

Experiencias Docentes

Metodología para la enseñanza de la modelación matemática de problemas de la profesión, vía ecuaciones diferenciales

Methodology for the teaching of the mathematical modeling of problems of the profession, road differential equations

Salvador Fonseca Nueva

Revista de Investigación



Volumen XIII, Número 1, pp. 025-038, ISSN 2174-0410
Recepción: 24 Nov'22; Aceptación: 22 Dic'22

1 de abril 2023

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo proponer una metodología para la enseñanza de la modelación matemática, vía ecuaciones diferenciales, en las carreras de ingeniería. La misma parte de un diagnóstico de las insuficiencias que poseen los estudiantes de estas carreras en el desarrollo de las habilidades básicas y elementales que limitan el desarrollo de la habilidad de modelación matemática. La metodología propuesta está estructurada en tres etapas; nivel de precisión de las habilidades básicas y elementales, nivel de transferencia de estas habilidades y nivel de concreción de la modelación matemática, vía ecuaciones diferenciales. En la última etapa los estudiantes en las prácticas de campo, orientados por el profesor, recopilan información sobre determinados problemas de la profesión, vinculados con la modelación matemática y a través de talleres en el aula construyen los modelos matemáticos, vía ecuaciones diferenciales.

Palabras Clave: Metodología, Modelación Matemática.

Abstract

The objective of this paper is to propose a methodology for teaching mathematical modeling, via differential equations, in engineering careers. The same part of a diagnosis of the insufficiencies that students of these careers have in the development of basic and elementary skills that limit the development of mathematical modeling ability. The proposed methodology is structured in three stages; level of precision of basic and elementary skills, level of transfer of these skills and level of concretion of mathematical modeling, via differential equations. In the last stage, students in field practices, guided by the teacher, collect information on certain problems of the profession, linked to mathematical modeling and through workshops in the classroom they build mathematical models, via differential equations.

Keywords: Methodology, Mathematical modeling

1. Introducción

El Ingeniero tiene su propio modo de actuación expresado en los campos de acción de la ciencia y la técnica, siendo el objetivo principal la explotación de los sistemas de ingeniería. Para alcanzar este desarrollo precisa de una formación básica matemática, que le permita aplicar los conocimientos adquiridos en asignaturas básicas y en otras con carácter más específico dentro de la carrera. Una de las habilidades que debe desarrollar el ingeniero para poder interpretar de forma acertada a la realidad es la modelación matemática de los problemas de la profesión pues, esta, le permite simular los diferentes procesos afines a su campo y predecir los resultados en interés de tomar las mejores decisiones. El diseño en ingeniería no es un producto acabado sino una metodología que se apoya en el conocimiento, la inventiva, la creatividad y la toma de conciencia del concepto de urgencia, para visualizar un problema real, formularlo en términos técnicos, explorar posibles soluciones, evaluar alternativas, proponer una o más formas o vías de solución, evaluar los procesos posibles que se necesite usar y sus correspondientes resultados (Cipriano Cruz, 2010). El planteamiento anterior destaca tres elementos importantes, conocimiento, inventiva y la creatividad lo que presupone un alto nivel de preparación.

El tema ha sido abordado por diferentes autores que ejemplifican, a partir de problemas ya definidos como transcurre el proceso de modelación matemática, como un proceso y no como una habilidad, sin detenerse a analizar las principales insuficiencias que presentan los estudiantes al respecto. Entre tantos otros autores, (Plaza, 2015) plantea una nueva forma de enseñar matemáticas en programas de ingeniería aplicando algunas estrategias didácticas, como actividades de campo o laboratorio, las cuales han demostrado su eficacia para que los estudiantes obtengan una mayor comprensión de los diferentes fenómenos y procesos objetos de modelación matemática; dichas estrategias han logrado un incremento conceptual matemático relacionado con la interpretación, formulación y solución de problemas, además de permitir un acercamiento entre el estudiante y la matemática como instrumento útil en el ejercicio de la ingeniería.

Entre tanto, (Hernández Moreno, 2017) plantea que el aprendizaje de la modelación matemática a través de las ecuaciones en diferencias es un tema no resuelto en las facultades de ingeniería, pues las actividades didácticas encaminadas a desarrollar la habilidad de modelar matemáticamente diversas situaciones son muy escasas en los cursos de ecuaciones diferenciales y en diferencias y matemática discreta.

