

MÓNICA SCARDIGLI ^a

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL,
ARGENTINA

mcardigli@frba.utn.edu.ar



LEANDRO J. CYMBERKNOP ^b

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL,
ARGENTINA

ljcymber@frba.utn.edu.ar



CAROLINA CORDÓN ^c

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL,
ARGENTINA

ccordon@frba.utn.edu.ar



RICARDO L. ARMENTANO ^d

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL,
ARGENTINA

armen@frba.utn.edu.ar

Aplicación de conceptos del cálculo diferencial al estudio de la curva de presión arterial: Una experiencia interdisciplinaria

Application of Differential Calculus Concepts to the Study of the Blood Pressure Curve: An Interdisciplinary Activity

Recibido: 2 de abril de 2020 / Aprobado: 30 de mayo de 2020

Resumen

En estos últimos años se han implementado nuevas formas de pedagogía en el área de ingeniería, habida cuenta que los desafíos reales que enfrentará el futuro ingeniero deberán ser abordados de manera interdisciplinaria. Es por ello que desde los primeros años de su carrera y ya desde las ciencias básicas, es conveniente que el estudiante pueda enfrentar problemas procedentes de otros escenarios y así poder establecer puentes entre las distintas ciencias y potenciar los aportes de cada una de ellas. El objetivo principal del presente trabajo es describir el resultado de una experiencia interdisciplinaria en la que se involucra al estudiante en la aplicación de conceptos matemáticos a una disciplina biológica. La experiencia se llevó a cabo con estudiantes cursantes de la asignatura Análisis Matemático I, correspondiente al primer año de las distintas carreras de Ingeniería de la Facultad Buenos Aires en la Universidad Tecnológica Nacional, a quienes se les presentó una actividad relacionada con el concepto de “ingeniería aplicada al modelado del sistema cardiovascular”. Para abordarla, 58 estudiantes debieron aplicar conceptos estudiados en la asignatura e incorporar aquellos ligados a la fisiología humana. Asimismo, participaron tanto en la recolección general de datos como en la asistencia para la adquisición de los mismos, que luego se

a. Licenciada en Ciencias Aplicadas. Especialista en Política y Gestión Universitaria (Universidad Nacional de General Sarmiento, Argentina). Docente de Análisis Matemático I y Álgebra y Geometría Analítica. Secretaria de Investigación y Gestión del Centro de Investigación e Innovación Educativa. Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. Para contactar al autor: mcardigli@frba.utn.edu.ar

b. Doctor en Ingeniería, mención procesamiento de señales e imágenes. Coordinador del Grupo de Investigación y Desarrollo en Bioingeniería (GIBIO). Docente de Análisis de Señales y Sistemas. Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. Para contactar al autor: ljcymber@frba.utn.edu.ar

c. Licenciada en Ciencias Aplicadas. Profesora Adjunta de Análisis Matemático I. Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. Para contactar al autor: ccordon@frba.utn.edu.ar

d. Doctor en Fisiología (Universidad de Buenos Aires, Argentina) y Biomecánica (Universidad de Paris VII, Denis Diderot, Francia). Director del Grupo de Investigación y Desarrollo en Bioingeniería (GIBIO). Director del programa de Doctorado en Ingeniería, mención procesamiento de Señales e Imágenes. Director de cátedra de Análisis de Señales y Sistemas. Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. Para contactar al autor: armen@frba.utn.edu.ar

analizaron en trabajos grupales. Se consideró una metodología descriptiva a partir de un cuestionario individual, con el objeto de completar la evaluación de la experiencia. Los resultados obtenidos evidenciaron un elevado interés por parte de los estudiantes en el abordaje de situaciones problemáticas, con un 89% de aprobación en relación a la importancia de establecer relaciones entre las distintas áreas de conocimiento. La actividad fue diseñada en el marco del proyecto de investigación y desarrollo: "Empleo de problemas interdisciplinarios en asignaturas de matemática en carreras de ingeniería" conjuntamente con el Grupo de Investigación y Desarrollo en Bioingeniería, perteneciente a la misma institución y en virtud de la experticia de sus integrantes en tópicos relacionados con la salud cardiovascular. Efectivamente, los resultados obtenidos demuestran que la implementación de estrategias interdisciplinarias de enseñanza basadas en situaciones problemáticas propicia un incremento en la atención por parte del estudiante, una mayor participación y proporciona una aplicación directa de las herramientas matemáticas estudiadas.

Palabras clave: actividades interdisciplinarias; modelización matemática; trabajo en equipo.

Abstract

During the last years, new forms of pedagogy have been implemented in the engineering area, given that the real challenges that the future engineer will face must be addressed in an interdisciplinary way. For this reason, from the first years of his career and from the basic sciences, it is convenient for the student to deal with difficulties coming from other scenarios and thus be able to establish bridges between the different sciences and enhance the contributions of each one of them. The main objective of this work is to describe the result of an interdisciplinary experience in which the student was involved in applying mathematical concepts to a biological discipline. The experience was carried out with students of an Advanced Calculus course, corresponding to the first year of the different Engineering careers of the Buenos Aires Faculty at the Universidad Tecnológica Nacional, where an activity related to the concept of "engineering applied to the modeling of the cardiovascular system" was presented to them. To address it, 58 students had to apply concepts studied in the subject and incorporate those linked to human physiology. They also participated in both general data collection and assistance in data acquisition, which were later analyzed in group work. A descriptive methodology based on an individual questionnaire was considered, in order to complete the evaluation of the experience. The obtained results evidenced a high interest on the part of the students in dealing with problematic situations, with an 89% approval in relation to the importance to establish relationships between the different areas of knowledge. The activity was designed within the framework of the research and development project: "Use of interdisciplinary problems in mathematics subjects in engineering careers" together with the Group of Research and Development in Bioengineering, belonging to the same institution, and by virtue of the expertise of its members in topics related to cardiovascular health. Indeed, the obtained results demonstrate that the implementation of research-based teaching strategies, promotes an increase in student attention, a greater participation and provides a direct application of the studied mathematical tools.

Keywords: Interdisciplinary activities; mathematical modeling; teamwork.

