Process Control as a Source of Integrator Problems for a Differential Equations Course in Bioengineering

G. A. Merino, M. M. Añino and E. P. Ravera

***Abstract*— Bioengineering is a multidisciplinary program. With its foundations in basic science, Bioengineering applies different technological principles in order to solve problems in the health area. Mathematics, thanks to its methodological and conceptual insights, is an invaluable tool not only in the education of future bioengineers, but also in their professional activities. However, Mathematics courses represent an obstacle to many engineering students. Enhancing the teaching of Mathematics in this context is a need and a challenge for teachers. In this work, problem-solving activities that were carried out in a Differential Equations course are described. They aimed at fostering both the development of the students learning strategies, and the linking of mathematical concepts and methods to other areas. We focused on the possibility of bridging the gap between Differential Equations and Process Control through integrative problem-solving activities that articulate both perspectives and modes of thought.**

***Keywords*— Engineering Education, Problem Solving, Differential Equations.**

I. INTRODUCCION

ENTRE las actividades que el bioingeniero desarrolla en su vida profesional encontramos la elaboración y dirección de proyectos relacionados con el diseño y la fabricación de productos que permiten la asistencia en el diagnóstico y el tratamiento de pacientes. La Bioingeniería con sus cimientos en las ciencias básicas (matemática, física, química) aplica distintos principios tecnológicos con el objetivo de: controlar variables fisiológicas en tratamientos terapéuticos, modelizar y simular biosistemas y estructuras anatómicas, obtener y procesar señales e imágenes biomédicas, entre otros.

La matemática aporta conceptos y métodos para la comprensión de estas tecnologías aplicadas a la medicina y también para el avance de las mismas. Es entonces una herramienta indispensable, no sólo en el proceso de formación del bioingeniero, sino también para su futuro ejercicio profesional o en las actividades de especialización y perfeccionamiento. Los conceptos, métodos y formas de pensamiento propios de la matemática conjuntamente con la informática, las tecnologías de base y las disciplinas específicas, permitirán al bioingeniero desenvolverse con soltura en el diseño y cálculo de instrumental biomédico o instalaciones hospitalarias. Para el estudiante de Bioingeniería es necesario entonces conocer conceptos y técnicas de la matemática para comprender los modelos de fenómenos naturales correspondientes al campo de la física, la química, la biología, la fisiología y biofísica.

Por otra parte la resolución de problemas en asignaturas técnicas como Electrónica Lineal y No Lineal, Termodinámica, Electrotecnia, Mecánica de Fluidos, Control Básico y otras específicas de la carrera, como Biomecánica, Biomateriales, Control Avanzado y Automatismo, Modelos de Sistemas Biológicos, Procesamiento de Imágenes Biomédicas, involucran la aplicación de conceptos y procedimientos matemáticos, en muchos casos con apoyo informático. A partir de las mencionadas características de esta carrera surge la necesidad de promover una interacción dinámica entre los cursos de matemática y otras asignaturas.

Los docentes de los cursos de matemática correspondientes al segundo año de la carrera de Bioingeniería, en los cuales se estudian dos ramas de la Matemática Aplicada: el Cálculo Vectorial y las Ecuaciones Diferenciales, asumen entonces el reto de planificar actividades de aprendizaje que permitan vincular la matemática con otras disciplinas ciencias sin perder de vista sus aspectos esenciales y teniendo en cuenta las dificultades observadas en el alumno ingresante y las necesidades del futuro bioingeniero.

Esta situación implica considerar diferentes aristas. En primer lugar el refuerzo de los conocimientos previos del área matemática necesarios para abordar nuevos contenidos. Por otra parte es conveniente hacer énfasis en aquellos conceptos y métodos de valor formativo y la transferencia de los mismos a situaciones problemáticas planteadas en diferentes áreas de interés para un futuro bioingeniero. Teniendo presente, que una de las metas es promover en el estudiante su gradual independencia de manera que pueda autorregular y controlar su propio aprendizaje.

Surgen entonces los siguientes interrogantes:

¿Es necesario seguir un esquema secuencial lineal que implique reforzar primero los conceptos previos, luego abordar los nuevos y finalmente las aplicaciones?, ¿Incorporar la enseñanza de estrategias de aprendizaje presupone un tiempo extra en desmedro del necesario para abordar los temas propios de la disciplina?, Si se ha observado que los conocimientos básicos previos son insuficientes, ¿es posible dedicarle un tiempo a problemas de aplicación en los cuales haya que usar conceptos y métodos matemáticos en otros contextos?