Otros autores, en la literatura revisada, enfatizan la importancia y aplicabilidad de la Matemática a la solución de los problemas profesionales, entre ellos Brito Ballina (2015), la cual considera la Modelación Matemática como una de las habilidades a desarrollar en los estudiantes de ingeniería pues la misma crea en los estudiantes una capacidad y habilidad necesarias para la solución de posibles problemas prácticos. También el profesor colombiano Villa –Ochoa, (2015), prepondera el papel de la modelación matemática en la formación de los futuros ingenieros.

El plan de estudio E (MES, 2018), para las carreras de ingeniería, contempla la modelación matemática como un objetivo esencial. Sin embargo, se ha podido comprobar que existen otras insuficiencias que limitan el desarrollo sistemático de esta habilidad como las siguientes:

- Pobre desarrollo de las habilidades matemáticas básicas e intelectuales que sirven de base para el futuro desarrollo de la habilidad de modelación matemática de problemas de la profesión.
- La bibliografía básica que emplean los estudiantes de ingeniería no está actualizada.
- No existen alternativas metodológicas en el tratamiento de la habilidad de modelación matemática de problemas de la profesión.
- Existen limitaciones en la preparación de los docentes para dirigir el proceso de desarrollo de la habilidad de modelación matemática de problemas de la profesión en las carreras de ingeniería.

Resulta obvio que el estudiante que estudia ingeniería debe poseer conocimientos y habilidades matemáticas, pero como se hacía referencia anteriormente se necesita además la creatividad para la definición y formulación de un problema de la profesión y modelarlo matemáticamente y sobre todo tener la sensibilidad de, si algo en su campo de acción funciona mal, hacer algo al respecto.

2. Materiales y métodos

La investigación fue realizada en la carrera de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Ciencias Técnica de la Universidad de Granma. La metodología se aplicó a 22 estudiantes de una población de 70 estudiantes, en la asignatura de Matemática II y en el tema relacionado con las ecuaciones diferenciales y sus aplicaciones.

El ingeniero agrícola tiene su campo de acción en la explotación de los sistemas de ingeniería agrícola para los procesos tecnológicos y biotecnológicos de la producción agropecuaria sostenible en los eslabones de base.

2.1 Metodología a aplicar

Objetivo: contribuir al desarrollo de la habilidad de modelación matemática, vía ecuaciones diferenciales, en los estudiantes de la carrera de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Ciencias Técnicas de la Universidad de Granma.

Acciones:

- Análisis de fuentes teóricas relativas a investigaciones sobre el desarrollo de la habilidad de modelación matemática, vía ecuaciones diferenciales, en las carreras de ingeniería.
- Determinación del contenido y las habilidades que tributan a la modelación matemática, según plan de estudio E.
- Elaboración de la matriz de articulación entre los contenidos de la disciplina de matemática y los problemas de la profesión en la carrera de Ingeniería Agrícola.
- Aplicación de encuestas a profesores de experiencia del departamento de Ciencias Básicas e Informática Aplicada y especialistas de la carrera para validar la articulación entre las

habilidades que recibe el estudiante en los cursos de matemática y la habilidad de modelación matemática.

- Aplicación de una prueba pedagógica a los estudiantes de segundo año de la carrera de Ingeniería Agrícola para evaluar el desarrollo de las habilidades matemáticas en torno a la modelación matemática, vía ecuaciones diferenciales.
- Aplicación de la metodología consistente en tres etapas:
 - a) Ejercicios preparatorios. Tienen como objetivo asegurar el nivel de partida para la siguiente etapa, ejercicios de aplicación. Se orientan ejercicios para el desarrollo de las habilidades básicas y elementales que se aplican en el trabajo con funciones exponenciales y logarítmicas y que son necesarias para la Modelación Matemática, vía ecuaciones diferenciales.
 - b) Ejercicios de aplicación: el objetivo de esta etapa es la problematización del contenido con carácter profesional con vista a la transferencia de la habilidades básicas y elementales a la resolución de problemas contextualizados con su profesión, como cálculo con potencias, logaritmos naturales y propiedades de las funciones exponenciales.
 - c) Ejercicios de modelación matemática, vía ecuaciones diferenciales: es la etapa de concreción de la Modelación Matemática, pero no directamente como aparecen en la bibliografía tradicional, sino a través de actividades independientes y motivadoras que realizaron los estudiantes en su práctica de campo.