1. Introducción

A partir de la construcción del Espacio Europeo para la Educación Superior (EEES) en 1999, se inició un proceso en distintos

países del continente europeo (conocido también como Declaración de Bolonia) que tuvo por objeto, en principio, facilitar el

intercambio estudiantil y ajustar los contenidos de los estudios universitarios a las demandas sociales, dando lugar a la denominada “Sociedad del Conocimiento”. El mencionado proceso se extendió posteriormente a distintos países fuera de dicha región y estuvo enmarcado en la determinación de nuevos enfoques para el diseño de planes de estudio universitarios, partiendo de la identificación de aquellas habilidades y actitudes personales requeridas para una competencia profesional óptima (Hernández-Encuentra y Sánchez-Carbonell, 2005).

Específicamente en la República Argentina, en su Propuesta de Estándares de Segunda Generación para la Acreditación de Carreras de Ingeniería, el Consejo Federal de Decanos de Facultades de Ingeniería (CONFEDI) señala, entre otras, las siguientes competencias genéricas que los estudiantes de ingeniería necesitan alcanzar: “identificar, formular y resolver problemas de la profesión, comunicarse con efectividad y aprender en forma continua y autónoma” (CONFEDI, Libro Rojo, 2018). Más específicamente, en las consideraciones generales del mencionado texto se acentúa, como uno de los principales objetivos, el de consolidar un modelo de aprendizaje centrado en el estudiante. Entendemos que, dentro de esta perspectiva, es necesario que como docentes seleccionemos las actividades que resulten más propicias para que los estudiantes desarrollen las competencias antes mencionadas y se involucren de manera activa en el proceso de su propio aprendizaje. En este contexto, la educación en ingeniería debe centrarse en desarrollar “competencias genéricas” en sus estudiantes, combinadas con competencias “genéricas en ingeniería”. Estas últimas pueden sintetizarse en todos aquellos conocimientos, habilidades, actitudes y disposiciones que son importantes en todas las áreas de la ingeniería y facilitan el éxito de los ingenieros como individuos y en sus contribuciones hacia la sociedad (Male, 2010). De esta manera, si se evalúa la actividad desde su aporte al enfoque por

competencias, se pone en evidencia la necesidad de construir un espacio propicio que favorezca la adquisición de las mencionadas habilidades, pero que además involucre aquellas ligadas al trabajo en equipo, la comunicación con efectividad, el aprendizaje continuo y autónomo y, sobre todo, el desarrollo de un pensamiento crítico y creativo. Dicho contexto posibilita entonces que el estudiante otorgue sentido a sus aprendizajes, se apropie de los mismos y participe activamente durante todo el proceso (Male, 2010)

Partiendo de la premisa anterior, resulta evidente que desde los primeros años de su carrera y ya desde las ciencias básicas, es conveniente que el estudiante pueda enfrentar dificultades propias de otras disciplinas y así pueda establecer puentes entre las distintas ciencias y potenciar los aportes de cada una de ellas. Es sabido que la educación superior interdisciplinaria promueve la integración de dos o más disciplinas para explicar un fenómeno, resolver un problema o plantear nuevas preguntas que una sola disciplina no podría concebir. Una de las estrategias comúnmente utilizadas consiste en el desarrollo de actividades, dentro de un curso específico, que promuevan las habilidades de pensamiento crítico y aprendizaje metacognitivo a través del aprendizaje basado en problemas o proyectos, estudio de casos, la simulación y el juego de roles (Corbacho, 2018, Lyall, Meagher, Bandola y Kettle, 2015). Es por ello que con el fin de consolidar dichas ideas y dentro del marco de un proyecto de investigación denominado “Empleo de problemas interdisciplinarios en asignaturas de matemática en carreras de Ingeniería”, hemos diseñado e implementado diversas actividades interdisciplinarias conectando el área de matemática con disciplinas tales como Química Orgánica, Física, Economía y Algoritmos y Estructura de Datos.

En virtud de lo expuesto, el objetivo principal del presente trabajo consiste en describir el resultado de una experiencia interdisciplinaria específica, en la que puntualmente se involucra al estudiante en la aplicación de

conceptos matemáticos al campo de la fisiología humana, a modo de iniciar al mismo en el camino hacia la modelización matemática, el trabajo en equipo con sus pares y la adquisición de competencias necesarias para su futura vida profesional. Para tal fin, en la primera parte de este documento se llevará a cabo una descripción del marco general de la actividad, con el fin de presentar la problemática planteada a los estudiantes y su desarrollo en términos del análisis matemático de un parámetro (ampliamente conocido) del campo de aplicación propuesto. Seguidamente, se explicará la estrategia que fue utilizada en la actividad para la obtención de dicho parámetro, así como de la identificación de sus características principales. En dicho apartado se presentará la metodología descriptiva, cuyo fin fue explorar los aspectos principales relacionados con la participación de los estudiantes a través de un cuestionario guía de evaluación de los resultados de la actividad. Finalmente, se procederá al análisis de los resultados obtenidos conjuntamente con la valoración integral de la actividad, tomando en consideración las implicancias de haber vinculado a los estudiantes con una actividad interdisciplinaria en una etapa temprana de su formación académica.

2. Metodología

La presente constituye una investigación descriptiva debido a que se visualiza e interpreta el impacto de las actividades y recursos implementados. La selección de la muestra fue de manera intencional, no probabilística, a la cual se le aplicó una encuesta a través de un cuestionario que permitió conocer la percepción de los estudiantes sobre la metodología aplicada.

2.1 Participantes

La actividad fue llevada a cabo por 58 estudiantes, todos cursantes de la asignatura Análisis Matemático I (AMI) correspondiente al primer año de las distintas carreras de Ingeniería de la Facultad Regional Buenos Aires, perte-

neciente a la Universidad Tecnológica (UTN.BA) Nacional. El curso tiene una duración total de 32 semanas. El grupo de análisis fue conformado por participantes de los turnos mañana, tarde y noche, de manera simultánea y en la misma etapa formativa. Se introdujo a los mismos un esquema de trabajo relacionado con el concepto de “ingeniería aplicada al modelado del sistema cardiovascular”, en el que participaron activamente tanto en la recolección de datos como en la evaluación posterior de los mismos.