G. A. Merino, Universidad Nacional de Entre Ríos, Oro Verde, Argentina, merino.gabriela33@gmail.com

M. M. Añino, Universidad Nacional de Entre Ríos, Oro Verde, Argentina, maena@gigared.com, pidmate2@bioingenieria.edu.ar

E. P. Ravera, Universidad Nacional de Entre Ríos, Oro Verde, Argentina, emilianoravera@bioingenieria.edu.ar

Estos interrogantes, entre otros, y el reconocimiento de la complejidad inherente a los procesos de enseñanza y de aprendizaje, han originado una indagación que intenta profundizar en la situación iniciando un proceso de Investigación-Acción (IA). Surge así un espacio interdisciplinario en el que profesionales del área de la Matemática, de la Ingeniería, de la Lengua, de las Ciencias de la Educación y estudiantes avanzados de la carrera de Bioingeniería indagan sistemáticamente y desde distintas perspectivas estos procesos. En este trabajo se relata una de las experiencias desarrolladas en este marco. Se describe el diseño e implementación de actividades que promuevan en los estudiantes que se encuentran tomando el curso de Ecuaciones Diferenciales la utilización de estrategias de aprendizaje (cognitivas y metacognitivas). Simultáneamente se pretende que faciliten la vinculación de conceptos y métodos matemáticos con otras áreas de interés para el futuro bioingeniero. Este trabajo muestra en particular la posibilidad de establecer un puente entre Ecuaciones Diferenciales y Control de Procesos a través de problemas integradores que articulen perspectivas y formas de pensamiento de ambas asignaturas.

II. Metodología y marco conceptual

A. Metodología

Como se mencionó en la introducción se aplicó la metodología de IA para buscar las respuestas a los interrogantes planteados. Wilfred Carr y Stephen Kemmis (1988) expresan que la IA no trata de conseguir fórmulas pedagógicas sino fórmulas de acción que ayuden a la superación de problemas tomando decisiones que afecten la práctica educativa. En esta metodología, la participación de quienes están involucrados en el problema a investigar se convierte en el eje articulador básico. Desde este punto de vista, cada docente es un investigador. La investigación y la docencia se integran [1], [2].

La IA se desarrolla a través de un proceso continuo de ciclos en espiral como se muestra en la Fig. 1. En el primer ciclo se define el problema, se planifican e implementan acciones, se observan y analizan los resultados obtenidos y se reflexiona sobre la experiencia con el objetivo de iniciar un nuevo ciclo en el cual se busca mejorar algún aspecto deficitario del ciclo anterior o resolver un nuevo problema [2].

B. Marco Conceptual

Las siguientes perspectivas guiaron el diseño de las nuevas actividades implementadas. En primer lugar, la resolución de problemas y el diseño son dos de las actividades propias de la ingeniería por lo que el desarrollo de las habilidades correspondientes constituye un punto central de atención a la hora de repensar la enseñanza en esta carrera. Desde este punto de vista el rol del docente es facilitar el desarrollo y aplicación de procesos eficaces de solución de problemas.

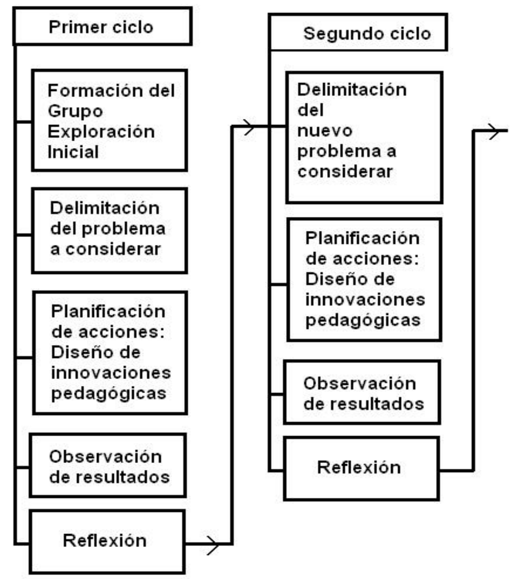

Figura 1. Ciclos del proceso de Investigación - Acción.

