

UNA EXPERIENCIA COMPARTIDA ENTRE MATEMÁTICA APLICADA Y HORMIGÓN ARMADO I

SHARING APPLIED MATHEMATICS - REINFORCED CONCRETE I

Gonzalo Ruano^a, Virginia Quintana^a

^aINIQUI (CONICET), Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta, Avda. Bolivia 5159,
4400 Salta, Argentina, <https://www.ing.unsa.edu.ar>

Palabras clave: Enseñanza de Métodos Numéricos, Clase Compartida, Experiencia Pedagógica, Situación de Integración, Aplicaciones Ingenieriles.

Resumen. En este documento se describe la experiencia realizada entre dos materias de la carrera de ingeniería civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Salta (UNSa) durante el primer cuatrimestre del 2020. Una del ciclo básico, Matemática Aplicada (2do año primer cuatrimestre re dictado), y una tecnológica aplicada, Hormigón Armado I (4to año primer cuatrimestre). El objetivo de esta práctica fue romper la soledad de un solo docente al frente de una clase e incorporar recursos para convertir ese evento en lo que se denomina una “Experiencia Pedagógica Decisiva”. El punto de contacto entre ambas asignaturas fue mostrar la aplicación ingenieril de la modelación matemática de diferentes problemas mediante ecuaciones diferenciales. Se trataron modelos para simular el comportamiento dinámico de edificios en altura, la transferencia de calor en elementos bidimensionales y el comportamiento mecánico de vigas sujetas a cargas externas uniformes mediante una ecuación diferencial ordinaria de cuarto orden. Las ecuaciones diferenciales obtenidas fueron abordadas desde el punto de vista analítico (solución exacta), luego mediante métodos numéricos del análisis clásico y finalmente, con la intervención del segundo docente, mediante el método de los elementos finitos.

Keywords: Numerical Methods Teaching, Shared Class, Pedagogic Experience.

Abstract. This document describes the experience between two courses of civil engineering in National University of Salta during the first semester of 2020. The course of Applied Mathematics (fundamental cycle) and Reinforced Concrete (applied technology). The goal of this experience was to avoid one teacher standing along in front of the class and add resources to turn the event into a “Decisive Pedagogic Experience”. Both classes have in common the engineering applications modelling of differential equations such as dynamic behavior of buildings, heat transfer in 2D bodies and mechanical simulation of beams. First an analytical treatment was performed, then classical numerical methods and least finite elements method. The pilot remote experience was performed during the health confinement. According to this initial experience, a complete project was designed as an integration stage to enrich Applied Math. Commercial and research software were used and the students were aimed to generate an own simple one

1 INTRODUCCIÓN

La motivación de este trabajo por parte de los autores surge a partir de haber extendiendo su formación docente del nivel superior. La Dra. Quintana es Experta en Formación por Competencias en Carreras de Ingeniería, posgrado obtenido por la Universidad Nacional de Misiones (UNaM, 2018) y el Dr. Ruano se encuentra finalizando la “Especialización en Docencia Universitaria” (EsDU) de la UNCuyo (UNCuyo, 2020). De esta manera los autores están construyéndose como educadores de manera continua, sostenida y entusiasta y creciendo hacia la madurez pedagógica.

La ideación de esta experiencia pedagógica nace particularmente a partir del desarrollo de una práctica de la EsDU que busca romper la soledad de un único docente frente a alumnos y generar una “Experiencia Pedagógica Decisiva” (Prieto Castillo, 2020) (Prieto Castillo, 2007). La propuesta de la práctica fue pensada para trabajar en conjunto con alguien de la misma cátedra (con formación docente complementaria), pero en este caso el desafío asumido fue mayor al planteado pues se realizó en conjunto entre una materia del ciclo básico y una de las tecnológica aplicada del plan de estudios modificado en el 2005, de la carrera de ingeniería civil, de la facultad de ingeniería de la UNSa (Facultad de Ingeniería UNSa, 2005). Para el desarrollo de esta práctica se escogió como momento el trabajo integrado de la materia Matemática Aplicada, desarrollado a fines del primer cuatrimestre del 2020.