2.2 Diseño de la estrategia

Teniendo en cuenta que, en la formación del ingeniero, la matemática constituye una herramienta auxiliar y se aplica en diversas asignaturas del ciclo académico, consideramos que el planteo de problemas que involucren múltiples disciplinas adquiere especial importancia en términos de un enfoque pleno de sus habilidades. En efecto, la matemática “permite pensar en términos del razonamiento científico y su carácter de ciencia hipotético-deductiva ofrece la oportunidad de argumentar las ideas desde una base sólida” a la vez que, por otra parte, “ubicados los problemas en la actividad educativa, el proceso de su resolución aparece como una instancia promotora y generadora de la construcción de conocimientos” (Pano, Fridman, Rodil Martínez, Torre y Zion, 2011, pp. 62, 63). En este sentido, el procedimiento de modelización matemática brinda un marco propicio para que los estudiantes de los primeros años puedan comenzar a desplegar diversas estrategias cognitivas que emplearán tanto en el abordaje de algunas asignaturas de su especialidad, como en su futura labor profesional. En relación a lo expuesto, la problemática elegida para ser afrontada por los estudiantes se constituyó en la selección de un parámetro ligado al funcionamiento del sistema cardiovascular (SCV), de modo que su evolución temporal respetara el concepto de relación funcional. Bajo dicha premisa, la variación temporal de la “Presión Arterial” (PA) cumple con creces dicho requerimiento

y manifiesta un patrón de fácil identificación y versatilidad para su análisis.

Por otra parte, consideramos importante la utilización de la herramienta de trabajo grupal, ya que como se destaca en Camilloni, Cappelletti, Hoffmann, Katzkowicz y López (2010, pp. 152-153): “En los trabajos grupales, los alumnos deben resolver situaciones problema en ejercicio de su autonomía y se hacen responsables por su aprendizaje. Sus decisiones son puestas a prueba de manera continua, por lo que la evaluación no se limita al momento final en el que se presentan los resultados, sino que está entramada en el transcurso del proceso de elaboración del trabajo”. Bajo dicha premisa, la actividad se realizó en conjuntos de 4 a 5 estudiantes, definidos aleatoriamente, con una entrega posterior de un trabajo escrito para ser defendido oralmente.

El proceso de trabajo se desarrolló secuencialmente en etapas perfectamente diferenciadas, durante la segunda parte de la asignatura (la misma es de carácter anual), a saber: 1) presentación a los estudiantes con entrega de material teórico sobre análisis de ondas de PA, 2) adquisición no invasiva de datos a estudiantes voluntarios por parte de los profesionales médicos que participan del Grupo de Investigación y Desarrollo en Bioingeniería (GIBIO), 3) elaboración de las gráficas de análisis mediante software aportado por los miembros del grupo, 4) presentación del cuestionario guía y conformación de grupos de trabajo, 5) análisis de las gráficas obtenidas a través del cuestionario guía en grupos de hasta 4 participantes, 6) entrega de resultados y puesta en común de conclusiones, 7) encuesta individual de cierre de la actividad.

2.3 Aspectos matemáticos de la Curva de Presión Arterial propuesta

La función esencial del SCV es la de ponerse al servicio de las necesidades de

los tejidos que conforman el cuerpo humano. En dichos términos, debe garantizar el acceso a los nutrientes, el transporte de sus desechos y el traslado de las hormonas, a modo de conformar un entorno que permita el desempeño óptimo de la función celular (Hall, 2011). La circulación sistémica, constituida por la red de conductos arteriales, transporta sangre a presión elevada hacia los tejidos, inyectada a través de una bomba pulsátil, conocida como músculo cardíaco o corazón. En términos básicos, la PA denota la fuerza por unidad de área que ejerce la sangre contra la pared del vaso y se mide tradicionalmente en milímetros de mercurio (mmHg). A lo largo de un ciclo cardíaco (latido), los valores de PA alternan entre niveles que fluctúan desde los 80mmHg (presión arterial diastólica, PAD, el corazón descansa) hasta los 120mmHg (presión arterial sistólica, PAS, el corazón eyecta con máxima intensidad), bajo condiciones fisiológicas normales. Dicha fluctuación se torna prácticamente nula al alcanzar los vasos de menor diámetro (denominados capilares) de modo de asegurar intercambio de las sustancias que hacen al funcionamiento general del sistema (Hall, 2011).

La variación de PA como resultado de la eyección cardíaca constituye un perfil que varía a lo largo del tiempo y su constitución es de vital relevancia en la medicina clínica (O'Rourke, Pauca y Jiang, 2001). En condiciones de reposo, presenta un patrón repetitivo cuasiperiódico. Por otra parte, dicho perfil presenta morfologías diferentes a lo largo de la red arterial, donde ve asimismo incrementada su PAS, que se agudiza o amplifica. Esta variación es consecuencia de las diferentes características de los vasos que componen el sistema (sobre todo en términos de geométricos y elásticos), de modo que la forma de onda a la salida del ventrículo izquierdo (arco aórtico) resulta marcadamente diferente a la que se observa a nivel de la arteria radial (en la muñeca) o de la pedia dorsal (en el pie) (Milnor, 1989; Avolio, Butlin y Walsh, 2010; Esper y Pinsky, 2014). Como consecuencia de ello, y debido

a que la forma de onda de PA es el resultado de la interacción entre el ventrículo izquierdo y la red arterial, puede obtenerse información de relevancia vinculada con la dinámica cardiovascular, a partir de la obtención de los “descriptores morfológicos del pulso arterial” (Esper y Pinsky, 2014). Estos últimos se ven afectados ante condiciones específicas, tales como el aumento de la edad o la presencia de patologías vasculares (hipertensión arterial, aterosclerosis, síndrome metabólico y diabetes) (Vlachopoulos, O'Rourke y Nichols, 2011). Lo expuesto da cuenta de la enorme aplicabilidad de las herramientas matemáticas de AM1, en relación con el estudio funcional de las variaciones temporales del perfil de PA.

2.4. Parámetros representativos a ser analizados por los estudiantes

Conforme se ha expresado en la sección anterior, el análisis morfológico de PA permite la obtención de descriptores o marcadores tempranos de patologías cardiovasculares. Bajo dicha premisa, se efectuó una selección de un conjunto de parámetros que pueden ser derivados del

estudio funcional de un ciclo cardíaco de PA, de modo que pudieran ser identificados por los estudiantes aplicando sus conocimientos y vinculados al contexto de la actividad interdisciplinar. En la Tabla 1 puede advertirse la selección realizada y el modo de determinación de cada parámetro en términos de su relación con la PA.