Esto implica proporcionar al estudiante experiencias que le permitan situar el problema en un contexto determinado, identificar el objetivo, formular un plan sistemático para alcanzarlo, buscar fuentes de información, evaluar la credibilidad de las mismas, identificar las ideas principales, crear numerosas opciones, clasificar y priorizar, hacer observaciones, analizar y sintetizar, formular y aplicar criterios mensurables para hacer juicios, desarrollar argumentos convincentes de la validez o la verosimilitud de una hipótesis o tesis, generar nuevas preguntas o experimentos para resolver incertidumbres y supervisar su proceso de solución continuamente, revisarlo y plantear alternativas [3].

En el contexto de la matemática, los investigadores de la resolución de problemas observan dos etapas: antes y después de 1945, año en el que el pedagogo y matemático G. Pólya publica su obra “How to solve it”, en la cual describe cuatro fases en la resolución de un problema: comprensión del mismo, concepción de un plan para encontrar la solución, ejecución del plan y visión retrospectiva a través de la cual se analiza la validez de los resultados. En cada fase Pólya propone una serie de reglas o procedimientos (heurísticas) algunas de las cuales se originan en las reglas de Descartes tales como descomponer un problema complejo en situaciones más simples o realizar un diagrama. La obra de Pólya aporta una serie de sugerencias (heurísticas) para progresar en cada fase.

Posteriormente un programa de investigación que ha inspirado una serie de estudios en la resolución de problemas es el dirigido por Alan H. Schoenfeld (1992). Este investigador define diferentes categorías de conocimiento y comportamiento que aparecen involucrados en la actividad matemática considerada como resolución de problemas: el conocimiento de base (recursos matemáticos), las estrategias de resolución de problemas (heurísticas), los aspectos metacognitivos (el conocimiento sobre el propio proceso de pensamiento o auto-regulación durante la resolución del problema), los afectos y creencias (sentimientos, estados de ánimo, actitudes, apreciaciones sobre las propias habilidades y sobre lo que significa hacer y saber matemática, entre otros factores) y también la comunidad de práctica (la interacción colaborativa entre pares, la comunicación docente-alumno, incide en el desarrollo de habilidades) [4].

Juan I. Pozo hace notar que aplicar estrategias de resolución de problemas (heurísticas) difiere de la utilización automática de técnicas aprendidas por ejercitación. Durante la planificación es necesario seleccionar el método más adecuado y al finalizar el proceso es preciso elegir recursos para determinar la validez de la estrategia usada [5]. En ambos casos interviene el conocimiento no sólo de métodos, procedimientos y algoritmos sino también el conocimiento teórico-conceptual específico que los sustenta. Si los métodos conocidos no satisfacen las condiciones del problema o presentan debilidades, entonces comienza una indagación que puede conducir al estudiante a incorporar nuevos conocimientos. Esto indica que la enseñanza y el aprendizaje de estrategias de solución de problemas no son independientes de los contenidos disciplinares [5].

Desde la psicología cognitiva y otras corrientes se reconoce la importancia de las variables motivacionales y afectivas en el desempeño de las tareas cognitivas. Los resultados de investigaciones realizadas por diferentes autores mostraron la importancia de incentivar el interés de los estudiantes por la tarea a realizar a través de explicitar su utilidad y aplicabilidad. Se genera una buena disposición por una tarea si se percibe como útil y significativa. El mostrar la importancia que determinados conocimientos y procedimientos tienen para la formación integral de un futuro ingeniero, contribuye a que los estudiantes busquen aprender y no sólo una calificación para aprobar. La motivación en la presentación de un tema condiciona la atención, despierta la curiosidad y origina preguntas [6], [7].

Desde la Enseñanza Problémica sustentada en la didáctica de Majmutov se concibe al estudiante como un protagonista activo que necesita realizar diferentes acciones para poder apropiarse del conocimiento y desarrollar su intelecto [8]. El docente no brinda un conocimiento acabado sino que presenta situaciones en forma de problemas que inviten a los estudiantes a participar de la búsqueda de nuevos conceptos y métodos, guiados por el profesor con el objetivo de obtener respuestas o soluciones y en ese proceso aprender gradualmente a adquirir conocimientos de forma independiente para luego emplearlos en la solución de nuevos problemas [8].