Los ejercicios se fueron socializando a través de grupos de WhatsApp y entornos de aprendizaje como la MOODLE, en interés de aprovechar las posibilidades que brindan las redes sociales y las plataformas de aprendizaje ya que los ejercicios de la primera etapa no se contemplan de forma directa en el programa de la asignatura de Matemática II.

La metodología cuenta con tres momentos fundamentales, la planeación, ejecución y evaluación. Cada etapa se planifica, se ejecuta y se evalúa. También se distinguen, en cada etapa, las acciones del profesor y del estudiante.

3. Análisis y discusión de los resultados

3.1 Aplicación de la metodología

En la primera etapa se orientaron ejercicios sobre cálculo con potencias y logaritmos, funciones exponenciales y sus propiedades haciendo énfasis en los tipos de cálculo que más se utilizan en la modelación matemática utilizando modelos en función del tiempo. Se evaluó el nivel de precisión del desarrollo de las habilidades básicas y elementales.

En la segunda etapa se orientaron ejercicios de aplicación a la especialidad utilizando problemas relacionados con la variación de una magnitud física con respecto al tiempo. Se evaluó el nivel de transferencia de las habilidades en la resolución de problemas.

En la tercera etapa se aprovechan las posibilidades que brinda la práctica laboral de los estudiantes en las entidades agrícolas para orientar una Hoja de Trabajo, donde los estudiantes tienen que recopilar informaciones, datos relacionados con los problemas de su profesión como por ejemplo: propagación de plagas, contaminación del suelo, deformaciones de puentes en los ríos y canales entre otros para luego en el aula realizar talleres y construir de forma conjunta los modelos matemáticos, vía ecuaciones diferenciales.

3.1.1. Ejercicios de la etapa preparatoria

Los problemas propuestos en esta etapa fueron:

1. Despejar t en las siguientes expresiones:

a) $e^{2t} = 8$

b) $\frac{1}{e^t} = 2$

c) $\ln t = 2$

2. Calcule el valor de k en las siguientes expresiones:

a) $e^{2k} = 1,0120$

b) $e^{-0,0021k} = 0,2341$

c) $\frac{1}{e^k} = 0,0002$

d) $\ln e^{0,2k} = 0,0012$

e) $e^{\ln 0,1k} = 1,1245$

3. Obtenga el gráfico de la función $Y = 0.0124 e^x$.

4. Formule matemáticamente las siguientes proposiciones:

- La velocidad de un cuerpo es igual a la variación de su desplazamiento con respecto al tiempo.
- La intensidad instantánea de la corriente eléctrica se expresa como la variación de la carga con respecto al tiempo.
- El crecimiento de una población con respecto al tiempo es proporcional a la población en un instante t.
- La variación del peso de un individuo en un período de tiempo.
- El decrecimiento de una sustancia N en un período de tiempo.
- La disminución de la temperatura de un metal es proporcional a la diferencia de la temperatura del objeto y la temperatura ambiente.

3.1.2. Ejercicios de la etapa de aplicación

Fueron los siguientes:

1. Un cultivo de 2048 bacterias se multiplica de forma tal que cada minuto dobla el número de ellas, ¿cuántas bacterias habrá dentro de 20 minutos?

Solución:

Primer día: $N(0) = 2048$

Segundo día: $N(2) = 2 * 2048$

Tercer día: $N(3) = 2^2 * 2048$

Cuarto día: $N(4) = 2^4 * 2048$

.....