En la Fig. 1 puede observarse la disposición de cada descriptor seleccionado en relación a la morfología de PA. Tanto la tabla de parámetros como la representación gráfica de la ocurrencia de los mismos fueron entregadas a los estudiantes dentro del contenido teórico (de carácter “novedoso” para ellos) a ser explorado y analizado.

Es importante destacar que, si bien se ha expresado anteriormente que la PA se manifiesta en forma diferenciada conforme el sitio de evaluación vascular, tanto en los infantes como en las personas mayores, dicha morfología resulta similar tanto a nivel de arterias proximales (cercanas al corazón) como distales o periféricas (lejanas). En el caso de los adultos mayores, se observan ondas “tipo A” por “aged” (“envejecida” en inglés), diferentes en términos estructurales a las observadas en adultos y adolescentes,

Tabla 1. Listado de parámetros seleccionados para la evaluación morfológica de la presión arterial por parte de los estudiantes

TABLA DE PARÁMETROS REPRESENTATIVOS DE LA CURVA DE PRESIÓN ARTERIAL (PA)		
Parámetro	Descripción	Relación con PA
PAS	Presión Arterial Sistólica	Valor de presión máximo
PAD	Presión Arterial Diastólica	Valor de presión mínimo
PAM	Presión Arterial Media	Valor de presión medio
PP	Presión Pulsátil (relacionada con la ocurrencia de eventos cardiovasculares)	Diferencia entre PAS y PAD
ID	Ocurrencia temporal de la incisura dicota	Interrupción del descenso brusco de presión posterior a PAS (mínimo local)
PDO	Ocurrencia temporal del “pie de onda”	Punto de amplitud mínima entre el frente anterior de una onda y el frente de siguiente
CC	Duración del ciclo cardíaco	Intervalo entre dos PDO sucesivos
TE	Duración de la eyección ventricular	Intervalo temporal existente entre PDO e ID
Pi	Presión de Inflexión (incisura anacrótica)	Ocurrencia de un punto de inflexión en la onda durante el intervalo TE . Puede ser previo o posterior a la ocurrencia de PAS
PAu	Presión de Aumento	Diferencia entre PAS y Pi
dp/dt_{max}	Velocidad de aumento máxima de la presión (relacionada con la contractilidad del corazón)	Valor de derivada máxima, existente entre PDO y la ocurrencia de PAS

donde principalmente se advierte una onda secundaria durante la fase diastólica (O'Rourke et al., 2001). En este último caso, las ondas son denominadas "tipo C" por "child" ("niño", en inglés).

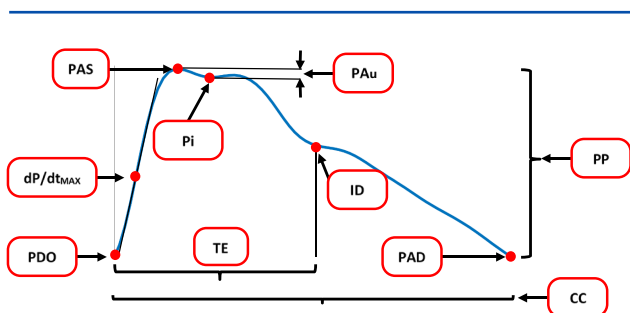


Figura 1. Descripción de los puntos característicos en un ciclo cardíaco (CC) onda de presión arterial aórtica. Se observan las presiones máxima (sistólica, PAS), mínima (diastólica, PAD) y pulsátil (PP=PAS-PAD). Puede advertirse la ocurrencia temporal del "pie de onda" (PDO), la incisura dicota (ID), la velocidad máxima de aumento de la presión (dP/dt_{max}), la presión de inflexión (Pi), la presión de aumento (PAu) y la duración de la eyección (TE).

2.5. Procedimiento del proyecto interdisciplinar

En los últimos años de investigación hemos observado, a través de diferentes encuestas efectuadas a los estudiantes, gran interés por parte de ellos en realizar actividades de aplicación relacionadas con temas biomédicos. Por otra parte, como docentes valoramos, en especial, el trabajo conjunto con colegas de diferentes áreas dentro de nuestra institución. A partir de ello, hemos concebido esta actividad en conjunto con docentes investigadores del GIBIO, en virtud de su experticia en tópicos relacionados con la salud cardiovascular. En una etapa inicial, nos informamos acerca de los conceptos biomédicos involucrados en esta actividad, relacionados con el análisis de parámetros de la fisiología humana y, posteriormente, planificamos, en conjunto con docentes investigadores del mencionado grupo, la estrategia completa.

2.5.1 Medición no invasiva de la presión arterial en estudiantes

Una manera de obtener un registro de la morfología de PA de manera no invasiva es a partir de la técnica denominada "tonometría por aplanamiento". La misma se aplica en determinados sitios donde se manifiestan las llamadas "arterias superficiales", de modo que puede percibirse el pulso arterial directamente por palpación. Como consecuencia de ello, resulta factible posicionar una sonda sobre la piel (sensor) y efectuar una medición confiable de varios latidos consecutivos. Los sitios más comunes de evaluación son el cuello (arteria carótida), la cara anterior del codo (arteria braquial o humeral), la muñeca (arteria radial), el pliegue inguinal (arteria femoral), la rodilla (arteria poplítea) y el tobillo (arteria tibial). El procedimiento de medición requiere ser efectuado de manera sistematizada, de modo que la sonda sea presionada sobre el vaso y entre en contacto con las estructuras rígidas subyacentes (huesos, cartílagos o músculos). A efectos prácticos, se considera que el estado de aplanamiento resulta óptimo en circunstancias donde se obtiene una señal reproducible de amplitud extrema. Conforme puede advertirse, uno de los aspectos negativos en la implementación de esta metodología puede apreciarse en el consumo temporal derivado del posicionamiento adecuado de la sonda, el cual requiere de un operador experimentado que evite la presencia errores invalidantes del resultado de la medición.