La motivación aparece aquí vinculada con distintas situaciones o interrogantes que el docente formula para incentivar la inquietud cognoscitiva del estudiante. Los problemas aparecen entonces como disparadores para iniciar el proceso de enseñanza de un determinado tema. Rubinstein ha observado que este primer encuentro entre el estudiante y una determinada temática incide en la permanencia del conocimiento adquirido al transcurrir el tiempo [9]. La situación formulada permite a los estudiantes reconocer que sus conocimientos no brindan respuestas pero que con la guía del docente y a través de diferentes actividades pueden apropiarse de nuevos conceptos y métodos que les permitan arribar a una respuesta o solución [9].

III. Diseño e Implementación.

El análisis bibliográfico de las distintas corrientes que estudian la resolución de problemas, parece indicar que un buen diseño de actividades didácticas con el propósito de desarrollar en el estudiante las habilidades correspondientes, es aquel que tiene en cuenta los distintos aspectos que intervienen:

(a) El problema como motivación para aprender nuevos conceptos y métodos.

(b) La enseñanza de estrategias de resolución en estrecha vinculación con los contenidos disciplinares en un doble sentido: resolver para aprender y aprender para resolver.

(c) La reflexión en torno a los diferentes aspectos metacognitivos que permiten por un lado evaluar actitudes y estrategias empleadas y por otro identificar aquellos conceptos previos y métodos que necesitan ser revisados.

(d) La creación de espacios de interacción con pares y docentes donde intercambiar ideas, comunicar y discutir procedimientos y soluciones, detectar errores o la necesidad de reforzar conocimientos teóricos (previos o nuevos).

A. Actividades implementadas.

Con el marco de referencia descripto se implementaron diferentes actividades entre ellas se encuentran el "Informe Quincenal" y los "Trabajos de Laboratorio de Computación", las cuales se describen en los siguientes párrafos.

1) Informe Quincenal.

El "Informe Quincenal" es una producción escrita realizada por los estudiantes, en grupos (tres integrantes), en horarios extra clase. Describe la resolución de tres problemas asignados por el docente e incluye una actividad metacognitiva. En el informe se detalla no sólo la información que se utilizó, los conceptos requeridos, métodos seleccionados, la justificación de la selección realizada, la descripción de los algoritmos utilizados, los resultados y conclusiones a los cuales arribó el grupo sino que se solicita que reflexionen sobre lo realizado y describan las dificultades encontradas. Con el objetivo de facilitar esta actividad los docentes proponen el uso de organizadores gráficos y un cuestionario. El informe realizado se expone y discute en la clase de práctica. En este espacio se intercambian opiniones, actuando el docente como coordinador.

Como organizador gráfico se sugiere el uso de "Diagramas de Flujo" ya que en ingeniería aparecen en múltiples y diferentes contextos. Son un documento clave en el diseño de un proceso, constituyendo un modelo esquemático del mismo. Permiten visualizar las distintas etapas involucradas, muestran una secuencia específicamente definida de pasos, actividades y métodos, estableciendo las relaciones entre los mismos. Es usual su aplicación en el diseño e implementación de un sistema de control de calidad ya que permite tener una clara visión de los subprocesos involucrados, las responsabilidades, organización, registros de la calidad, acciones preventivas y correctivas. Su simbología tiene su origen en el campo de la computación y la informática. Sin embargo, su primer antecedente se sitúa en la representación de las etapas de un proceso industrial. A tal efecto los distintos elementos que intervienen (tanques, reactores, intercambiadores de calor) se representan mediante esquemas y el flujo de materiales con flechas que los conectan. Se constituyen, entonces, en una herramienta que permite comprender, bajo un formato muy conciso, la "lógica" de un proceso, lo cual puede extenderse, y se ha extendido, a otras disciplinas como la Programación, Matemática, Psicología Cognitiva, entre otras.

En este caso, lo que se pretende es precisamente que el estudiante emplee los diagramas de flujo para identificar cuáles son las etapas para resolver un problema, cuál es el hilo conductor del proceso resolutivo y qué variables deben someterse a controles para evitar errores en dicho proceso. En cada fase de la resolución, se requiere que ingrese, a modo de alimentación lateral, la justificación del método elegido o la información adicional utilizada (conceptual, teórica, datos que no figuran en el enunciado pero se pueden obtener de otras fuentes).