En este trabajo se describe el proyecto original pensado por los autores, luego la etapa piloto que efectivamente se ejecutó y finalmente un proyecto completo a implementar en una futura edición de la práctica docente mencionada.

1.1 Antecedentes

“El Cálculo Numérico es, en la actualidad, una parte esencial de la educación matemática para ingenieros, pues relaciona la matemática aplicada con distintas áreas del conocimiento” (Faure et al., 2018). Particularmente, el método de los Elementos Finitos (EF) es una herramienta que atraviesa varias asignaturas pues permite encontrar soluciones numéricas de ecuaciones diferenciales muy usadas en física e ingeniería. Sirve de herramienta de diseño y análisis y se popularizó luego de la difusión de computadoras. Con EF se pueden diseñar y calcular estructuras de diferentes materiales (acero, hormigón, madera). En piezas de Hormigón Armado se pueden encontrar esfuerzos internos que luego son utilizados para diseñar la armadura a colocar en cada una de esas piezas (Zienkiewicz & Taylor, 1994a)(Zienkiewicz & Taylor, 1994b).

Existen experiencias previas de trabajo conjunto entre cátedras de métodos numéricos y materias de tecnologías. Gamino y otros, (Gamino et al., 2017) realizan una experiencia conjunta entre Cálculo Avanzado e Hidráulica General. Pérez Zerpa (Pérez Zerpa et al., 2019) usa las herramientas numéricas para analizar casos reales de Resistencia de Materiales 2. Lo usual y demandado en estas experiencias es analizar casos ingenieriles y problemas reales (Pérez Zerpa et al., 2019) (Faure et al., 2018), con aplicaciones prácticas y concretas (Gamino et al., 2017).

Finalmente para poder evaluar estas experiencias y para conocer la impresión de los estudiantes acerca de las mismas, suelen realizarse encuestas (Gamino et al., 2017) (Pérez Zerpa et al., 2019).

1.2 Formas Alteradas

Este concepto, introducido por Mariana Maggio (Maggio, 2018) se refiere a pensar y abordar las clases de una manera distinta. Esta forma lleva consigo la pasión y es una generalización de la frase de Simón Rodríguez “*Lo que no se hace sentir no se entiende, y lo que no se entiende no interesa*” o de Elliot Eisner citado por Edith Litwin “*cuando el arte nos conmueve de una manera genuina descubrimos de lo que somos capaces de experimentar*”. Es decir, si como docente somos capaces de movilizar una sensación que llegue a los estudiantes, se podría transformar a ese público cautivo en fanático de algún área del conocimiento, similar a lo que sucede en las series de televisión o internet. Estos estudiantes fans estarían motivados, interesados, inquietos y con ganas de consumir la materia de estudio, pero a la vez serían críticos, participativos y activos. Se necesita provocar una inmersión entendida como hacer vivir una historia. Las series, dice Mariana Maggio, rompen la “secuencia progresiva lineal” y nos enseñan muchas cosas que podríamos usar como inspiración para repensar las prácticas de enseñanza y hacer una nueva propuesta. Para Maggio las formas alteradas son no lineales, no secuenciales con planos alternativos y que no necesariamente están en el mismo espacio. Tienen una narrativa no lineal contemporánea. El punto de inflexión es cuando los docentes se dan cuenta de que pueden hacer formas alteradas.

Entonces, considerando la visión de esta autora, esta experiencia compartida es un salto en el currículo, es una visión más concreta que se les presenta a los estudiantes de 2do año de los posibles problemas de ingeniería que podrán analizar, con herramientas numéricas, en el momento que arriben a las materias tecnológicas propias de la carrera y luego en su posterior rol como profesional del medio.