La experimentación se llevó a cabo con seis estudiantes (representantes de cada grupo de trabajo, 18-23 años), pertenecientes a los cursos de AMI de UTN.BA. En primer lugar, se obtuvieron los valores sistodiastólicos de PA, a partir de un esfigmomanómetro (Omron 705I), con el individuo en posición supina por un lapso superior a los 10 min. Seguidamente, y manteniendo la misma posición, se adquirieron las formas de onda de PA en las arterias carótida y radial, utilizando la técnica de tonometría previamente descrita (Sistema uFISIO, perteneciente al GIBIO) (De Luca, et al., 2020). La adquisición efectuada no resultó inferior a 15 latidos cardíacos en estado

estable. Finalmente, los miembros del GIBIO elaboraron los gráficos de las formas de onda de PA adquiridas para cada estudiante, junto a sus derivadas primera y segunda (Fig. 2, panel superior). Adicionalmente se confeccionó una gráfica similar, para una onda tipo “A” (adulto de 65 años), obtenida de la base de datos del GIBIO. El intervalo de duración considerado para su realización fue de cinco latidos consecutivos. Debe tenerse en consideración que para la ejecución de este trabajo se tuvieron en cuenta las consideraciones éticas para estudios de investigación en salud (Resolución 8430 de 1993 y declaración de Helsinki, de la Asociación Médica Mundial) y la aprobación por parte de la institución universitaria. Asimismo, se contó con la asistencia permanente de profesionales médicos pertenecientes al GIBIO.

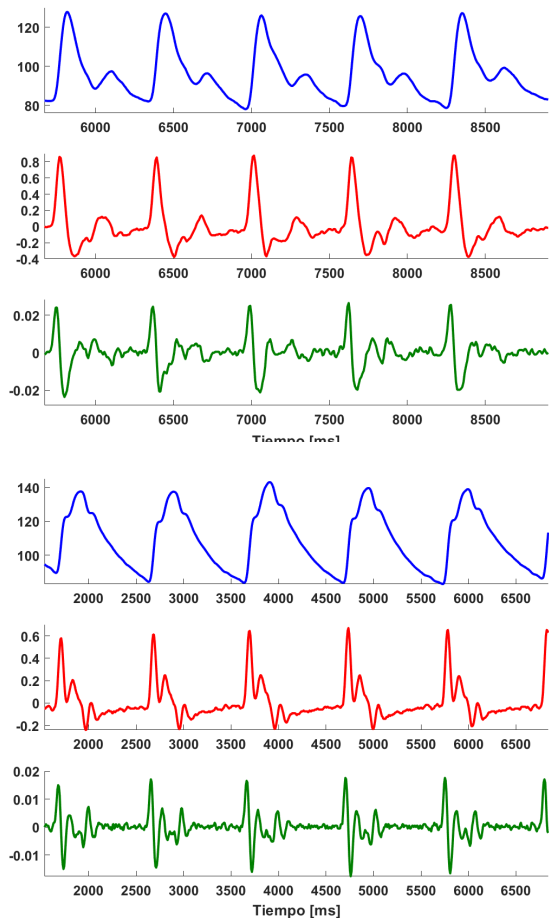


Figura 2.- Gráficas de la onda de presión arterial (en azul) y sus derivadas primera (en rojo) y segunda (en verde), entregadas a los estudiantes. Panel superior: Onda tipo “C” (child, por su denominación en inglés) correspondiente a un joven estudiante. Panel inferior: Onda tipo “A” (aged, por su denominación en inglés) correspondiente a un adulto de 65 años.

2.5.2 Material proporcionado para la realización de la experiencia

En cuanto al material teórico proporcionado a los estudiantes, el mismo contempló: a) información, tanto general como específica, en relación al abordaje morfológico de la curva de PA y sus parámetros de análisis b) las gráficas correspondientes al desarrollo de la experiencia, conformadas por la medición de la PA en estudiantes voluntarios (ondas tipo “C”) y la generada especialmente en base a una onda tipo “A” (adulto de 65 años) y c) el cuestionario guía para la realización del estudio de la curva. Inicialmente, se solicitó que los participantes analizaran los esquemas proporcionados con el fin de identificar los parámetros característicos, para luego utilizar los conceptos matemáticos adquiridos en clase y aplicarlos a las distintas condiciones de evaluación. Un ejemplo de ello lo constituyó la diferenciación entre ondas tipo “A” y “C”.

2.6 Instrumentos

2.6.1 Cuestionario guía para el desarrollo de la actividad

Entregadas las gráficas correspondientes de las ondas de PA medidas en los voluntarios, los estudiantes debieron efectuar la resolución de la Guía de Actividad que se detalla en el Anexo 1. En la confección de la misma se buscó hacer uso de los conocimientos del Análisis Matemático en una variable real, aplicados a la evaluación morfológica de un parámetro cardiovascular obtenido experimentalmente por los propios participantes. En términos específicos, esta actividad involucró contenidos de la unidad de “Funciones Diferenciables” del programa de la asignatura a saber: teoremas relativos a funciones derivables que dan el marco teórico que permite la identificación geométrica y cálculo de extremos relativos y absolutos, el análisis de concavidad de una curva, el análisis de condiciones necesarias y suficientes para la existencia de extremos locales y el análisis de funciones. Se

pretendió brindar un espacio atractivo, de participación activa, y que favoreciera el desarrollo de distintos registros de representación, tales como el analítico, el gráfico y el geométrico. A partir de allí, el alumno identificó las propiedades cualitativas de una función y dio respuesta a las preguntas planteadas, en términos de la información vinculada a la dinámica del sistema cardiovascular. El producido final debió ser defendido por cada grupo, abordando la experiencia de manera integradora.

2.7 Análisis de datos

Los resultados obtenidos en relación al desarrollo de la actividad se analizaron de manera descriptiva. Posteriormente a la defensa del trabajo efectuada por cada grupo, se llevó a cabo un cuestionario individual, con el objeto de completar la experiencia, como el que se visualiza en la Tabla 2. Las preguntas se encuentran orientadas a la evaluación de tres ejes centrales: el primero se fundamenta en la motivación por parte de los estudiantes para abordar situaciones problemáticas interdisciplinarias (preguntas 1 y 2), el segundo involucra un espacio de reflexión respecto de sus propios aprendizajes y capacidades matemáticas (preguntas 3, 4, 5, 6 y 7) y el tercero, la valoración de la necesidad de este tipo de abordajes dentro de la clase de AMI (preguntas 8 y 9).