En la Fig. 2 se muestra el tipo de diagrama sugerido para realizar en el informe semanal. Los números encerrados en círculos hacen referencia a ciertas preguntas del cuestionario tendientes a facilitar la discusión grupal, la observación del proceso realizado, la autoevaluación del mismo y la detección de dudas.

A continuación se enuncian las mismas siguiendo la numeración indicada en dicha figura:

(1) ¿Qué estrategias usamos para interpretar el enunciado? ¿Detectamos palabras claves?, ¿Realizamos algún esquema?

(2) ¿Identificamos la incógnita? ¿Clasificamos la información? Analizamos si: ¿Es suficiente? ¿Es redundante? ¿Es contradictoria? ¿Se enuncian hipótesis que acotan el problema o es necesario que las definamos?

(3) ¿Identificamos las variables dependientes, las independientes, la relación entre ellas?

(4) ¿Usamos las leyes naturales que describen los fenómenos involucrados? ¿Comprendemos sus enunciados? ¿Consultamos la bibliografía específica? ¿Empleamos lenguaje matemático para expresarlas? ¿Revisamos los conceptos matemáticos necesarios?

(5) El modelo que obtuvimos, ¿es análogo a otro ya estudiado? ¿Es un caso particular? ¿Podemos clasificar-lo considerando diferentes aspectos?

(6) ¿Analizamos diferentes métodos para encontrar la solución? ¿Revisamos si se cumplen las hipótesis que permiten aplicar cada uno de ellos? ¿Qué criterios usamos para determinar el más adecuado?

(7) ¿Aplicamos algún teorema o propiedad que per-mita simplificar o justificar alguna etapa de la resolución? ¿Aplicamos un teorema de existencia? ¿Hicimos referencia a teoremas que proporcionan condiciones suficientes? ¿Usamos el enunciado original o aplicamos el contrarrecíproco del mismo?

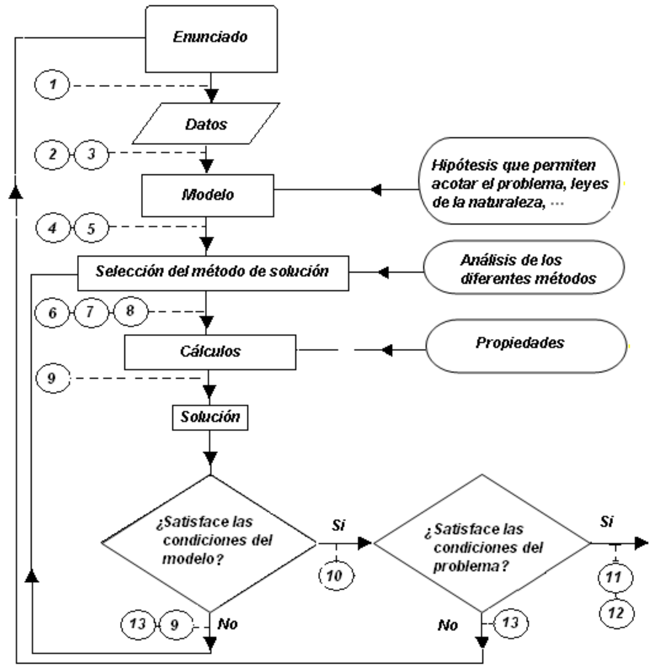

Figura 2. Diagrama de Flujo sugerido para incluir en el "Informe Semanal" y su relación con algunas preguntas incluidas en el cuestionario.

(8) ¿Realizamos conjeturas previas al cálculo sobre el tipo de solución que se espera encontrar?

(9) ¿Verificamos los resultados obtenidos en cada etapa? ¿Explicitamos los métodos o propiedades usadas en la validación?

(10) ¿Analizamos si la solución del modelo matemático es única? ¿Hay otras?

(11) En caso de descartar soluciones del modelo matemático, ¿explicitamos las condiciones del problema original que estas no cumplen?

(12) ¿Qué limitaciones o incertidumbres aparecen?

(13) En caso de no obtener la solución y luego de revisar el proceso: ¿Pudimos identificar los obstáculos que no nos permitieron avanzar en la resolución del problema? ¿Realizamos una lista de puntos a esclarecer en la clase de práctica?