2 PROYECTO ORIGINAL DE LA EXPERIENCIA PEDAGÓGICA

Se describe a continuación el proyecto originalmente planteado.

2.1 Datos de inscripción curricular

Carrera: Ingeniería Civil	
Materia: MA: Matemática Aplicada / HAI: Hormigón Armado	
Ciclo: Ciencia Básica y Tecnológica Aplicada	Año del plan de estudios: 2 y 4
Unidad: HAI: 3, 4 y 5 MA: Integrador	Tema: Comportamiento en flexión del hormigón simple. Resolución de problemas de contorno de cuarto orden.
Clases: 6 Clases. Semana 18 y 19 de cursado. Del 3/08/2020 al 15/8/2020	
Equipo docente: Gonzalo Ruano – Virginia Quintana	

2.2 Propósitos e intenciones pedagógicas

Capacidades a desarrollar en los alumnos

La experiencia pedagógica contribuye al desarrollo de dos de las competencias tecnológicas definidas para las carreras de ingeniería (CONFEDI, 2018):

- Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.
- Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería.

Además, contribuye en forma transversal al desarrollo de una de las competencias sociales

políticas y actitudinales, también definida para las carreras de ingeniería
c) Comunicarse con efectividad.

Objetivos de aprendizaje

Conocer la herramienta de los EF, su potencial, sus posibles aplicaciones y limitaciones de las simulaciones, particularmente en una modelación del comportamiento estructural y las consecuencias de ello, con especial atención en el análisis de las tensiones desarrolladas. Con esto los estudiantes deberán familiarizarse con la complejidad del método y poder expresar estas cuestiones mediante crítica.

2.3 Contenidos

Introducción al diseño estructural.

Método de los Elementos Finitos (MEF).

Implementación numérica del MEF en C++.

2.4 Secuencia didáctica de la experiencia pedagógica decisiva

CLASE 1: Problemas de Contorno - Introducción al MEF. Docente: Virginia Quintana – Duración: 1:30hs. Videoconferencia vía Zoom.

CLASE 2: Actividad asincrónica. Para inmersión y contacto con los conocimientos básicos, que todavía no vieron en la carrera, se propone ver previamente a la Clase 3 el capítulo de “Estructuras” del ciclo “Entornos Invisibles de la Ciencia y la Tecnología” del canal Encuentro¹ (Campanella, 2011). Sobre ese programa se harán preguntas y se destacarán minutos en los cuales deberán prestar atención especialmente. Docente: Gonzalo Ruano – Duración: 1 hs. Mediante Aula virtual de Matemática Aplicada en Moodle.

CLASE 3: Videoconferencia vía Meet.

A) Problema Disparador: Diseño y cálculo de elementos estructurales (vigas, columnas, etc.) de una vivienda – Docente: Gonzalo Ruano – Duración: 1 hs.

B) Presentación del Trabajo Integrador (Consignas elaboradas en conjunto) con incorporación de rubricas para su evaluación- Docente: Virginia Quintana – Duración: 45 min.

CLASE 4: Implementación numérica en C++ de un problema de contorno tipo de cuarto orden por el MEF. Docente: Virginia Quintana. Videoconferencia vía Zoom.

CLASE 5: Avance del desarrollo de los trabajos integradores. Docente: Virginia Quintana. Videoconferencia vía Zoom.

CLASE 6: Defensa oral de los trabajos integradores - Docente: Virginia Quintana y Gonzalo Ruano. Videoconferencia vía Zoom.

¹ <http://encuentro.gob.ar/programas/serie/8031/379?temporada=1>

2.5 Descripción de la clase compartida, CLASE 3

UBICACIÓN TEMÁTICA. Al tratarse de un Trabajo Integrador se desarrolla en el tramo final del cronograma de la materia. Se presenta la herramienta numérica del método de los Elementos Finitos, importantísima para resolver problemas de ingeniería. Se hacen referencias a las otras materias que podrían usar de este método, ej.: Hormigón Armado I y II, Estructuras Metálicas y de Madera, Geotecnia I y II, Hidráulica General, Aplicada e Hidrología, Estabilidad III y Estructuras Laminadas. En este punto es importante motivar a los estudiantes a aprehender la herramienta no solo entenderla. Tener, además, actitud activa, pero conociendo también las limitaciones del método.