3. Resultados

Las respuestas del cuestionario permitieron reflexionar conjuntamente al docente y al estudiante en lo que respecta a la adquisición tanto de herramientas matemáticas como de las distintas habilidades cognitivas involucradas en la actividad. En cuanto a la motivación, se observa gran interés en el abordaje de situaciones problemáticas, tales son los resultados relacionados a la pregunta 1 con un 65% de respuestas positivas y a la pregunta 9, con más del 62% de aceptación.

Respecto de la autoevaluación de los participantes, la misma nos permite contemplar cuál es el grado de avance de sus aprendizajes. Casi el 80% manifiesta ser capaz de relacionar los conceptos aprendidos con otros anteriores y solo el 10% expresa tener dificultad en entender las relaciones existentes entre los temas propios de la materia. Sin embargo, cuando se indaga respecto del uso de modelos matemáticos para la resolución de situaciones problemáticas, mientras un 41% asume poder identificar dichos modelos, un 51% afirma no estar seguro de poder identificarlos correctamente. La respuesta es similar cuando se les consulta respecto de si logran aplicar los conceptos aprendidos sobre funciones a otras áreas de estudio.

En cuanto a la toma de conciencia respecto de la importancia de poder establecer relaciones entre las distintas áreas de conocimiento, se observa más de un 89%

Tabla 2. Cuestionario aplicado a los estudiantes a partir de la tarea realizada. Las preguntas están orientadas a la evaluación de tres ejes centrales: el primero se fundamenta en la motivación para abordar situaciones problemáticas interdisciplinarias (preguntas 1 y 2), el segundo involucra un espacio de reflexión respecto de sus propios aprendizajes y capacidades matemáticas (preguntas 3, 4, 5, 6 y 7) y el tercero, la valoración de la necesidad de este tipo de abordajes dentro de la clase de AMI (preguntas 8 y 9)

CUESTIONARIO DE ESTRATEGIAS DE APRENDIZAJE Y MOTIVACIÓN ANÁLISIS MATEMÁTICO I E INGENIERÍA CARDIOVASCULAR			
ÍTEMS	En desacuerdo	Indeciso	De acuerdo
En las actividades desarrolladas en clase deseo que se presenten situaciones problemáticas que despierten mi curiosidad a pesar del grado de dificultad de las mismas			
Es interesante para mi poder establecer relaciones entre las asignaturas			
Identifico correctamente los modelos matemáticos que debo aplicar en temas que son propios a distintas áreas			
Relaciono los conceptos desarrollados en las clases con otros adquiridos previamente			
Vinculo las palabras clave comunes de los temas que se relacionan con las distintas asignaturas			
Los conceptos aprendidos sobre las funciones, los aplico en otras áreas de estudio			
En las clases de AMI me resulta difícil entender las relaciones que existen entre los temas propios de la materia			
Cuando estudio hago hincapié en los vínculos existentes entre los temas			
Trabajo con más dedicación en la clase de AMI cuando le encuentro sentido al modelo teórico utilizado en otras disciplinas			

Cuestionario de cierre de la actividad

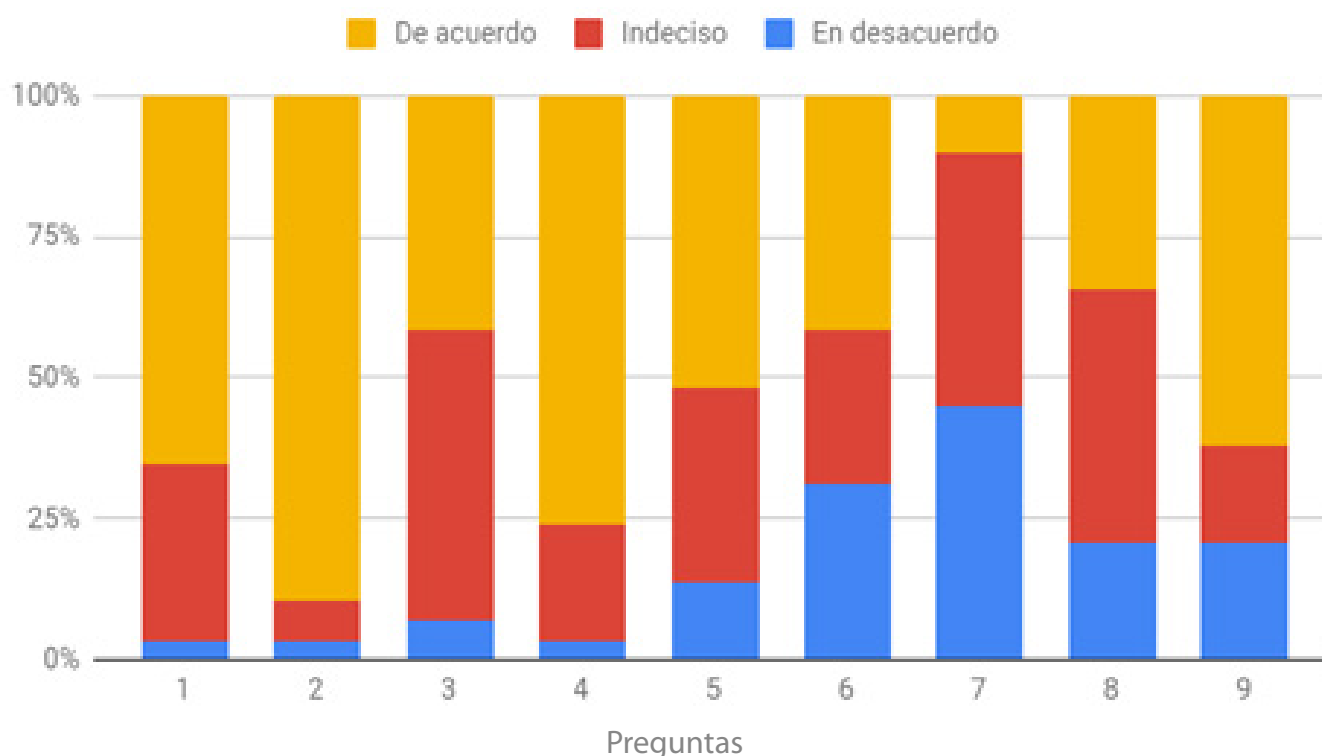


Figura 3. Resultados del cuestionario respecto de la actividad realizada. Los colores de las barras representan el porcentaje según el tipo de respuesta a la pregunta efectuada: “De acuerdo” (amarillo), “Indeciso” (rojo), “En desacuerdo” (azul).

de respuestas favorables en este sentido. Aun así, solo un 34% hace hincapié en los vínculos existentes entre los temas y un 44% de los estudiantes no está seguro de hacerlo.

