

## MODELIZACIÓN, SIMULACIÓN Y PRÁCTICA EXPERIMENTAL EN EL CICLO BÁSICO DE BIOINGENIERÍA: UNA PROPUESTA DIDÁCTICA

### *MODELING AND EXPERIMENTAL PRACTICE IN THE BASIC CYCLE OF BIOENGINEERING: A DIDACTIC PROPOSAL*

Rosa María Weisz, Lucía Carolina Carrere, María Magdalena Añino  
Universidad Nacional de Entre Ríos, Entre Ríos (Argentina)

#### Resumen

El presente trabajo tiene por finalidad presentar una experiencia llevada a cabo en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Entre Ríos (FI-UNER) en la cual se ofrece la carrera de grado Bioingeniería. El diseño y la implementación se realizaron en el contexto de las asignaturas ecuaciones diferenciales y electricidad y magnetismo. La propuesta tiene por objetivo romper el esquema usual de abordar contenidos por asignaturas, propiciar la articulación entre las mismas y el trabajo experimental desde los primeros años de la carrera. Los contenidos son generalmente abordados en asignaturas independientes con diferentes perspectivas, faltando una instancia integradora. Por otro lado, los alumnos de los primeros años de la carrera que están cursando materias básicas, se encuentran muchas veces desmotivados, dado que les cuesta entrever para qué les sirven estos contenidos y cómo se relacionan con su trabajo profesional. Es por ello, que se diseña un práctico integrador que tiene por objetivo fortalecer la práctica experimental interdisciplinaria en la formación del bioingeniero desde los primeros cursos y favorecer la articulación horizontal entre las asignaturas mencionadas. El mismo permite analizar las propiedades del circuito (resistencia y capacitor) articulando los conceptos físicos, la modelización matemática, la simulación computacional y una aplicación tecnológica: el desfibrilador. Los resultados obtenidos permiten inferir que la introducción de una aplicación específica desde los primeros años permite motivar al estudiante y estimular su deseo de aprender.

**Palabras clave:** ingeniería biomédica, laboratorio integrador

#### Abstract

This paper aims at presenting an experience carried out at the Faculty of Engineering, belonging to the Universidad Nacional de Entre Ríos, where a Bioengineering undergraduate program is offered. Subject contents are usually taught in separate courses with different perspectives. This approach lacks

an integrative instance. Furthermore, students of the first years of the program who are dealing with basic subjects are often unmotivated because it is difficult for them to see why they need to know these contents and how they may relate them to their future professional work. Our proposal was carried out in the context of two courses: differential equations and electricity and magnetism. The experience was aimed at breaking the usual scheme that distributes content study into separate courses by promoting coordination between the subjects involved in the experience and by fostering experimental work since the early years of the course of study. To this end, an integrative practical work assignment intended to strengthen the interdisciplinary experimental practical formation of the future bioengineers from the first years and to encourage horizontal articulation between the two courses was carried out. It fosters the analysis of the properties of the circuit (resistance and capacitor) while articulating physical concepts, mathematical modeling, computer simulation and one technological application: the defibrillator. The results obtained allow us to infer that the introduction of a specific application in the first years of the course of study could motivate students and stimulate their desire to learn.

**Keywords:** biomedical engineering education, integrative laboratory

## Introducción

La Bioingeniería es una rama joven de la ingeniería en la cual los principios y herramientas de la ingeniería, la ciencia y la tecnología se aplican a la resolución de problemas que se presentan en biología y especialmente en la medicina. Esta carrera fue creada en el año 1985 en la República Argentina, con el objetivo de dar soluciones a problemas del ámbito de la salud mediante la aplicación de métodos tecnológicos modernos. Entre los más importantes campos que nuclea la Bioingeniería a nivel mundial se pueden mencionar: biomateriales; ingeniería biomédica; ingeniería hospitalaria; biomecánica; bioóptica; biosensores; ingeniería clínica y de rehabilitación; imágenes médicas; informática médica; órganos artificiales; procesamiento de señales biológicas; telemedicina; y otros relacionados con la tecnología médica.

La Bioingeniería hoy está creciendo en Argentina y estableciéndose como uno de los polos de mayor desarrollo, tanto en el mercado médico-tecnológico como en el área de la investigación. La fabricación, la importación y exportación de tecnología médica nueva y compleja, así como también la necesidad de normativas que regulen estas actividades, hacen que la demanda de bioingenieros sea cada vez más relevante y que diferentes ámbitos prestadores de salud requieran de sus servicios.

En el ámbito laboral el bioingeniero propone soluciones a problemas biomédicos a través de la aplicación

de tecnologías que se fundamentan en las ciencias básicas tales como matemática, física e informática. Es esencialmente una profesión interdisciplinaria.

El nuevo plan de estudios 2008 de la carrera de bioingeniería que se ofrece en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Entre Ríos (FI-UNER), consta de una duración de 5 años y medio. Está estructurado en dos ciclos: ciclo básico y un ciclo profesional. En total incluye 48 materias obligatorias, más 126 horas de asignaturas electivas, una práctica profesional supervisada y la realización de un proyecto final para la obtención del título de bioingeniero.