$$f(t) = 2048 * 2^t$$

$$f(20) = 2048 * 2^{20} = 4\,294\,967\,296$$

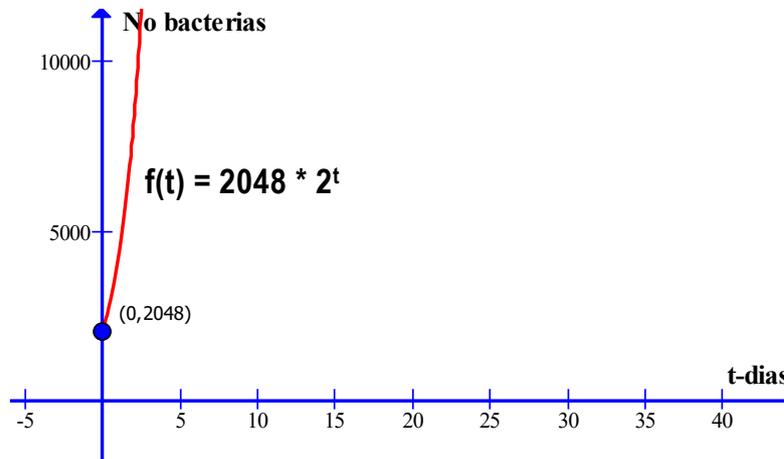


Figura 1: Gráfico de la función exponencial y sus soluciones particulares

Este ejercicio permite al estudiante buscar un procedimiento matemático que le permita simplificar el cálculo pues no es lo mismo calcular veinte veces el duplo de 2048 que calcular $2048 * 2^{20}$, aquí radica la ventaja del procedimiento con respecto al cálculo tradicional y a la vez va preparando las condiciones para la construcción de modelos matemáticos, vía ecuaciones diferenciales, en función del tiempo.

3.1.3. Ejercicios de modelación matemática, vía ecuaciones diferenciales.

Esta etapa cuenta con cuatro acciones antes de llegar a la construcción del modelo matemático, ellas son:

- **Orientación de la hoja de trabajo.**

Hoja de trabajo.

Asignatura: Matemática II Año: primero. Semestre: segundo

Objetivo: desarrollar un grupo de actividades relacionadas con el estudio de los problemas de la profesión entre los que se encuentran el perfeccionar los principales elementos de los sistemas de ingeniería para los procesos tecnológicos y biotecnológicos de la producción agropecuaria sostenible en sus eslabones de base.

A continuación, te relacionamos cuatro problemas de la profesión a los cuales te enfrentarás en el desarrollo de la práctica laboral. En cada uno de ellos deberás realizar las actividades que se te indican.

1. La propagación de plagas en los cultivos es un fenómeno frecuente. Estas causan un daño enorme si no se controlan por lo que resulta necesario su estudio. Uno de los métodos más efectivos para el estudio de este fenómeno es la modelación matemática, pero para su

aplicación se necesita de toda la información posible por lo que te invitamos a realizar las siguientes actividades al respecto.

- a) Investiga cuáles son las principales plagas que atacan a los cultivos de la entidad agrícola donde realizas la práctica laboral.
- b) ¿Cuál es su velocidad de propagación con respecto al tiempo?
- c) ¿Cuáles son las medidas para el control de las mismas?

2. La maquinaria agrícola, las bombas para agua (turbinas) son muy utilizadas en las labores agrícolas. Su sobreexplotación ocasiona roturas frecuentes producto del recalentamiento del motor, de cables eléctricos deformados, de este problema investigue:

- a) ¿Cuál es la temperatura que indica que el motor de un tractor o de una turbina se ha sobrecalentado?
- b) ¿Qué medidas adoptan los operarios ante la situación anterior?

3. La construcción de puentes en los ríos y canales es de vital importancia para el traslado de los equipos agrícolas pesados como las gradas, multilabradoras y los propios tractores. Investigue:

- a) Los materiales con los que fueron construidos los puentes.
- b) El nivel de flexión que han sufrido los puentes y a qué curva matemática se asemeja.

4. El uso de fertilizantes, como la UREA, es muy frecuente en la agricultura. Investigue la forma de preparación para su uso foliar teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Nivel de concentración de la UREA en agua.
- b) Dosis por cada metro cuadrado.
- c) Nivel de contaminación del suelo provocado por los plaguicidas.

Las respuestas de estas actividades permitirán realizar los talleres en las clases para la construcción de MODELOS MATEMÁTICOS, vía ecuaciones diferenciales.

3.1.4. Realización de talleres.

Primera situación

En un taller de maquinado se fabrican piezas de repuestos a partir de la fundición de metales reciclados, pero no se tiene precisión del tiempo que se dedica a los diferentes tratamientos que se les aplican a las piezas una vez extraídas del molde. Los estudiantes recopilaron la información necesaria sobre los principales parámetros como la temperatura cuando sale del molde, temperatura ambiente y midieron varias veces el tiempo y la temperatura entre los diferentes tratamientos que se aplicó a las piezas.

- a) Definición del problema.

Una pieza fundida se extrae de un molde a una temperatura de $131^{\circ}C$. Pasados diez minutos la pieza posee una temperatura de $100^{\circ}C$ ¿si la temperatura ambiente es de $31^{\circ}C$, en qué tiempo la pieza alcanza una temperatura ideal de $35^{\circ}C$ para su próximo tratamiento?

b) Búsqueda de la vía de solución.