4. Discusión

En el presente trabajo se describió una experiencia de carácter interdisciplinario, en el que los conceptos matemáticos abordados en el curso de AMI fueron aplicados al campo de la fisiología humana, y en el que los estudiantes participaron activamente en la recolección y análisis de señales de presión arterial. Los resultados obtenidos fueron muy alentadores, ya que dan cuenta del alto grado de aceptación por parte del estudiantado acerca de este tipo de iniciativas. En este sentido, la implementación del Cuestionario de Estrategias de Aprendizajes y Motivación se consolidó como una herramienta informativa relevante para la planificación y desarrollo de los contenidos de AMI, con el fin incentivar el interés en los tópicos de estudio y lograr la

aplicación e integración los conceptos aprendidos.

En estos últimos años se han implementado nuevas formas de pedagogía, tales como el aula invertida, el aprendizaje combinado y la gamificación, lo cual da cuenta que los avances tecnológicos están cambiando las perspectivas hacia las cuales se orienta la educación (Yuan y Powell, 2013). Es sabido que posteriormente a la entrada al nuevo milenio los roles ejercidos por parte de los ingenieros se han ido modificando, tendiendo hacia un entorno global estrechamente conectado. Los ingenieros del siglo XXI deben abordar problemas complejos, pudiendo desenvolverse en contextos colaborativos e interdisciplinarios (Shuman y Besterfield-Sacre, 2019). Bajo dicha premisa, la interdisciplinariedad adquiere un lugar de privilegio en el ámbito educativo, pues posibilita que los estudiantes profundicen la aplicación de la teoría a una práctica relacionada con varias asignaturas. Debe entenderse que no se trata de que el alumno logre una simple

aplicación de la teoría a algunos problemas típicos, sino que la práctica se constituya en una fuente de conocimiento teórico. En relación a ello, el trabajo con actividades que relacionen la matemática con otras disciplinas, favorece la integración de conceptos relacionando la nueva información con aquella ya adquirida. Si bien en el proceso de resolución utilizarán conceptos ya estudiados en la asignatura, la tarea propuesta les exigirá el desarrollo de nuevas habilidades, relacionando lo aprendido de manera transversal. Es por ello que la interdisciplinariedad aplicada a la enseñanza constituye una estrategia poderosa, ya que, más allá de resultar motivadora para los estudiantes, les permite desplegar destrezas que resultarán beneficiosas no solo en el abordaje de los contenidos de las asignaturas de años superiores, sino además en su futuro desempeño profesional. De este modo, la oportunidad de poner sus ideas en acción proporciona a los estudiantes herramientas para desenvolverse en dominios totalmente ajenos al entorno áulico e incluso apuntar a aquellos que tal vez no existan al momento de recibir su diploma. Este tipo de actividades conforma una iniciativa ideal con miras a enfrentar un contexto globalizado de crisis planetaria, pero al mismo tiempo de grandes oportunidades (Armentano, 2012).

Un aspecto a considerar de la experiencia descrita es que no se ha cotejado el rendimiento académico del grupo de estudiantes respecto de otro donde dicha actividad no fue implementada. No obstante, se han documentado experiencias previas que demuestran el elevado grado de aceptación manifestado por los estudiantes en relación a actividades de carácter interdisciplinar, junto con el beneficio que implica su incorporación en el programa académico en términos de: motivación, comprensión de la realidad, resolución de problemas, interacción con sus pares, cooperación y discusión de puntos de vista (Corbacho, 2018; Lyall et al., 2015; Peña, 2015; Lenoir, 2013; Culasso y Saiz, 2014; Osman, Hoing y Vebrianto, 2013; Skates, 2003). Sin embargo, en determinadas

ocasiones la implementación de dichas técnicas no resulta tan fácil para los docentes. Las distintas asignaturas poseen características, objetivos y métodos que las distinguen, rasgos que se extienden también a las disciplinas académicas. Es por ello que en un principio resulta complejo hallar un punto de encuentro entre académicos pertenecientes a diferentes áreas de la enseñanza, a modo de diseñar e implementar secuencias didácticas en forma conjunta. Se observan, en general, restricciones situacionales relacionadas a la cobertura de contenido, la falta de tiempo, las normas departamentales, cierta resistencia por parte del estudiante, limitaciones áulicas y una estructura del cursado poco flexible (Finelli y Froyd, 2019). No obstante, entendemos que el rédito obtenido como resultado de efectuar una actividad interdisciplinaria justifica con creces el esfuerzo invertido por parte de los docentes en sortear dichos impedimentos, con el fin de poder definir una actividad combinada.

Por su parte, el desarrollo de la actividad en sí misma constituye un punto de interés a ser destacado. Si bien los estudiantes contaron con acceso previo al conocimiento tanto de las herramientas matemáticas a ser aplicadas como de la problemática específica a ser evaluada (el estudio de la presión arterial), el acceso al ecosistema de medición (particularmente a los dispositivos utilizados para la adquisición de las series temporales a evaluar) determinó una sinergia sumamente enriquecedora. Aspectos tales como la descripción del fenómeno bajo estudio desde el campo de la fisiología, el análisis del método de medición, la vinculación con conocimientos preexistentes de otras áreas (la física o la biología) y su propia participación, consolidaron un disparador integrador. Este último dio origen a interrogantes tales como ¿mi especialidad me posibilitará resolver este tipo de problemáticas?, ¿mis capacidades me permitirán concebir dispositivos y algoritmos que posibiliten dicha resolución?, ¿podré vincular mi carrera académica con actividades ligadas a investigación y desarrollo?, los cuales tienden a ejercer un efecto motivador, definiendo un horizonte específico en una etapa temprana de la vida universitaria.