A pesar de la esencia interdisciplinaria de la profesión, en la etapa inicial de la carrera el currículo en ingeniería está organizado por áreas con escasa interacción entre ellas. Durante los primeros tres años el estudiante adquiere fuertes bases en matemática, física, química, biología e informática. Se ha observado que en este ciclo inicial son insuficientes las actividades propuestas a los alumnos que involucren la resolución de problemas y la práctica experimental, integrando conceptos de dos o más asignaturas con la guía de docentes de áreas diferentes. Esta ausencia ha sido ponderada por los autores como crítica ya que la tendencia actual, en el ámbito de la educación en ingeniería, enfatiza el desarrollo de habilidades, competencias y formas de pensamiento exigidas por un trabajo profesional marcado por lo interdisciplinario (García-Valcárcel & Muñoz-Repiso, 2009), (Gutiérrez, 2010). Por otra parte, experiencias realizadas en otras carreras de ingeniería de países

latinoamericanos indican que al tener en cuenta estos aspectos los alumnos muestran una mayor motivación por el estudio, una actitud responsable y un salto cualitativo en la calidad de su formación integral (Castellanos & Hernández, 2010).

Surge así en un grupo de docentes de Física y Matemática de la FI-UNER el siguiente interrogante: ¿es posible diseñar e implementar en los cursos básicos, trabajos de laboratorio integradores que favorezcan la formación práctica e interdisciplinaria del futuro bioingeniero?

La búsqueda de respuestas a este interrogante motivó un análisis de los contenidos y de la bibliografía de dos asignaturas del ciclo básico: “Ecuaciones Diferenciales” del Departamento Matemática y “Electricidad y Magnetismo” del Departamento Físico – Química. Ambas se dictan en el segundo cuatrimestre del segundo año de la carrera de Bioingeniería según se indica en el plan de estudios 2008. El mismo permitió detectar temas que articulan ambas asignaturas y que se vinculan con aplicaciones a la bioingeniería, según se indica en los párrafos siguientes.

Desde el área matemática se aborda el estudio de las Ecuaciones Diferenciales Ordinarias de primer y segundo orden. Se analizan los conceptos y métodos matemáticos que permiten determinar las soluciones correspondientes. Estas ecuaciones se aplican en el análisis de fenómenos físicos básicos. Por sus aplicaciones tecnológicas cabe mencionar el estudio de la respuesta natural del circuito que conecta en serie diferentes componentes como ser: una Resistencia y un Capacitor (circuitos RC), una Resistencia y una Bobina (circuitos RL), una Resistencia, una Bobina y un Capacitor (circuito RLC).

Las propiedades de estos circuitos eléctricos se estudian en la asignatura Electricidad y Magnetismo desde la mirada característica de la física. Las Leyes de Kirchhoff, fundamentadas en el principio de conservación de la carga y de la energía en un circuito cerrado, al ser expresadas matemáticamente vinculan ambos enfoques.

A pesar de esta natural e histórica vinculación de la física y de la matemática se mantiene una estructura de enseñanza compartimentada por asignatura que puede obstaculizar un aprendizaje más integrado.

A partir de este análisis surge un proyecto de innovación pedagógica que tiene por objetivo articular ambos enfoques (físico – matemático). En este marco se diseñan e implementan nuevos trabajos prácticos de laboratorio integradores (TPLI). Se espera que a través de los mismos el estudiante realice diferentes actividades como observar, medir, adquirir datos de diferentes variables tales como la intensidad de corriente y la caída de tensión en cada componente, para luego comparar estos resultados con los obtenidos a través del modelo matemático y la simulación computacional. De esta manera la propuesta articula, además de los enfoques físico y matemático, el trabajo con *software*.

En el segundo cuatrimestre de 2011 se implementó el primer TPLI sobre circuito RLC. En el diseño del mismo participaron docentes de ambas asignaturas. En el ciclo 2012, se realiza una segunda experiencia que pone el énfasis en las aplicaciones vinculadas con la bioingeniería de un circuito fundamental: el circuito RC. El mismo aparece en múltiples aplicaciones estudiadas en asignaturas del ciclo profesional: filtros (sistemas de adquisición y procesamiento de señales), amplificadores y osciladores (electrónica lineal y electrónica no lineal), almacenamiento de energía en dispositivos de uso médico (instrumental biomédico para diagnóstico y monitoreo, equipamiento para terapia y rehabilitación), entre otras. con la finalidad de ilustrar la importancia de este tema, se presenta a los alumnos una aplicación de este circuito en un equipo médico particular: el desfibrilador.

En las siguientes secciones se describe el marco conceptual de referencia a partir del cual se realizó el diseño de estos trabajos prácticos, sus fundamentos pedagógicos, su implementación en el año 2012 y los resultados obtenidos.

## Marco teórico de referencia

Como sustento teórico de la experiencia se han considerado los aportes de la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel (Ausubel, 2009), el Modelo de Aprendizaje Experiencial de Kolb (Kolb y Kolb, 2001), el Enfoque Sociocultural del Aprendizaje y la Perspectiva de la Escritura a través del Currículum (Case, 2008).

La Teoría de Ausubel se corresponde, con una epistemología constructivista, en la medida que sostiene que el conocimiento es una producción del ser humano, e implica búsquedas, intuiciones, aciertos, desaciertos y rectificaciones. El aprendizaje significativo se da cuando el estudiante incorpora nueva información a su estructura cognitiva. Es decir, cuando logra establecer una conexión entre los conceptos nuevos y los que ya posee, ampliando, estructurando y organizando jerárquicamente su red conceptual. De esta manera puede utilizar, con mayor eficiencia sus conocimientos previos en la adquisición de nuevos conceptos los cuales a su vez, facilitan nuevos aprendizajes (Ausubel, 2009).

Desde este enfoque, el trabajo experimental en los laboratorios, conduce a un aprendizaje significativo si durante la experiencia el estudiante debe recuperar y utilizar una amplia gama de conocimientos básicos previos. Por otra parte, el uso de herramientas de la física experimental y el análisis de datos, le permite una acción sobre un referente empírico y esto facilita que su campo conceptual se estructure y enriquezca incorporando diferentes modelos que utilizan los conceptos involucrados (Agudelo y García, 2010). En este sentido si la experiencia implica articular ideas y métodos de diferentes asignaturas con el apoyo que brinda la tecnología informática entonces se coloca al estudiante en un escenario que lo invita a interconectar diferentes redes conceptuales, modelos y herramientas de análisis.

