de 32 alumnos de todas las carreras de ingeniería del Tecnológico de Monterrey, Campus Estado de México. El curso se impartió mediante el ciclo de aprendizaje Actividad-Clase-Ejercicios-Problema. Primero, los alumnos revisan la teoría y hacen la actividad (A) de exploración de conceptos fuera del aula. Segundo, el profesor y los alumnos revisan la teoría en clase (C). Tercero, fuera del aula los alumnos revisan los ejemplos y hacen los ejercicios (E) interactivos previos a la evaluación en Open-EdX. En la clase siguiente, los alumnos resuelven un problema (P) o reto.

Se analizaron sus exámenes mediante una lista de cotejo que considera estrategia, procedimiento y respuesta y se contrastaron los resultados con alumnos de un grupo testigo. Se analizaron los reportes de los retos mediante rúbrica de cuatro niveles que considera: construcción del modelo matemático, uso de tecnología, uso de lenguaje matemático y análisis de la solución. Finalmente, se encuestó a los alumnos sobre su percepción del curso en línea y de las actividades.

■ Resultados

Para analizar los resultados de los exámenes, se agruparon las preguntas consideradas de forma secuencial. Se seleccionó una muestra de 32 alumnos que no tomaron el curso en línea y 32 alumnos que si lo tomaron. Cada pregunta tuvo un puntaje de 0, 1, 2 o 3 puntos considerando estrategia seguida (correcta o incorrecta), procedimiento (adecuado o inadecuado), respuesta (congruente y correcta o incongruente). En la figura 2 se muestran los resultados de los dos grupos por pregunta y el resultado global en el tema de Transformada de Laplace. En general, los alumnos que usan el curso en línea (M: MOOC) tienen un mejor resultado en sus procedimientos que los alumnos que no lo tomaron (T: Tradicional). Notablemente, preguntas asociadas a problemas en contexto (Aplic: Aplicaciones) son mejor planteadas por los alumnos que tomaron el curso. En las preguntas sobre la parte operativa de transformada de Laplace (TL, de anti transformada (ATL) y de solución de ecuaciones diferenciales (ED-1: Ecuaciones Diferenciales de Primer Orden, ED-2: Ecuaciones Diferenciales de Segundo Orden) los resultados son similares.

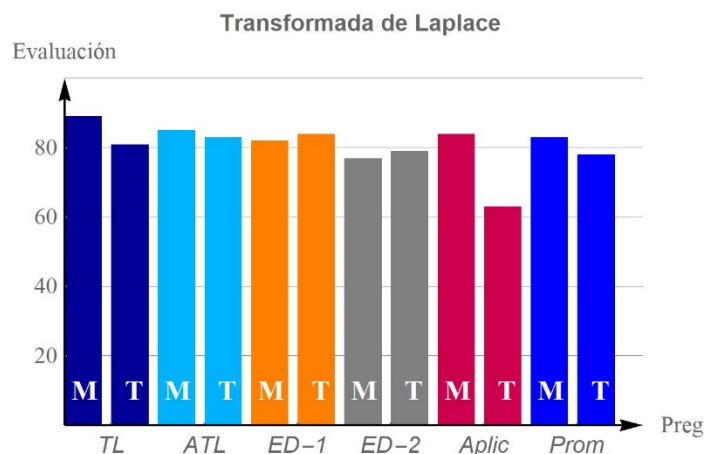


Figura 2. Resultados del examen de transformada de Laplace. (Elaboración propia)

Los retos fueron resueltos en equipos de cuatro alumnos. En la figura 3 se muestran los resultados de los reportes. En general, existe un buen planteamiento del modelo (Esol: Estrategia de solución) y el uso de tecnología (Tec: Tecnología), pero faltó un mayor análisis de la solución propuesta (Asol: Análisis de la solución).

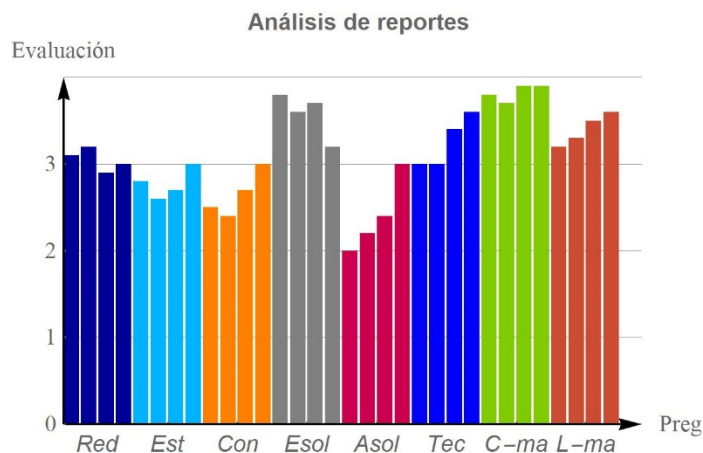


Figura 3. Resultados de los reportes de los retos. (Elaboración propia)

Los resultados de la encuesta de percepción del curso se muestran en la figura 4. Los alumnos consideran que los ejercicios de la plataforma son adecuados (Algorit: Uso de Algoritmos), pero requieren un manual para escribir sus respuestas (Guía). Además, consideran que las prácticas de exploración (Mathema: Mathematica) fueron útiles, que las actividades fueron muy complejas y no se tuvo el apoyo adecuado.