ESTRATEGIAS DE ENTRADA de la clase. Actividades de búsqueda y relacionales. Problema disparador. Presentación de imágenes de resultados obtenidos con la aplicación del MEF.

Como actividad de búsqueda de las propiedades materiales se propone que comparen diferentes módulos de elasticidad; esta propiedad es menester para poder realizar las simulaciones. Ej.: Acero, madera, hormigón, plástico, aluminio. Se pide que se compare la magnitud con valores de la vida cotidiana: presión de una cubierta de autos, presión atmosférica, metros de columna de agua, presión arterial, presión de la garrafa de gas, mi huella en la arena, etc. Se pide escribir en unidades usuales de la práctica y compatibilizar para la misma unidad. De esta manera, se estaría mediando con el bagaje cultural que traen los alumnos e intentando generar relaciones entre lo conocido anteriormente y lo nuevo partiendo desde el alumno con su conocimiento y experiencia previa (Faure et al., 2018). Se espera que, durante el encuentro sincrónico los estudiantes participen por chat haciendo sus estimaciones de valores de módulo bajo supervisión del docente que no está hablando. Se propone ir generando un registro en vivo de los aportes en un muro como los de Padlet o Lino.

También ejemplificar el camino de cargas en el propio esqueleto humano y relacionar con lo visto en “Entornos Invisibles” sobre las estructuras civiles.

Mostrar cuáles son las ecuaciones diferenciales que se resuelven, destacar que se conoce la ley que describe el fenómeno (ecuación diferencial), pero no siempre se conoce la solución exacta. Las soluciones exactas generalmente se conocen para geometrías sencillas, pero cuando las condiciones de borde y/o el problema se complican, no es siempre posible encontrar a la solución exacta. Afortunadamente es posible resolver el problema encontrando soluciones numéricas aproximadas, por ejemplo, a través del método de los Elementos Finitos. Se pueden comparar soluciones obtenidas de un caso, resuelto de manera exacta y también aproximado mediante Elementos Finitos.

DE DESARROLLO de la clase. Se propone presentar el problema de flexión de una viga cargada como un problema de contorno de cuarto orden. Presentar un diseño estructural simple de una casa de dos plantas y aislar uno de los elementos estructurales: la viga. Luego presentar el esquema general de una viga simplemente apoyada en flexión simple, mostrar las tensiones, hacer análisis, hacer alguna familia de curvas (isostáticas, isóclinas, isóbaras), describir todo lo que se muestra en HAI cuando se les dice por qué esa viga no puede resistir tensiones de tracción sin refuerzo de acero. Este trabajo Integrador se desarrollará en Grupos (máximo 3 estudiantes) similar a lo planteado por otros docentes que lograron trabajo grupal y debate (Gamino et al., 2017) con rol activo de los estudiantes (Pérez Zerpa et al., 2019).

El desarrollo tiene diferentes ángulos de mira: uno arquitectónico, otro de lectura de

planos, uno matemático, uno físico, uno de resistencia de materiales, el de HAI. Muchos de los conceptos se heredan y otros quedarán como legado para las materias posteriores.

DE CIERRE de la clase. Recapitulación a cargo de los estudiantes con coordinación de los docentes y retomar el ejemplo que se usará dos años más tarde en HAI. Recomendaciones y advertencias de las condiciones de contorno. Se prevé para la última parte de esta práctica realizar una encuesta mediante formulario de Google que será usada en la etapa de reflexión.