Por otra parte existe una componente emocional o afectiva en el aprendizaje significativo. Si el individuo no muestra la intención o disposición para establecer relaciones no arbitrarias entre su estructura cognitiva y el nuevo material, el aprendizaje no se produce de manera significativa. Esto orienta a incluir en los trabajos de laboratorio situaciones motivadoras del área de interés para un estudiante de bioingeniería que movilicen dicha componente emocional del aprendizaje.

En el Modelo de Aprendizaje Experiencial de Kolb y Kolb (2001), el aprendizaje es un proceso que permite deducir conceptos y principios a partir de la experiencia. Este autor propone un modelo de aprendizaje formado por cuatro etapas que se relacionan: experiencia concreta, observación reflexiva, conceptualización abstracta y experimentación activa. Considera que la experiencia es la base para la

observación y la reflexión. Luego las observaciones son asimiladas, formando un nuevo grupo de conceptos abstractos y generalizaciones del que se deducen nuevas implicaciones para la acción. Desde esta perspectiva, el diseño de la experiencia tiene entre sus objetivos el de generar interrogantes que motiven en los alumnos el aprendizaje de nuevos conceptos (Abdulwahed y Nagy, 2009).

Desde el Enfoque Sociocultural del Aprendizaje según Vygotsky (2012), el contexto social influye en el aprendizaje más que las actitudes y las creencias. Por lo tanto, una práctica de laboratorio bien estructurada que posibilite el trabajo en grupo facilitará el aprendizaje de conceptos y no solamente proporcionará técnicas procedimentales. Además, Vygotsky (Vygotsky, 2012) destaca el concepto de zona de desarrollo próximo como la distancia entre el nivel de desarrollo, determinado por la capacidad de resolver independientemente un problema, y el nivel de desarrollo potencial, determinado por la aptitud para resolver un problema bajo la guía de un experto o en colaboración con un compañero con más experiencia. Esto sugiere incluir en el trabajo de laboratorio problemas a resolver en grupo bajo la supervisión del docente (DeVries, 2000).

Desde la perspectiva de la escritura a través del Currículo se concibe a la escritura como un instrumento de reflexión, para que los estudiantes aprendan cómo escribir y cómo aprender de lo que escriben. Escribir en la universidad puede ser no sólo un medio por el cual los estudiantes son evaluados sino también una herramienta para ayudarlos a desarrollar su pensamiento. Un buen diseño de trabajo de laboratorio debe incluir actividades que faciliten la comunicación oral y escrita. Por lo tanto, el trabajo grupal y la redacción de informes permiten al alumno poner en práctica estas habilidades comunicacionales. Además se considera que las habilidades de comunicación aparecen como metas deseables en la formación de un profesional de la ingeniería, ya que parte de su quehacer se desarrollará trabajando en equipos muchas veces interdisciplinarios, en los cuales deberá argumentar y expresar claramente sus ideas. Se puede decir que la comunicación “obliga” a volver sobre el propio pensamiento para precisarlo, justificarlo y organizarlo (Cassany, 2001).

Por último, la utilización de programas que permiten la simulación de un determinado fenómeno posibilita

la experimentación virtual a través de modelos y la resolución de problemas de ingeniería más cercanos a la realidad, fortaleciendo el desarrollo de habilidades, competencias y desempeños necesarios para la práctica profesional del futuro ingeniero.

## Diseño de las experiencias

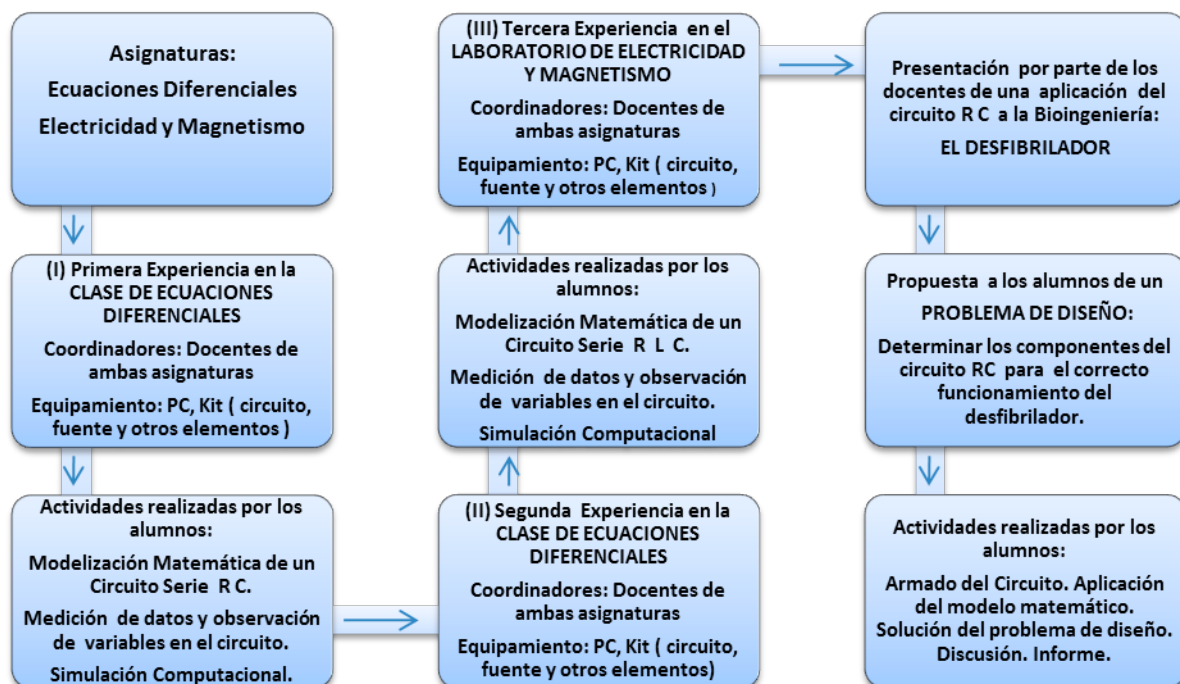
A partir del marco teórico y como punto de partida del diseño se enuncian los objetivos de los trabajos de laboratorio.