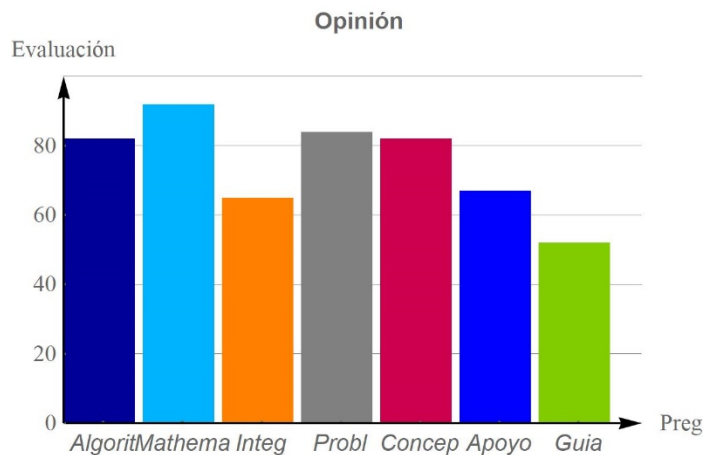


Figura 4. Resultados de la encuesta de percepción del curso. (Elaboración propia)

■ Discusión

Los resultados que se obtuvieron en la prueba piloto sugieren que: los estudiantes mantienen sus habilidades algorítmicas y mejoran sus competencias para resolver problemas complejos, resultado acorde con lo planteado por Trigueros (2009) ya que los estudiantes desarrollan formas creativas de resolver

problemas con tecnología. Al intentar resolver retos, como “No hay Clases”, los estudiantes se involucran más en las propuestas de solución, además el uso de herramientas computacionales les permite analizar más profundamente las sutilezas de sus soluciones, lo que no se puede hacer en cursos convencionales; conclusión similar a la reportada por Rodríguez y Rivera (2016). El trabajar en el curso con una metodología basada en ciclos de aprendizaje permite que los estudiantes usen la tecnología para comprender mejor las ideas matemáticas del curso, lo cual es observable al analizar sus reportes de solución de retos, conclusión acorde con las reportadas por Vizcaíno (2004) En cuanto al análisis del curso, los estudiantes sugieren que faltan apoyos y guías rápidas. Estos apoyos tienen que ver más con las formas de navegar y de interactuar con el entrenador en línea que con los contenidos del curso. De acuerdo con Zapata (2015) se deberán incorporar las sugerencias en el apartado de apoyos para los alumnos y guía del profesor.

■ Conclusiones

El estudio de las ecuaciones diferenciales es fundamental para los estudiantes de ingeniería que las requieren para modelar fenómenos físicos en cursos avanzados. En este trabajo se buscó potenciar las habilidades de los estudiantes en dos competencias básicas: el uso de herramientas tecnológicas de visualización y la modelación matemática de situaciones complejas. Para ello se necesita el apoyo de un curso en línea y material construido exprofeso. Los resultados indican que los alumnos mejoraron en las dos competencias y cuentan ya con algunas herramientas matemáticas para sus cursos posteriores. Por otra parte, el estudio sugiere que los alumnos que usan un entrenador en línea con retroalimentación semiadaptativa desarrollan sus habilidades algorítmicas. Como consecuencia, es posible reducir el tiempo dedicado al estudio de dichos procesos en el aula. Finalmente, todas las actividades propuestas en el curso encajan en un modelo que permite desarrollar habilidades matemáticas y potenciar competencias tecnológicas de los estudiantes.

■ Referencias bibliográficas

- Artigue M. (2011). Tecnología y enseñanza de las matemáticas: desarrollo y aportaciones de la aproximación instrumental. *Cuadernos de investigación y formación en educación matemática* (8) 13-33.
- Dubinsky, E. (2002). Reflective abstraction in advanced mathematical thinking. En D. Tall (Ed.) *Advanced mathematical thinking*, 95-126. Netherlands: Springer.
- ITESM (2016). El aprendizaje basado en retos. Recuperado el 14 de febrero de 2017 de <https://goo.gl/dA3ux8>
- Lehrer, R., & Schauble, L. (2000). The development of model-based reasoning, *Journal of Applied Developmental Psychology*, 21(1), 39-48.
- Rodríguez, R. (2010). Aprendizaje y Enseñanza de la Modelación: el caso de las ecuaciones diferenciales. *Revista Latinoamericana de Matemática Educativa*, 13 (4-1), 191-210.
- Rodríguez, R. & Rivera, S. (2016). El papel de la tecnología en el proceso de modelación matemática para la enseñanza de las ecuaciones diferenciales. *Revista latinoamericana de investigación en matemática educativa*, 19(1), 99-124.
- Santiago, R. (2002). Ecuaciones diferenciales bajo resolución de problemas con apoyo de Learning-Space y Mathematica. En C. Crespo Crespo (Ed), *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa* 15 (2), 893-898. México: Grupo Editorial Iberoamericana.
- Santiago, R., Delgado, D. & Quezada, M. (2012). Sistema de apoyo para el aprendizaje de las matemáticas basado en Web. Compendio de innovación educativa 2012. Proyectos apoyados por el Fondo NOVUS.

- Santiago, R. & Quezada, L. (2013). GenTutor: un sistema generador de entrenadores adaptativo. Documento interno no publicado, ITESM, México.
- Trigueros, M. (2009). El uso de la modelación en la enseñanza de las matemáticas. *Innovación educativa*, 9(46), 75-87.
- Vizcaíno, O. (2004). Evaluación del aprendizaje del cálculo desde una perspectiva constructivista. México: IPN.
- Zapata, M. (2015). El diseño instruccional de los MOOC y el de los nuevos cursos abiertos personalizados. *Revista de Educación a Distancia*, (45).