3 PROYECTO PILOTO IMPLEMENTADO

La situación de Aislamiento Social Preventivo Obligatorio (ASPO) derivó en que se deban realizar adecuaciones al calendario académico y varios cambios más. Es por eso que el proyecto original descrito en el apartado anterior, que era tan ambicioso, se ajustó. Se realizó solamente la clase compartida (Clase 3) del plan original, con algunas modificaciones. No fue posible realizar todo el práctico integrador como estaba planeado. Se restringió la clase a mostrar el potencial de la herramienta numérica y una aplicación rápida por parte de los estudiantes con rol de usuarios, sin programación.

DESCRIPCIÓN DE LA CLASE. La clase se desarrolló mediante una reunión de Google Meet. Se preparó un instructivo para que en todo momento los estudiantes pudieran ver a los docentes y a la presentación que cada uno de nosotros había preparado. Ambos docentes podían compartir la presentación, de a uno por vez, con el resto de los participantes.

Se explicó a los alumnos que esta clase sería compartida y se invitó a los alumnos a participar y a hacer preguntas. Como introducción, se realizó un ping pon de preguntas y respuestas de los métodos numéricos entre los docentes.

Luego, la clase se desarrolló con las diapositivas de Virginia que ponían énfasis a los problemas uniaxiales y referencia a los temas vistos durante el cursado de Matemática Aplicada. Las diapositivas de Gonzalo eran simulaciones numéricas de las aplicaciones, con casos vistosos, con mapas de colores, ejemplos en 2D y 3D y referencias a ensayos experimentales. Ambos docentes hicieron referencias a las materias del currículo en las que se podrían usar métodos numéricos. Los casos prácticos mostrados corresponden a simulaciones realizadas en software académico y en software comercial de cálculo de estructuras.

Como cierre se les comentó a los alumnos los objetivos de esta clase compartida, Virginia aclaró algunos puntos referidos al calendario y fueron invitados a llenar una breve encuesta de Google. La clase duró 80 minutos.

Se transcribe a continuación la encuesta y las respuestas recabadas.

<i>¿Conoce algún programa (comercial o de otro tipo) que trabaje con Elementos Finitos?</i>
Sí
No
Sí, pero no recuerdo el nombre

<i>¿En qué materias de la carrera piensa piensan que podrían aplicar métodos numéricos?</i>
Hormigón Armado y las Estabilidades
Todas las asignaturas superiores
Estabilidad, hormigón
Estabilidad 2 y 3, hormigón armado.

<i>¿Qué problemas cree que se pueden simular?</i>
Resistencia de Vigas a las vibraciones
Simulación de edificios
En los que actúan fuerzas externas sobre un edificio
Problemas de deformaciones

<i>Puede visitar el siguiente enlace para ver algunas de las áreas de aplicación de los métodos numéricos. https://www.cimne.com/2060/2746/research/research-areas-and-groups</i>
<i>¿Podría ahora sugerir otras áreas de aplicación?</i>
No en específico
Electrónica, mecánica, aeronáutica
En materiales

<i>Si lo desea puede dar su percepción de esta clase.</i>
La disfrute mucho, me dio una idea más amplia de aplicación de lo aprendido en la cursada
Interesante, amplia
Ok
Fue buena como para dar una dimensión de lo importante que es la materia, pero no entendí mucho ya que hay que muchas cosas que aún no vi

La devolución obtenida mediante la encuesta muestra que en general las sensaciones de los estudiantes fueron positivas, pero al tratarse de una experiencia virtual no se pudo captar la

atmósfera del aula.

4 PROPUESTA A FUTURO

Consiste en llevar a cabo las actividades propuestas en el Proyecto Original, pero adecuándolas al contexto actual, que permite clases presenciales. Se mantienen las actividades asíncronas mediante la plataforma virtual. Las consultas podrán ser en modalidad mixta, virtual y presencial. Además, los estudiantes se pondrán en acción mediante la programación del caso planteado y la resolución de un problema real en el que ellos generan su propia herramienta numérica. Se prevé la realización de este Proyecto Competo a fines del segundo cuatrimestre de este año.