### Objetivos:

- Fortalecer la práctica experimental interdisciplinaria en la formación del Bioingeniero desde los primeros cursos.
  - Favorecer la articulación horizontal entre asignaturas del ciclo básico.
  - Proporcionar al estudiante una experiencia a través de la cual:
    - Articule la realización de mediciones con instrumentos, la adquisición de datos, el uso de modelos matemáticos y la simulación computacional.
    - Grafique e interprete el comportamiento de las magnitudes físicas (tensión, intensidad de corriente) involucradas en la experiencia.
- Procese, valore e interprete los resultados experimentales obtenidos.
  - Compare resultados experimentales con los obtenidos por métodos matemáticos al trabajar con Ecuaciones Diferenciales como modelos de circuitos RC y RLC.
  - Conozca una aplicación de un circuito RC en un equipo médico particular (desfibrilador).
  - Aplique los conceptos físicos y matemáticos aprendidos para analizar las características y los criterios de diseño de un circuito RC en un desfibrilador.
  - Simule el comportamiento del circuito bajo condiciones iniciales diferentes a las de la experiencia.
  - Desarrolle una cultura del trabajo en grupos, cooperativo y colaborativo.
  - Elabore y defienda un informe técnico.
  - Logre una adecuada expresión escrita (coherencia en la redacción, ortografía) en la presentación de los resultados.

La secuencia didáctica diseñada tuvo en cuenta los conceptos previos necesarios, la estructura lógica de ambas asignaturas y la complejidad de los contenidos. Se optó entonces por una secuencia que permita la fluida articulación de contenidos como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Secuencia Didáctica planificada para el ciclo 2012



En la secuencia didáctica (según se indica en la Figura 1) se planificaron tres experiencias. Se consideró adecuado primero abordar un circuito modelizado por una ecuación diferencial ordinaria lineal de primer orden como el circuito RC, para luego efectuar el análisis de un circuito serie RLC modelizado por una ecuación diferencial ordinaria lineal de segundo orden. En la tercera experiencia se propuso un problema de diseño con el objetivo de retomar los conceptos y métodos utilizados en el análisis del circuito RC.

### Implementación de las experiencias

Primera experiencia: esta primera actividad se realizó en la clase de Taller de la asignatura Ecuaciones Diferenciales con la participación de docentes de Matemática y Física (Figura 2). Con el objetivo de crear un clima de trabajo adecuado con alumnos motivados, los docentes al comenzar la clase hicieron notar la importancia del circuito RC en Bioingeniería. Éste forma parte de un equipo usual en las salas de emergencia: el desfibrilador, anticipando así un problema a resolver y un desafío para los estudiantes.

Figura 2. Clase de Taller en Ecuaciones Diferenciales



Se proporcionó a los estudiantes: un *kit* con un circuito serie RC (Figura 3), una batería de 9 Volts, un multímetro y un sistema de adquisición de datos. Además se entregó una guía de trabajo en la cual, a través de preguntas y diferentes situaciones, se promueve el trabajo en equipo.

Figura 3. *Kit* circuito serie RC



Se orientó a los alumnos en la modelización matemática del circuito RC (1) y en el trabajo experimental a través del cual obtuvieron datos y realizaron observaciones. Estos datos se contrastaron con los que brinda el *software* matemático, para posteriormente analizar los resultados obtenidos a través del cálculo, la experimentación y la simulación computacional.

$$R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = E(t), \quad E(t) = V \quad (1)$$

Segunda experiencia: el segundo trabajo de laboratorio se focalizó en el análisis del comportamiento de un circuito RLC. La misma se llevó a cabo en una clase de tres horas, los estudiantes se organizaron en grupos de tres o cuatro integrantes. Se les entregó: un kit con un circuito serie RLC implementado (Figura 4), una batería de 9Volts, un multímetro y un sistema de adquisición de datos. Además, se les presentó una guía de trabajo.

Figura 4. *Kit* circuito serie RLC



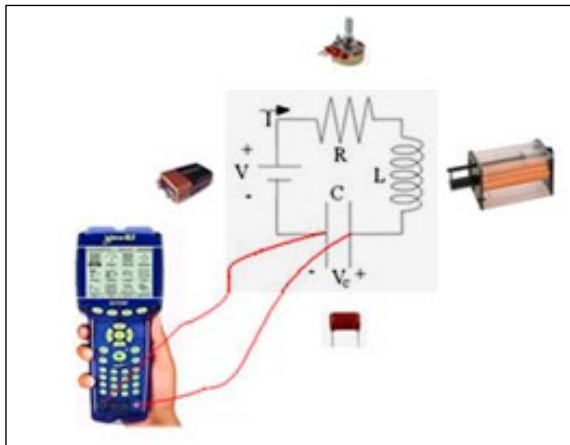
En la primera etapa, se hizo énfasis en la formulación de un modelo matemático para el circuito serie RLC a partir de las Leyes de Kirchoff. La ecuación diferencial obtenida se indica en (2). A continuación los estudiantes calcularon las soluciones del modelo aplicando los métodos que brinda la teoría de Ecuaciones Diferenciales.

$$L \frac{d^2q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = E(t), \quad E(t) = V \quad (2)$$

En la segunda fase, de carácter experimental, los estudiantes realizaron mediciones para comprobar las diferencias entre las especificaciones comerciales de los componentes del circuito y los valores medidos. Por otra parte observaron la evolución de la tensión en bornes del capacitor cuando se aplica una fuente de tensión continua.

