

ESTRATEGIA DIDÁCTICA PARA EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DE MÉTODOS NUMÉRICOS EN LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Silvia Raichman, Gustavo Palazzo, Victor Masnú, Eduardo Totter

*Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, Mendoza, Argentina,
sraichman@fing.uncu.edu.ar, gpalazzo@frm.utn.edu.ar, vmasnu@frm.utn.edu.ar,
etotter@fing.uncu.edu.ar*

Palabras clave: Aprendizaje significativo, métodos numéricos, Ingeniería Civil.

Resumen. El diseño e implementación de estrategias didácticas con el objeto de incrementar la calidad del aprendizaje significativo de contenidos relacionados a métodos numéricos en carreras de Ingeniería, brinda además la oportunidad de promover la comprensión de conceptos específicos relacionados a las respectivas especialidades de los estudiantes, mejorando de esta manera su proceso interno de construcción de conocimientos. En este trabajo, se describe el desarrollo de una propuesta llevada a cabo en la asignatura Cálculo Avanzado de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnológica Nacional. En el marco de la misma y a partir de la elaboración por parte de los alumnos de un Trabajo Integrador de Conocimientos, con la adecuada guía de los docentes, se articulan en forma equilibrada y coherente los contenidos del programa de la asignatura con un problema específico y relevante del ámbito de la Ingeniería Civil. Se presentan los aspectos fundamentales del mencionado problema, que consiste en el análisis estático y dinámico de una estructura civil de múltiples niveles, se describen los diversos métodos numéricos que permiten la resolución del sistema de ecuaciones lineales y el problema de valores propios, junto con las herramientas computacionales desarrolladas. En forma adicional, se presentan algunos resultados obtenidos y los aspectos relevantes que inciden en la calidad del aprendizaje, a partir de la implementación de la propuesta en los últimos ciclos lectivos.

1 INTRODUCCIÓN

Cálculo Avanzado es una asignatura interdisciplinaria que relaciona la matemática aplicada con diversas áreas del conocimiento. Pertenece al grupo de asignaturas comunes a la especialidad Ingeniería Civil y se desarrolla durante el segundo semestre de tercer año de la mencionada carrera que se dicta en la Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnológica Nacional.

La asignatura inicia a los estudiantes en el estudio de conceptos de formulación matemática de modelos de sistemas reales de interés en Ingeniería Civil y su solución mediante el empleo de métodos numéricos con el correspondiente soporte de medios informáticos adecuados. De acuerdo al sistema de correlatividades en vigencia, Cálculo Avanzado requiere para su cursado, que los alumnos posean aprobadas las asignaturas Análisis Matemático I, Álgebra y Geometría Analítica y regularizada Análisis Matemático II.

Con el objeto de potenciar los procesos cognitivos de los alumnos e incrementar el aprendizaje significativo (Verdejo y Freixas, 2009) de los métodos numéricos, se plantea la estructuración de la asignatura a partir de una estrategia didáctica consistente en el desarrollo por parte de los estudiantes de un Trabajo Integrador de Conocimientos. Éste constituye el eje en torno del cual se articulan las actividades teórico-prácticas desarrolladas durante el transcurso de cada ciclo lectivo. El Trabajo consiste específicamente en la aplicación sobre una situación problema concreta de interés en Ingeniería Civil, de las posibilidades de análisis y resolución que brindan los métodos numéricos y sus implementaciones computacionales. De esta manera, los estudiantes determinan soluciones y analizan distintas posibilidades de respuesta al problema planteado a partir de la utilización de los métodos numéricos sobre el modelo matemático y desarrollando herramientas propias de software. Dicha propuesta permite un acercamiento a los problemas básicos de la Ingeniería integrando teoría y práctica.

En este trabajo se presentan los aspectos fundamentales del problema planteado para el desarrollo del Trabajo Integrador de Conocimientos llevado a cabo durante el ciclo lectivo 2010. Éste consiste en el análisis estático y dinámico de una estructura civil de múltiples niveles, para la cual se describen sus principales características estructurales, se detallan los diversos métodos numéricos que permiten la resolución del sistema de ecuaciones lineales y el problema de valores propios, junto con las herramientas computacionales desarrolladas por los estudiantes con la adecuada guía de los docentes de la cátedra.