2) Trabajos de Laboratorio de Computación.

Los Trabajos de Laboratorio de Computación incorporan aspectos interdisciplinarios. Se proponen problemas integradores y vinculados a la Bioingeniería, para ser resueltos con la herramienta informática. Se trata de aprovechar la potencialidad numérica, gráfica, simbólica y de cálculo del software matemático disponible. Estos trabajos se diseñan de manera que en la realización de los mismos se apliquen los procedimientos matemáticos generales que contribuyen a la formación de un ingeniero, tales como modelizar, simular, graficar, calcular, comparar, algoritmizar, resolver, interpretar, pero también aplicar definiciones, enunciar hipótesis, refutar, vinculando permanentemente la teoría con la práctica y las aplicaciones propias de la Bioingeniería adecuadas para un segundo año.

Enunciar problemas adecuados para estas actividades para ser abordados por alumnos que cursan el segundo año de Bioingeniería requiere de una búsqueda de material y su adecuación. En la siguiente sección se muestra como el Control de Procesos ofrece preguntas que pueden responderse desde los conceptos estudiados en el curso de Ecuaciones Diferenciales y son accesibles a los alumnos que toman este curso.

B. Control de Procesos como Fuente de Problemas Integradores.

El Control de Procesos es la herramienta que permite al bioingeniero intervenir en diversas circunstancias desde mantener una variable fisiológica dentro de límites especificados hasta el diseño de productos o equipamiento de uso médico que trabajen con parámetros que tomen valores sólo dentro de determinados rangos, por lo tanto resulta interesante buscar en esta disciplina situaciones y problemas motivadores para los alumnos. Al estudiar estos procesos es necesario modelizar sistemas dinámicos y analizar sus características. En un sistema dinámico, las variables evolucionan a través del tiempo ya sea siguiendo una ley natural o por acción de un estímulo externo (entrada) que ocasiona una respuesta (salida). Las tasas de cambio de estas variables, en tiempo continuo, se modelizan con derivadas y en estos casos los modelos matemáticos son Ecuaciones Diferenciales.

Analizando la bibliografía se encuentran algunas cuestiones de interés en el área del Control de Procesos relacionadas con el diseño que pueden ser tratadas con los conceptos y métodos estudiados en el curso de Ecuaciones Diferenciales trabajando con un modelo muy simple de primer orden. Estos modelos aparecen en procesos de mezclas, en la administración y distribución de medicamentos al organismo, entre otros [10], [11], [12].

Se presentan a continuación algunos ejemplos:

1.- En el diseño de medicamentos o de equipos de administración automática de los mismos, se necesita tener información sobre el tiempo que tarda un medicamento en pasar del tracto gastrointestinal al torrente sanguíneo. Se supone que la tasa de eliminación es proporcional a la cantidad de sustancia *y (t)* presente en el tracto digestivo siendo la dosis administrada *y (0) =A*. Queda definido el problema con valor inicial que se muestra en (1).

$$y'(t) = -ky(t), y(0) = A, k > 0 \qquad (1)$$

¿Qué información permite obtener (1)?, ¿Es posible conjeturar una solución de (1) sin efectuar cálculos?, ¿Cómo se verifica que es verdadera o falsa?, ¿La solución encontrada es única? En caso afirmativo ¿cómo se demuestra? Suponiendo que *k* es conocida, ¿en qué unidades está dada? ¿Cuáles son las unidades de k^{-1}?, ¿Qué información brinda?, ¿Cómo estimaría el tiempo de eliminación del medicamento del tracto digestivo?, ¿Cómo puede explorar el comportamiento de diferentes drogas que responden al mismo modelo con diferentes valores de la constante *k* y producen el mismo efecto terapéutico? Si clínicamente es necesario que el medicamento pase a la sangre en un tiempo menor que un tiempo preestablecido t_{max}. ¿Cuál es la alternativa?

Con este ejemplo se intenta mostrar que, desde el comienzo del curso y con modelos muy simples, es posible ir presentando el tema invitando a pensar los conceptos matemáticos desde el contexto del problema para luego formalizar.