En esta etapa trabajaron con un sistema de adquisición de datos (*Datalogger, Xplorer GLX*) el cual permite visualizar la información obtenida mediante gráficos. El mismo se puede utilizar como equipo autónomo o conectado a una computadora, según se ilustra en la Figura 5.

Figura 5. Circuito empleado en la etapa experimental



En la tercera fase, a través del trabajo con software, se realizó la vinculación y articulación de las dos etapas anteriores. El uso de software con facilidades gráficas, simbólicas y numéricas permite simular los distintos comportamientos del circuito para diferentes valores de la resistencia.

Los resultados obtenidos a través del modelo matemático y la simulación computacional se contrastaron

con la información que brindan los datos obtenidos por medición y almacenados en la computadora. Esta articulación se muestra en la Figura 6.

Figura 6. Ilustra la vinculación de la fase experimental con la fase de cálculo y la integración mediante la tecnología informática



**Tercera experiencia:** esta tercera experiencia se llevó a cabo en la clase de Laboratorio de Electricidad y Magnetismo en la que participaron nuevamente docentes de ambas asignaturas (Figura 7). Aquí los alumnos realizaron el montaje del circuito RC en una plaqueta de experimentación.

Figura 7. Clase de Laboratorio Electricidad y Magnetismo



La guía correspondiente a esta segunda instancia se diagramó de manera que permita retomar la

aplicación presentada en Ecuaciones Diferenciales: el Desfibrilador. En los párrafos siguientes se transcribe la introducción histórica del problema propuesto a los estudiantes.

El concepto de desfibrilación eléctrica fue acuñado en 1899 por Prevost y Batelli, después de notar que grandes voltajes aplicados a través del corazón de un animal podían poner fin a la fibrilación ventricular. Posteriormente en 1947 Claude Beck realizó la primera desfibrilación en el curso de una intervención quirúrgica del corazón.

Los desfibriladores han evolucionado mucho desde entonces, y actualmente, podemos encontrar este equipo en toda sala de emergencias, terapia intensiva y ambulancia bien dotada. La Desfibrilación se define como: la aplicación de

un pulso breve (choque) de corriente eléctrica que atraviesa el corazón, promoviendo la despolarización simultánea de una masa crítica de fibras musculares.

El choque es aplicado a través del tórax, por medio de paletas de desfibrilación o parches adhesivos (llamados electrodos), colocados sobre la piel. La Figura 8 presenta el circuito (simplificado) de un Desfibrilador. Este equipo constituye una clásica aplicación de un circuito RC.

A través de las preguntas transcriptas en la Tabla 1 se promovió la recuperación de conceptos previos estudiados en los cursos de Electricidad y Magnetismo y Ecuaciones Diferenciales con el objetivo de facilitar la aplicación de dichos conocimientos en el diseño de un Desfibrilador retomando la primera experiencia.

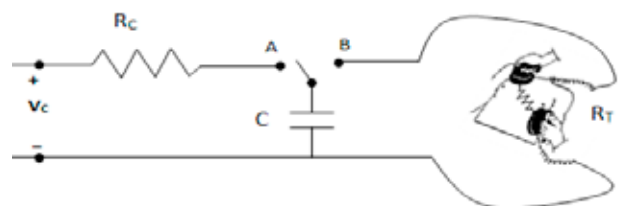
Tabla 1. Preguntas que facilitan la vinculación de conceptos

Preguntas	
1	¿Qué leyes de la física describen el comportamiento de un circuito RC?
2	¿Qué modelo matemático permite analizar la carga y descarga del capacitor?
3	¿Qué soluciones admite este modelo? ¿Qué información física brindan? ¿Cómo obtiene la constante de tiempo del circuito? ¿Cuál es su significado físico?
4	Usando Software ¿A partir de qué información puede obtener una simulación del comportamiento de un circuito RC durante la carga y posterior descarga del capacitor? ¿Qué algoritmos implementa? ¿Qué comandos usa para obtener soluciones? ¿Cuáles para realizar los gráficos?
5	¿Qué conclusiones puede extraer a partir de las gráficas realizadas con el software?

En esta etapa se hizo hincapié en las consideraciones a tener en cuenta al momento de diseñar este tipo de circuitos y se propuso el siguiente problema:

En el desfibrilador de la Figura 8, se pueden distinguir dos etapas: la etapa de carga (contactor en la posición A) y la etapa de descarga (contactor en la posición B). En la etapa de carga, se almacena la energía que se desea entregar al paciente en un capacitor. En la desfibrilación (etapa de descarga), esta energía es utilizada para hacer circular una corriente eléctrica a través del tórax y el corazón del paciente.