Como se trata de la variación de una temperatura mayor a una menor la ley que gobierna a este problema es la ley de enfriamiento de Newton: $\frac{dT}{dt} = \alpha(T - T_a)$, donde:

T : temperatura máxima de la pieza. t : Tiempo. T_a : temperatura ambiente.

La expresión es una ecuación diferencial de **variable separable** cuya solución es

$$T(t) = Ce^{\alpha t} + T_a.$$

c) Construcción del modelo.

De acuerdo a las condiciones iniciales del problema se calculan los parámetros del modelo obteniéndose: $T(t) = 100e^{-0.0371t} + 31^\circ$ MODELO

d) Comprobación del modelo.

$$\text{Para } T(0) = 131^\circ$$

$$T(0) = 100e^{-0.0371 \cdot 0} + 31 = 131$$

$$\text{Para } T(10) = 100^\circ$$

$$T(10) = 100e^{-0.0371 \cdot 10} + 31 = 100e^{-0.371} + 31$$

$$T(10) = 100 * 0.69 + 31 = 100$$

e) Validación del modelo.

$$35 = 100e^{-0.0371 \cdot t} + 31$$

$$100e^{-0.0371 \cdot t} = 4$$

$$e^{-0.0371 \cdot t} = 0.04$$

Introduciendo logaritmo natural

$$-0.0371 * t = -3.2188, t = 87 \text{ minutos}$$

Respuesta: la pieza alcanza la temperatura ideal aproximadamente a los 87 minutos.

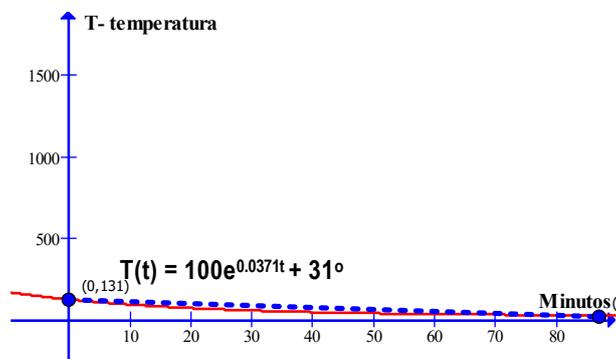


Figura 2: Soluciones particulares del modelo

Segunda situación

Los estudiantes observaron, en un cultivo de tomates, una plaga que por sus características parecía tratarse de la mosca blanca. Investigaron y comprobaron que se trataba de la mosca blanca, se motivaron en el estudio de este problema de la profesión y definieron el siguiente problema.

a) Definición del problema.

Un cultivo de 2000 plantas de tomates es atacado por la mosca blanca (Bemisiatabaci) Inicialmente ha afectado al 1 % de las plantas. La velocidad de propagación de la enfermedad no sólo es proporcional a las plantas infectadas sino a las no infectadas, Si al cabo de tres días el porcentaje de infección asciende al 4%, ¿en cuántos días se infectará el 100% de las plantas?

b) Búsqueda de la vía de solución

La ley que gobierna a este problema es $\frac{dy}{dt} = y_0 r_M (1 - y)$ donde:

y : Plantas infectadas.

$(2000 - y)$: plantas sanas

r_M : Inóculo, tasa de crecimiento de la enfermedad

Resolviendo la ecuación diferencial de variables separadas, por el método de fracciones simple, se obtiene la solución general $y = \frac{2000Ce^{-2000r_M t}}{1 + Ce^{-2000r_M t}}$, luego, aplicando las condiciones iniciales, se obtiene el valor de C y del coeficiente r_M :

$f(t) = \frac{20,20e^{0.4723t}}{1 + 0.0101e^{0.4723t}}$ **MODELO** que también puede expresarse como:

$$f(t) = \frac{20,20}{\frac{1}{e^{0.4723t}} + 0.0101}$$

c) Comprobación del modelo

Tabla 1. Análisis de los resultados del modelo.			
Tiempo (t-días)	0	3	15
Nº Plantas infectadas	20	80	1848

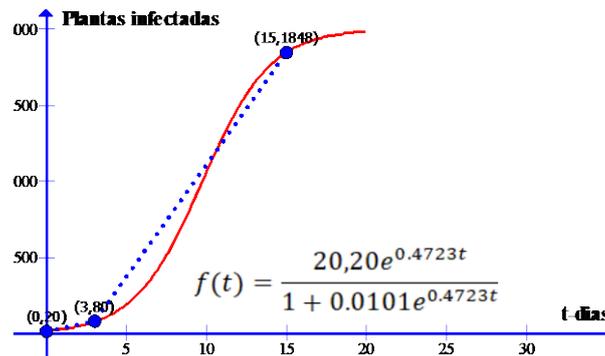


Figura 3: Soluciones particulares del modelo

Tercera situación

La UREA es un fertilizante que se aplica al suelo y provee de nitrógeno a las plantas, pero también se disuelve en agua para aplicar a las hojas de las plantas, sobre todo a los cítricos y frutales.

a) Definición del problema.