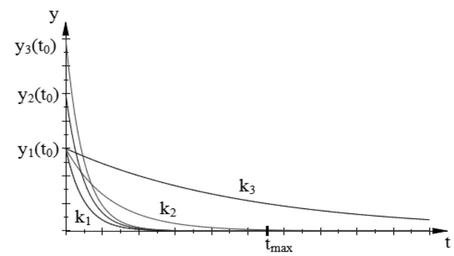

Figura 3. Simulación de dos casos: evolución de un determinado medicamento para tres condiciones iniciales y_1 (t_0), y_2 (t_0), y_3 (t_0) y constante de eliminación k_1; evolución de tres medicamentos distintos (k_1, k_2, k_3) a partir de una misma condición inicial.

En la Fig. 3 se muestra la simulación realizada por los estudiantes trabajando primero con una sustancia de constante k_1 y tres condiciones iniciales lo cual les permitió observar la independencia del tiempo de eliminación de la dosis inicial. Posteriormente simularon el proceso con tres sustancias de constantes $k_1 > k_2 > k_3$ a partir de lo cual concluyen que hay dos medicamentos posibles cuyas constantes son k_1, k_2.que cumplen con el t_{max} especificado

2.- Algunas patologías como la diabetes y el cáncer, requieren más de una alternativa para la administración de sustancias, de acuerdo al estado que presente el paciente en un determinado momento. Diversos factores influyen en la forma y dosis de administración de fármacos, por lo cual es necesario contar con dispositivos que permitan satisfacer tales requerimientos. Actualmente, los avances en la ciencia, han provisto de un número creciente de sistemas de infusión, que sirven para utilizar nuevas modalidades de tratamiento en una forma más segura y precisa para la administración de los medicamentos.

Los sistemas de infusión facilitan la administración parenteral (intravenosa, subcutánea, intraperitoneal, intrarraquídea) de drogas y soluciones, y son usados donde es esencial la precisión y un aporte constante. Existen diversos modelos y diseños de estos dispositivos en el mercado, entre ellos se encuentran una clase que permite su programación externa para lograr la liberación del fármaco de diversas maneras, entre ellas manera continua, en bolos o intermitente.

Mediante las Ecuaciones Diferenciales de primer orden, es posible obtener un modelo sencillo de variación de un determinado medicamento en sangre (o en alguna región o compartimento corporal) para un paciente que posee uno de estos dispositivos, dado por la siguiente ecuación:

$$y'(t) = r(t) - ky(t) \qquad (2)$$

El modelo propuesto permite estudiar los tres casos de administración de fármaco previamente mencionados, para lo cual es necesario modelar cada uno de ellos con una función matemática (*r (t)*) que los represente. En la Fig. 4 se ilustran los tres casos posibles. Se han representado tanto las diferentes “entradas” de fármaco (formas de dosificación) y las respectivas evoluciones temporales de la concentración del mismo.

Al igual que en el ejemplo 1, surge la necesidad de determinar qué información es la que puede obtenerse a partir de (2). Algunas de las cuestiones que pueden plantearse son:

Si ya se conoce la solución del sistema para el caso en el que $r(t) = 0$, ¿Cómo se espera que sea la solución de (2)?, ¿Cómo influye en ésta la entrada $r(t)$?, ¿Es posible determinar en qué valor se estabilizará la concentración de medicamento en el largo plazo?, ¿En qué casos se estabilizará, a que valor?, ¿Es posible separar la solución de (2) en dos partes?, ¿A qué parte del modelo asociaría cada una de ellas?, ¿Cuál de estas partes tiene mayor influencia en la concentración de medicamento al comenzar la dosificación y cuál en un tiempo bastante posterior?, ¿Sería posible, desde el punto de vista del modelo, lograr administración continua del medicamento mediante dos de las tres alternativas de dosificación propuestas?, ¿Qué sucede si $r(t)$ varía respecto del valor fijado?

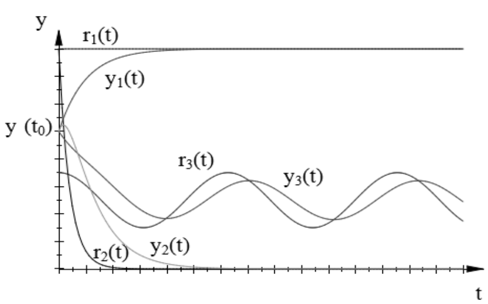

Figura 4. Representación de la evolución de fármaco administrado de tres formas diferentes: modo continuo ($r_1(t)$, $y_1(t)$), modo bolo ($r_2(t)$, $y_2(t)$) y modo intermitente ($r_3(t)$, $y_3(t)$).