Figura 8. Ilustra el circuito RC correspondiente a un desfibrilador



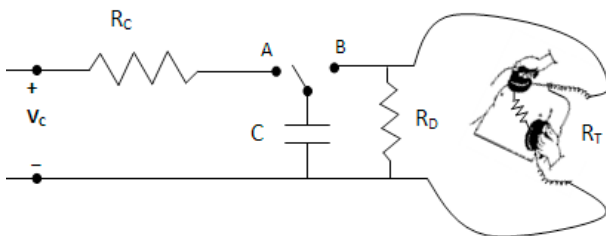


Suponiendo que se desea fabricar un desfibrilador como el ilustrado en la Figura 8:

- ¿Cuál es el valor de  $C$  que permite almacenar hasta 300 [J], sabiendo que  $V_c = 2500$  [V]? ¿Qué valor comercial de  $C$  usaría en el equipo?
- ¿Cuánto debe valer  $R_c$  para que el equipo se cargue completamente en 1 [seg] (considere el equipo cargado para  $t = 4t_c$ , donde:  $t_c$  es la constante de tiempo del circuito durante el proceso de carga).
- Grafique la intensidad de corriente  $I(t)$  y la tensión  $V(t)$  en bornes del capacitor para la carga. Indique en la gráfica  $t_c$ .
- Si el paciente posee una resistencia  $R_T = 50$  [W] y se supone que el capacitor está completamente cargado. ¿Cuál será la máxima corriente que entregue el desfibrilador en la descarga? ¿En qué instante de tiempo  $t$  se produce? Grafique  $I(t)$  y  $V(t)$  para la descarga.
- Calcule la constante de tiempo  $t_d$  de descarga e indíquela en la gráfica.
- Cuánta energía habrá entregado el capacitor en los instantes  $t = t_d$ ? y para  $t = 3t_d$ ?

A los equipos modernos se les agregó otra resistencia  $R_D$  de descarga en paralelo con el paciente con la finalidad de proteger a los usuarios (ver figura 9).

Figura 9. Ilustra el circuito RC correspondiente a un desfibrilador con resistencia de descarga

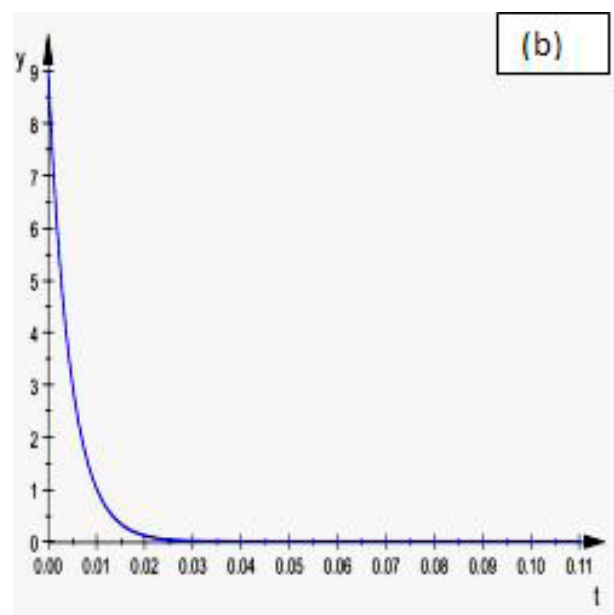
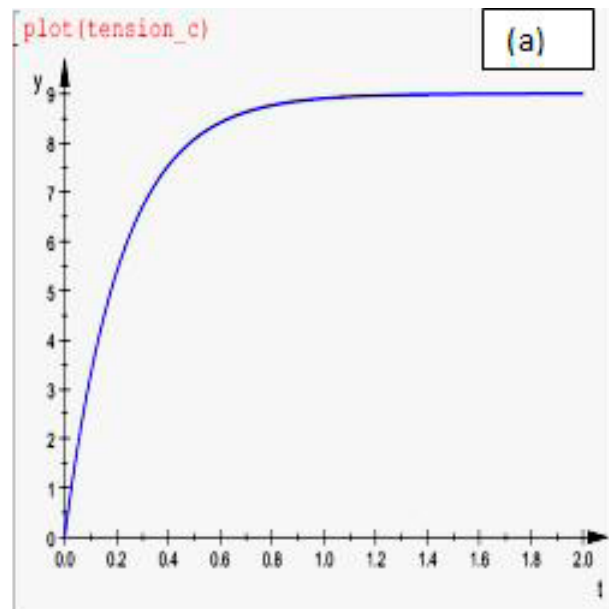


- Si por descuido el personal médico carga el equipo sin darse cuenta, la resistencia permite que el capacitor se descargue sólo al cabo de un tiempo. ¿Cuál debe ser el valor de  $R_D$  para que el capacitor se descargue después de un minuto? ¿Cómo queda ahora la resistencia equivalente de descarga? Grafique nuevamente  $V(t)$  e  $I(t)$  en este caso.
- Implemente un circuito RC de carga y descarga en una *protoboard* con los capacitores y las

resistencias suministradas por la cátedra. Procure que las constantes de tiempo  $t_c$  y  $t_d$ , se asemejen a las del desfibrilador.

Los estudiantes trabajando en grupos realizaron los cálculos correspondientes, la simulación computacional y la implementación del circuito. En la Figura 10 se aprecia la gráfica realizada por los alumnos durante el trabajo computacional.