Se disuelven inicialmente 300 gramos de UREA en un tanque que contiene 800 Litros de agua. Se bombea UREA líquida al tanque a razón de 2 Lt/min, Figura 4.

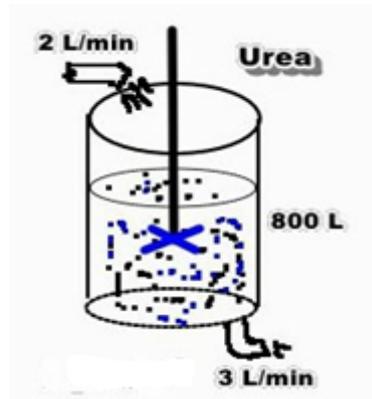


Figura 4: Disolución de urea

Luego la disolución mezclada adecuadamente se bombea fuera del tanque a razón de 3 Lt/min. Si la concentración de la disolución que entra al tanque es de 20g/Lt, determine la cantidad de UREA que hay en el tanque en un instante cualquiera.

Solución:

Como se observa en la figura 4, se trata de un problema de transporte de sustancia, donde:

$Y(t)$: cantidad de UREA en un instante t , $C(t)$: concentración de urea en un instante t .

La ley que gobierna a este problema se expresa:

$$\frac{dY}{dt} = (v_1 c_1) - (v_2 c_2), \text{ donde:}$$

$v_1 c_1$: Rapidez con que entra la sustancia

$v_2 c_2$: Rapidez con que sale la sustancia.

$$\frac{dY}{dt} = \left(\begin{array}{l} \text{Rapidez con que} \\ \text{la sustancia entra} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{Rapidez con que} \\ \text{la sustancia sale} \end{array} \right)$$

$$\frac{dY}{dt} = R_1 - R_2$$

$$R_1 = V_1 C_1 = 2 \text{ Lt/min} \cdot \frac{20 \text{ g}}{\text{Lt}} = 40 \text{ g/min}$$

$$C_2 = \frac{\text{Cantidad de UREA}}{\text{cantidad total}}. \text{ Se conoce que la cantidad de UREA es } y(t), \text{ luego } C_2 = \frac{Y(t)}{\text{cantidad total}}$$

¿Cómo encontrar la cantidad total?

Es la cantidad que va quedando en el tanque en un instante t más la cantidad que había inicialmente, es decir: $\text{cantidad total} = (V_1 - V_2)t + 800$, luego:

$$C_2 = \frac{\text{Cantidad de UREA}}{\text{cantidad total}} = \frac{Y}{800 - t}$$

$$V_2 C_2 = 3 \frac{Y}{800 - t}$$

$$\frac{dY}{dt} = \frac{40 \text{ g}}{\text{min}} - 3 \frac{Y}{800 - t}$$

$$\frac{dY}{dt} + \frac{3}{800-t} Y = 40 \text{ Ecuación diferencial lineal } Y' + p(t)Y = Q(t)$$

Resolviendo la EDL e introduciendo la condición inicial, se tiene:

$$Y(t) = 16000 - 20t - 0,00003(800 - t)^3 \text{ MODELO}$$

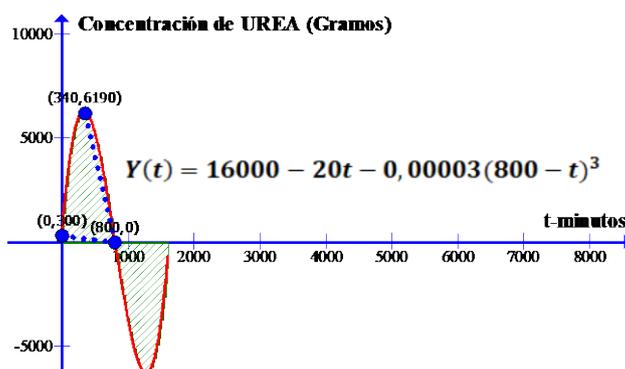


Figura 5: Solución particular del modelo

Análisis del modelo

$$\text{Para } t = 0, Y(0) = 16000 - 20 \cdot 0 - 0,00003(800)^3 = 16000 - 15700 = 300 \text{ g.}$$

$$\text{Para } t = 30 \text{ min, } Y(30) = 16000 - 20 \cdot 30 - 0,00003(770)^3 = 15400 - 13695 = 1705 \text{ g}$$