IV. Conclusiones.

Uno de los interrogantes más frecuentes que se presenta entre los alumnos en el aula de matemática en carreras de ingeniería es: ¿Para qué me sirve? El desafío de los docentes es guiar a los alumnos para que ellos mismos encuentren respuestas. A través de los Trabajos de Laboratorio de Computación y usando la interrogación como estrategia didáctica se ha encontrado una metodología motivadora y formadora. Los resultados académicos obtenidos en el ciclo 2011 evidencian mejoras en el proceso de aprendizaje (sólo el 29 % quedo en situación de libre y dentro del 71% restante el 31% alcanzó un promedio de 80 puntos sobre 100 aprobando la materia por promoción directa). A través de los ejemplos desarrollados en este trabajo se ha mostrado que es posible articular conceptos de la matemática básica con problemas propios de las asignaturas específicas. En particular el Control de Procesos ha aportado ejemplos apropiados para su abordaje en los primeros cursos de Bioingeniería.

Referencias

[1] W. Carr, S. Kemmis, *Teoría crítica de la enseñanza. La investigación-acción en la formación del profesorado*. Martínez Roca. Barcelona. 1988.
[2] J. Elliott, *Reflecting Where the Action Is: The Selected Works of John Elliott*. Routledge, London: 2007.
[3] E. Crawley, J. Malmqvist, S. Östlund, D. Brodeur, “Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach.” Springer. New York, 2007.
[4] A. Schoenfeld, *Learning to think mathematically: problem solving, metacognition and sense making in mathematics*. Handbook for Research on Matematics Teaching and Learning: 334-370. Macmillan. New York, 1992.
[5] J. I.. Pozo, *La Solución de Problemas*. Santillana, Madrid,1994
[6] M. Mateos, *Metacognición y educación*. Aique. Buenos Aires, 2001.
[7] M. Míguez, “*El núcleo de una estrategia didáctica universitaria: motivación y compresión”.* En: Revista ieRed: Revista Electrónica de la Red de Investigación Educativa [en línea]. Vol.1, No.3 (Julio-Diciembre de 2005). Disponible en Internet: http://revista.iered.org
[8] M. I. Majmutov, *La enseñanza problémica*. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. Cuba, 1983.
[9] S. I. Rubinstein, *Principios de Psicología General*. México, D. F. Grijalbo. . (1983)
[10] K. Ogata*, Modern Control Engineering*. Prentice Hall. Quinta Edición. 2010, cap. 5.
[11] R. K. Nagle, E. B. Saff, A. D. Snider, *Fundamentals of Differential Equations*. Pearson Educación. Octava Edición, 2011.
[12] B. Santos Ramos, M. D. Guerrero Aznar, *Administración de medicamentos: Teoría y Práctica.* Diaz de Santos. 1994, cap. 2.

Gabriela Alejandra Merino Bioengineering student at the Faculty of Engineering (National University of Entre Ríos- Oro Verde, Paraná, Argentina) she also assists the Vectorial Calculus and Differential Equations Professors in the same faculty. Her current research interests are signal processing and mathematics education in Bioengineering.

María Magdalena Añino received the Electrical Engineering degree from Universidad Tecnológica Nacional - Regional Paraná, Paraná Argentina, in 1981, and the Mg. in Informatics Applied to Engineering, in 1998. She is a Professor of Vectorial Calculus and Differential Equations in the Faculty of Engineering (National University of Entre Ríos - Oro Verde, Paraná, Argentina). Her current research interest is mathematics education in Bioengineering.

Emiliano Pablo Ravera received the Bioengineering degree in Faculty of Engineering (National University of Entre Ríos - Oro Verde, Paraná, Argentina), in 2010; he is an Assistant Professor of Vectorial Calculus and Differential Equations in the same faculty, he is a PhD student from the Doctorate in Engineering, mechanical computational area, in the Faculty of Engineering and Sciences in Hydric Resources (National University of Litoral- Santa Fé, Argentina), and he is a doctoral fellow of the National Council of Scientific and Technological Research (CONICET). His current research interests are gait simulation modeling application in patients with cerebral palsy and mathematics education in Bioengineering.