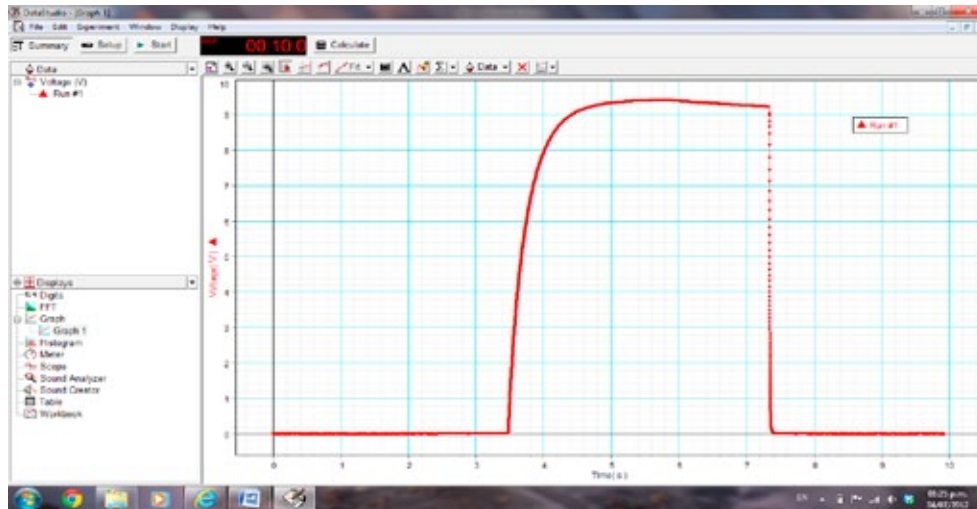
Figura 10. Ilustra la tensión en bornes del capacitor obtenida por los simulación computacional con una constante de carga  $t_c = 0,25$  seg y de descarga con  $t_d = 5$  msec



La misma ilustra la carga del capacitor con una capacitancia  $C=100\mu\text{F}$  (calculada de acuerdo a lo requerido en el ítem (a)), una resistencia  $R_C = 2,5\text{ k}\Omega$  (calculada según las especificaciones del ítem (b)), y

$t_c = 0,25\text{ seg}$ . La descarga simulada (con  $t_d = 5\text{ mseg}$ ) se muestra en la Figura 10(b). La Figura 11 muestra las mediciones obtenidas por los estudiantes durante la etapa experimental.

Figura 11. Carga y descarga del capacitor obtenida mediante el sistema de adquisición de datos



### Resultados de la propuesta didáctica

Con el objetivo de evaluar la experiencia, se realizó una encuesta a los estudiantes del segundo año de la carrera de Bioingeniería que se encuentran cursando simultáneamente las asignaturas Ecuaciones Diferenciales y Electricidad y Magnetismo. Dicha encuesta se diseñó

con un formato semiestructurado con preguntas de respuestas cerradas (si/no) y preguntas abiertas de manera que cada participante pueda expresar opiniones, aspectos positivos, negativos y sugerencias. Al ser una encuesta anónima se garantizó la libertad de expresión. El cuestionario correspondiente se indica en la siguiente tabla (Tabla 2).

Tabla 2. Cuestionario de la encuesta realizada

<b>Pregunta 1</b>	¿Te resultó novedosa y motivadora la realización de una experiencia de laboratorio en la clase de Matemática? ¿Por qué?
<b>Pregunta 2</b>	¿Te permitió relacionar los conceptos de Ecuaciones Diferenciales estudiados en las unidades 1 y 2 con problemas vinculados a situaciones reales? Expresa cómo percibiste la vinculación.
<b>Pregunta 3</b>	¿Pudiste vincular los resultados obtenidos a través de un modelo matemático, la simulación computacional y las mediciones con instrumentos? ¿Por qué?
<b>Pregunta 4</b>	¿Realizar nuevamente la experiencia después de haber estudiado los circuitos RC en Física, mejoró tu comprensión del tema? ¿Por qué?
<b>Pregunta 5</b>	¿Qué aspectos positivos, negativos o sugerencias puedes señalar respecto de la experiencia?

El análisis de las respuestas correspondientes a las preguntas cerradas se ilustra en la Figura 12.

Se observa que el 97% de los estudiantes encuestados consideró que la experiencia resultó motivadora y además es notable que al realizar la tercera experiencia y retomar un modelo matemático trabajado en la primera (circuito RC) para el diseño de un desfibrilador,

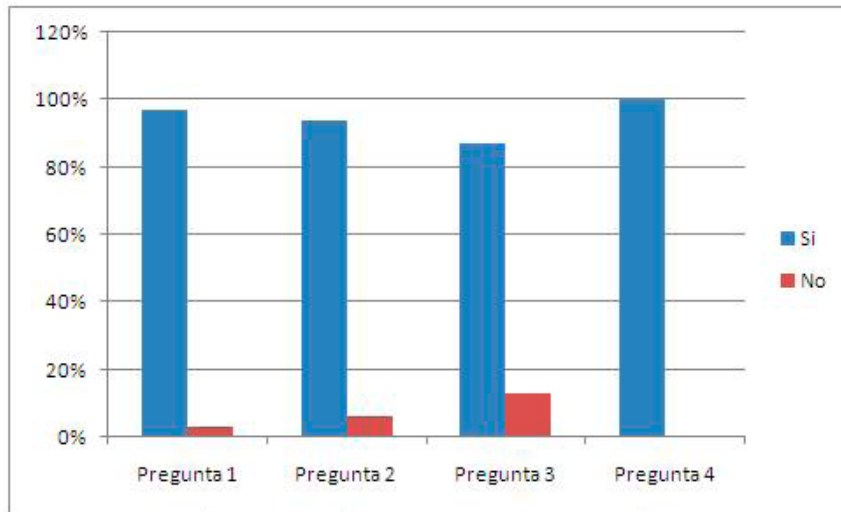
el 100% manifestó que mejoró la comprensión de los conceptos físicos y matemáticos involucrados. Por otra parte, en las respuestas de la pregunta 5 se encontraron numerosos comentarios que destacan aspectos positivos como:

“...permitió aclarar conceptos y relacionar teoría y práctica de ambas asignaturas”,

“...al relacionar las dos materias es más fácil entender conceptos y tener una visión más amplia del problema propuesto”,  
 “...es la primera vez que realizo una actividad en la cual se integran los conceptos teóricos de

diferentes asignaturas a través de situaciones prácticas reales...”  
 “...aprendí a utilizar conceptos teóricos y métodos de cálculo en un contexto experimental”  
 “...pudimos ver la aplicación práctica de la matemática”.