El tanque se vacía en: $Y(800) = 16000 - 20.800t - 0,00003(800 - 800)^3$

$$Y(800) = 0$$

3.2 Evaluación de los resultados

Se evaluaron los elementos relacionados con las dos primeras etapas de la modelación matemática, vía ecuaciones diferenciales, puesto que es donde más insuficiencias presentan los estudiantes y por la existencia de software para la solución de estos modelos.

- Definición del problema y sus objetivos.
 - a) Motivación hacia la solución del problema.
 - b) Identificar la ley que gobierna al problema (en problemas de la profesión, regularmente, se identifica la ley que gobierna al problema: leyes de la Física, la Química, la Biología, Económicas, entre otras)
 - c) Definición del problema.
- Búsqueda de la vía para la construcción del modelo matemático.
 - d) Interpretación: dividir el texto en partes lógicas, traducir del lenguaje común al matemático, construcción de gráficos auxiliares, esquemas lógicos y extraer la información.
 - e) Establecer relaciones entre las partes y el todo: plantear hipótesis, establecer vínculos causales.
 - f) Búsqueda de la vía de solución: establecer hipótesis, relaciones, vínculos causales entre lo que se pide, la información que se da, y los datos que hacen falta.
 - g) Concreción de la vía de solución: ecuación diferencial

Resultados obtenidos:

Tabla 2. Resultados del desarrollo de las habilidades.							
Habilidades	a	b	c	d	e	f	g
Aprobados	22	15	12	14	14	18	15

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos en la presente investigación permitieron llegar a las siguientes conclusiones:

- El desarrollo de las habilidades básicas y elementales con relación a las propiedades de las potencias, de las funciones exponenciales y logarítmicas resulta un tema recurrente e importante a la hora de construir un modelo matemático, vía ecuaciones diferenciales, en función del tiempo.
- La profesionalización del contenido de la enseñanza en la disciplina de matemática motiva

a los estudiantes hacia el estudio de la misma.

A pesar de que la Modelación matemática constituye un acto de creación, la metodología aplicada demostró que se puede enseñar a un número significativo de estudiantes a modelar matemáticamente.

Referencias

- [1] BOCCO, M. Funciones elementales para construir modelos matemáticos, 98-125. Ministerio de Educación de la Nación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica. Volumen I. Buenos Aires, 2010
- [2] BRITO-VALLINA, M.L. Papel de la modelación matemática en la formación de los ingenieros. Ingeniería Mecánica. Vol. 14. No. 2, mayo-agosto, 2011, p. 129-139. La Habana, 2015.
- [3] CRUZ, C. La enseñanza de la modelación matemática en ingeniería. Fac. Ing. UCV v.25 n.3 Caracas, 2010.
- [4] GARCÍA, J. P. Modelado y Resolución de Problemas de Organización Industrial mediante Programación Matemática Lineal. Grupo de investigación ROGLE. Departamento de Organización de Empresas. Curso 2015/2016
- [5] GUZMÁN P. Propuesta didáctica de modelación matemática que involucra ecuaciones diferenciales para una formación de futuros ingenieros. Tesis Doctoral, 1-15. México, D.F., 2016.
- [6] HERNÁNDEZ, N. Modelo didáctico para el aprendizaje de la modelación matemática a través de las ecuaciones diferenciales. 2, (4), 1-86, 2017. Colombia, 2017.
- [7] Plan de estudio "E". Ministerio de Educación Superior de la República de Cuba, 2018.
- [8] PLAZA L. Modelación matemática en ingeniería. Revista de investigación educativa, 2017.
- [9] VILLA J. Formative assessment of pre-service teachers knowledge on mathematical modeling. Mathematics, 9(8), 851. 2021.

Sobre el autor:

Nombre: Salvador Fonseca Nueva

Correo Electrónico: salfonsecan@gmail.com

Institución: Universidad de Granma, Cuba.