5 CONCLUSIONES

En este trabajo se describe una experiencia planteada entre Matemática Aplicada y Hormigón Armado I y luego una experiencia compartida durante el ASPO. A partir de las tareas realizadas los autores arribaron a las siguientes reflexiones:

- En busca de realizar una actividad muy significativa se pueden planificar actividades ambiciosas que demanden tiempo y sean complicadas. Preparar una clase de estas características es una labor mucho más ardua; lleva mucho trabajo de planificación, coordinación y preparación de las actividades.
- La clase Piloto quedó demasiado expositiva respecto de lo deseado, pero con la innovación de incorporar dos expositores, donde uno de ellos era ajeno a la materia. Faltó poner en actividad a los estudiantes, lo cual se plantea hacer en una futura edición de la experiencia.
- La clase planteada fue muy buena, con comunicación se pueden mejorar muchos aspectos, se necesita diálogo y coordinación entre los educadores y de esa manera arribar a una clase de otro nivel que sea provechosa para todos los participantes.
- Se resalta la contextualización que tuvo la clase, ya que las herramientas numéricas son muy usadas y difundidas para analizar y resolver problemas de ingeniería.

Finalmente se destaca que el ejercicio docente resulta enriquecido con la comunicación la incentivación a participación activa de estudiantes, la inclusión de aspectos emocionales, la contextualización y la evaluación formativa.

REFERENCIAS

- Campanella, J. J. (2011). *Estructuras*. Entornos Invisibles de La Ciencia y La Tecnología. <http://encuentro.gob.ar/programas/serie/8031/379?temporada=1>
- CONFEDI. (2018). *Libro Rojo. Propuesta de Estándares de Segunda Generación para la Acreditación de Carreras de Ingeniería en la República Argentina*.
- Facultad de Ingeniería UNSa. (2005). *Plan de Estudio*. <https://www.ing.unsa.edu.ar/oferta-academica/grado/ingenieria-civil>
- Faure, O. R., Rougier, V. C., & Quiroga, G. M. (2018). Métodos Numéricos en Problemas de Ingeniería. *Mecánica Computacional*, 36(22), 1029–1038.

- Gamino, A. L., Mena, O. G., Amiconi, D. F., Cedrik, P. S., & Giménez, F. L. (2017). EXPERIENCIAS EDUCACIONALES CONJUNTAS ENTRE LAS CÁTEDRAS DE CÁLCULO AVANZADO E HIDRÁULICA GENERAL Y APLICADA. *Mecánica Computacional*, XXXV, 715–729.
- Maggio, M. (2018). Tiempos inmersivos. In *Reinventar la clase en la universidad* (pp. 45–67).
- Pérez Zerpa, J. M., Figueredo, D., Viera, J., & Otegui, X. (2019). APLICACIÓN DE NUEVAS HERRAMIENTAS Y PRÁCTICAS DE ENSEÑANZA Y EVALUACIÓN DE LOS APRENDIZAJES EN CURSOS DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL. *Mecánica Computacional*, XXXVII, 851–860.
- Prieto Castillo, D. (2007). *En torno a las experiencias pedagógicas decisivas*. 1–10.
- Prieto Castillo, D. (2020). Unidad 4 – Las prácticas de aprendizaje. In *La enseñanza en la Universidad*.
- UNaM. (2018). *Experto en Formación por Competencias en Ingeniería*.
https://fio.unam.edu.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=411:posgrado-experto-en-formacion-por-competencias-en-ingenieria&catid=9&Itemid=551
- UNCuyo. (2020). *Especialización en Docencia Universitaria*.
<https://ffyl.uncuyo.edu.ar/estudios/posgrado/102>
- Zienkiewicz, O., & Taylor, R. (1994a). *El método de los elementos finitos Volumen 1*.
- Zienkiewicz, O., & Taylor, R. (1994b). *El método de los elementos finitos Volumen 2*.