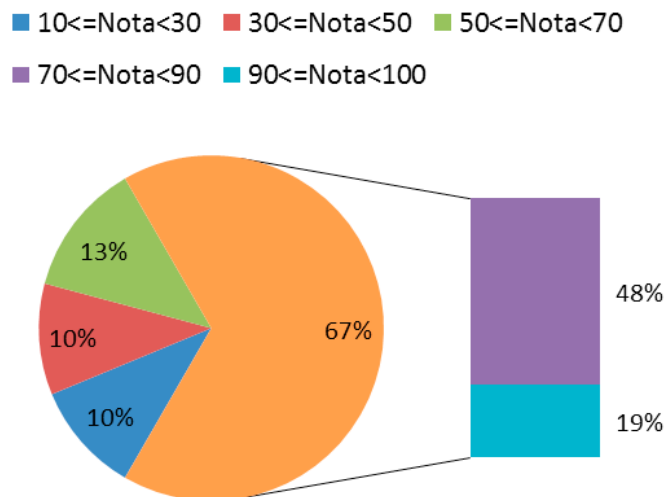
Figura 12. Resultado de las preguntas cerradas de la encuesta



Los estudiantes realizaron un informe escrito a través del cual se evaluaron aspectos como: la comprensión de los conceptos matemáticos y físicos involucrados, la comunicación escrita de los procedimientos y de los resultados, la interpretación física de los mismos, la claridad en la explicación y presentación de los gráficos y también la justificación teórica de cada etapa.

Se calificó el informe sobre un total de 100 puntos. Como puede observarse en la Figura 13 el 67 % obtuvo una calificación superior a 70 puntos y un 19 % alcanzó un puntaje igual o superior a 90 puntos.

Figura 13. Notas del Informe



## Conclusiones

Se ha iniciado un camino de actividades conjuntas entre las asignaturas Ecuaciones Diferenciales y Electricidad y Magnetismo, entre las cuales se pueden mencionar:

- La revisión bibliográfica conjunta con el objetivo de articular conceptos, lenguajes y métodos.
- El armado de los circuitos de prueba con la participación de los docentes de práctica de ambas cátedras.
- la elaboración de las guías de trabajo en el laboratorio (física – computación) y de problemas (física – matemática – computación – instrumental biomédico).

De esta manera se ha quebrado el esquema usual de abordar contenidos por asignatura con escasa articulación. Esta primera experiencia podría ser el punto de partida para otros trabajos integradores. Para los docentes que han intervenido, la experiencia ha sido enriquecedora ya que a través de una práctica

concreta han podido valorar la posibilidad de planificar e implementar estas instancias integradoras. Esta vivencia ha mejorado la práctica docente en diferentes aspectos relacionados con el quehacer interdisciplinario.

Estos trabajos prácticos permitieron vincular a los estudiantes de los primeros años de la carrera con situaciones de interés para su futura actuación profesional. A través de los mismos han puesto en práctica diferentes habilidades como: modelizar, calcular, interpretar físicamente los resultados obtenidos, efectuar mediciones, observar la evolución de variables, contrastar lo calculado con lo medido y aplicar conceptos teóricos de matemática y física para obtener soluciones que se ajustan a determinados requisitos de un instrumental biomédico. Los resultados de las encuestas realizadas a los estudiantes indican que este tipo de actividad resulta motivadora y mejora la comprensión de los conceptos de ambas asignaturas. Esto puede incidir positivamente en ellos al incrementar el interés por continuar la carrera y realizar el esfuerzo que el aprendizaje exige.

## Referencias

- Abdulwahed, M. y Nagy, Z. K. (2009). Applying Kolb's experiential learning cycle for laboratory education. *Journal of Engineering Education*, 98(3), 283-294.
- Agudelo G., J. D. y García G., G. (2010). Aprendizaje significativo a partir de prácticas de laboratorio de precisión. *Lat. Am. Journal of Physics Education*, 4(1), 149-152.
- Ausubel, D. P. (2009). *Psicología Educativa, un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.
- Case, J. (2008). *Education theories on learning: an informal guide for the engineering education scholar*. Loughborough: Higher Education Academy Engineering Subject Centre, Loughborough University.
- Cassany, D. (2001). *Construir la escritura*. Barcelona: Paidós.
- Castellanos González, L. M. y Hernández Fereira A. (2010). Una alternativa metodológica innovadora para formar y evaluar competencias a través de proyectos de curso en las carreras de ingeniería. *Revista Educación en Ingeniería*, 5(10), 37- 48.
- DeVries, R. (2000). Vygotsky, Piaget, and Education: a reciprocal assimilation of theories and educational practices. *New Ideas in Psychology*, 18(2-3), 187-213.
- García-Valcárcel, A. y Muñoz-Repiso (2009). *Experiencias de innovación docente universitaria*. España: Aquilafuente.
- Gutiérrez Aranzeta, C. (2010). *Introducción a la metodología experimental*. México: Limusa Wiley- Noriega.
- Kolb, A. y Kolb D. A. (2001). *Experiential Learning Theory Bibliography 1971-2001*. Boston, Ma.: McBer and Co.
- Vygotsky, L. (2012). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. España: Austral.

## Sobre los autores

---

**Rosa María Weisz**

Universidad Nacional de Entre Ríos, Entre Ríos  
(Argentina)  
romaweisz@yahoo.com.ar

**María Magdalena Añino**

Universidad Nacional de Entre Ríos, Entre Ríos  
(Argentina)  
Maena@gigared.com

**Lucía Carolina Carrer**

Universidad Nacional de Entre Ríos, Entre Ríos  
(Argentina)  
carrerecarolina@bioingenieria.edu.ar

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