A la vista de los resultados obtenidos, el trabajo colaborativo e interdisciplinario detallado en el presente artículo (donde docentes e investigadores han desarrollado roles perfectamente definidos y complementarios) constituye un paso sustancial en la ruptura de las barreras existentes para el abordaje interdisciplinario. Habida cuenta que, en los primeros años de su plan de estudios, una parte considerable de los contenidos suele presentarse descontextualizada en relación a situaciones cercanas a la realidad, el propiciar el tipo de enseñanza centrada en los estudiantes requiere poner en relevancia aquellas actividades que posibiliten transferir los aprendizajes de manera creativa, participativa y sumamente motivadora.

Referencias

- Armentano, R. L. (2012). Updating engineering education in the southern cone: Creativity and innovation. *Creative Education*, 3(06), 733.
- Avolio, A. P., Butlin, M., y Walsh, A. (2010). Arterial blood pressure measurement and pulse wave analysis--their role in enhancing cardiovascular assessment. *Physiological Measurement*, 31(1), R1-47. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/31/1/R01>
- Culasso, M. G., y Saiz, M. D. C. F. (2014). Talleres Interdisciplinarios entre estudiantes de Arquitectura e Ingeniería ¿Una práctica posible? *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 1(2), 61-67.
- Camilloni, A., Cappelletti, G., Hoffmann, J., Katzkowicz, R., y López, L. (2010). *La evaluación significativa*. Paidós. Buenos Aires, pp. 152-153.
- CONFEDI (2018). *Libro Rojo*, Aprobado por Asamblea de CONFEDI en Rosario el 1 de junio de 2018. Disponible en: <https://confediorg.ar/librorojo.pp1>
- Corbacho, A. M. (2018). El aprendizaje interdisciplinario, intensivo e integrado como herramienta para el desarrollo de conocimientos, habilidades y aptitudes en estudiantes de grado. *Interdisciplina*, 5(13), 63-85.
- De Luca, M. A., Cymbarknop, L. J., Mayer, I., Percunte, M. D., Arbeitman, C. R., Chatterjee, P., y Armentano, R. L. (2020). Device for the Evaluation of Carotid Arterial Pressure Based on IoT and 3D-Printing: uFISIO. *Rev. Arg. de Bioingeniería*, 24(1)
- Esper, S. A., y Pinsky, M. R. (2014). Arterial waveform analysis. *Best Practice and Research Clinical Anaesthesiology*, 28(4), 363-380.
- Finelli, C. J., y Froyd, J. E. (2019). Improving Student Learning in Undergraduate Engineering Education by Improving Teaching and Assessment. *Advances in Engineering Education*.
- Hall, J. E. (2011). *Guyton and Hall textbook of medical physiology*. Philadelphia, PA: Saunders Elsevier, 107.
- Hernández-Encuentra, E., y Sánchez-Carbonell, J. (2005). The Bologna process and lifelong education: Problem-based learning. *Higher Education in Europe*, 30(1), 81-88.
- Lenoir, Y. (2013). Interdisciplinarietà en educação: uma síntese de suas especificidades y atualização. *Interdisciplina*, 1(1).
- Lyll, C., Meagher, L., Bandola, J., y Kettle, A. (2015). *Interdisciplinary provision in higher education*. University of Edinburgh.
- Male, S. A. (2010). Generic engineering competencies: A review and modelling approach. *Education research and perspectives*, 37(1), 25.
- Milnor, W. R. (1989). *Hemodynamics* (2.^a ed.). Williams and Wilkins, Baltimore.
- O'Rourke, M. F., Pauca, A., y Jiang, X. J. (2001). Pulse wave analysis. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 51(6), 507-522.

- Osman, K., Hiong, L. C., y Vebrianto, R. (2013). 21st century biology: an interdisciplinary approach of biology, technology, engineering and mathematics education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 102, 188-194.
- Pano, C., Fridman, C., Rodil Martínez, A., Torre, V., y Zion, V. (2011). *Apuntes sobre innovación en educación universitaria*. Buenos Aires: Ediciones Rosel. pp. 62,63
- Peña, Y. R. (2015). La interdisciplinariedad y la formación profesional: una reflexión desde la disciplina de física. *Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias*, 10(1), 116-124.
- Shuman, L. J., y Besterfield-Sacre, M. (2019). Innovation through Propagation: Future Directions for Engineering Education Research. *Advances in Engineering Education*. American Society for Engineering Education.
- Skates, G. W. (2003). Interdisciplinary project working in engineering education. *European Journal of Engineering Education*, 28(2), 187-201.
- Vlachopoulos, C., O'Rourke, M., y Nichols, W. W. (2011). *McDonald's blood flow in arteries: theoretical, experimental and clinical principles*. CRC press.
- Yuan, L., y Powell S. J. (2013). MOOCs and open education: Implications for higher education. *Bolton CETIS*.

Anexo 1

1) En la gráfica correspondiente a la presión arterial:

- ¿Cuál es el máximo absoluto y qué representa? ¿Fluctúa a lo largo de la curva? En caso afirmativo, ¿a qué lo atribuye?
- ¿Cuál es el mínimo absoluto y qué representa?
- ¿Es una función estrictamente periódica? Justifique su respuesta.

2) En la gráfica correspondiente a la derivada primera de la presión arterial:

Considerando que la incisura dicota se genera como consecuencia del cierre de la válvula aórtica, ¿Qué característica tiene la derivada primera en dicho punto?

Sabiendo que se denomina pie de onda al punto de la curva de presión que resulta más conveniente para calcular la duración del ciclo cardíaco ¿Qué ocurre en ese punto con la derivada primera?

3) En la gráfica correspondiente a la derivada segunda de la presión arterial:

¿Dónde se observan puntos de inflexión?

4) Comparando la onda tipo C con la onda tipo A:

- ¿Cómo resultan los puntos de inflexión en cada una?
- ¿Qué ocurre con los máximos y mínimos absolutos y cómo se interpretarían fisiológicamente?
- ¿Qué ocurre con el ciclo cardíaco y por qué?

5) Calcule en cada caso:

- La presión pulsátil
- La presión media
- La ocurrencia temporal de la incisura dicota
- El tiempo de eyección
- ¿Qué diferencias observa?
- En función de los resultados obtenidos, ¿qué conclusiones puede extraer?