En forma adicional, se muestran algunos resultados obtenidos a partir de la implementación de la estrategia descrita en los últimos ciclos lectivos, se presentan los resultados de encuestas realizadas sobre las apreciaciones de los alumnos participantes, se mencionan los aspectos relevantes que inciden en la calidad del aprendizaje significativo de los contenidos trabajados y se establecen conclusiones a partir de los resultados obtenidos y de las percepciones de alumnos y docentes sobre la propuesta.

2 DESCRIPCIÓN DE LA ASIGNATURA

2.1 Generalidades

En el marco de los objetivos generales de la asignatura Cálculo Avanzado, se busca que al finalizar el curso los alumnos sean capaces de: reconocer las distintas etapas en el proceso de construcción de modelos de sistemas reales y los errores que en ellas se introducen; plantear y resolver modelos matemáticos de interés en Ingeniería Civil que involucran ecuaciones diferenciales lineales; comprender y describir los fundamentos, errores, utilidad, ventajas e

inconvenientes de cada uno de los métodos numéricos utilizados; seleccionar y aplicar algoritmos de métodos numéricos; programar y aplicar los métodos numéricos en la resolución de problemas de interés en Ingeniería Civil; y analizar el comportamiento de sistemas reales de interés en Ingeniería Civil mediante la solución numérica de modelos matemáticos.

El éxito en la concreción de los objetivos mencionados, tal como han sido planteados, se encuentra relacionado a la apropiada utilización de los recursos disponibles y a la articulación coherente de las estrategias didácticas utilizadas durante el desarrollo del curso (Rinaudo, et al. 1998). La asignatura se dicta para dos cursos de aproximadamente 25 alumnos cada uno, para un plantel compuesto por 4 docentes. El régimen de cursado es de 4 horas semanales, las cuales están conformadas por un primer módulo teórico-práctico con énfasis en los desarrollos teóricos necesarios, en el que se tienden puentes cognitivos con contenidos previos y con los propios de la asignatura, y un segundo módulo en el que se trabaja sobre aplicaciones prácticas de los distintos temas y en la articulación de los mismos con el Trabajo Integrador de Conocimientos. Se desarrollan dos guías de práctica para cada tema: una destinada al trabajo en lápiz y papel y otra para la implementación computacional. Se estimula el razonamiento, el pensamiento crítico y la confrontación de ideas como procesos en la construcción de conocimientos, así como también, el interés por el dominio de los instrumentos analíticos propios del ingeniero y el análisis crítico y reflexivo de resultados con criterio ingenieril.

El proceso de evaluación formativa de la asignatura (Litwin et al. 1998), incluye tres evaluaciones parciales escritas de carácter teórico-práctico, en las cuales el estudiante debe acreditar un puntaje mínimo. Por otra parte y en forma adicional, se plantean tres instancias de evaluación de los trabajos grupales que consisten en dos entregas parciales y una entrega final del Trabajo Integrador de Conocimientos. Éstas deben realizarse en tiempo y forma de acuerdo al cronograma previsto y deben ser aprobadas según los requisitos fijados por la cátedra.

Las distintas instancias de evaluación mencionadas, junto con los requerimientos de aprobación de la carpeta de trabajos prácticos y la asistencia mínima cumplida, habilitan al estudiante a rendir el examen final oral teórico-práctico de la asignatura, cuya aprobación acreditará la misma.

Es importante destacar que en la asignatura existe el régimen de promoción, por el cual aquellos alumnos que, habiendo cumplido el requisito de asistencia, hayan obtenido en las tres instancias de evaluación parcial un porcentaje mayor o igual al 80%, posean la carpeta de trabajos prácticos completa y aprobada y hayan cumplido en tiempo y forma con las entregas parciales y final del Proyecto Integrador obtienen la condición de promoción.

2.2 Trabajo Integrador de Conocimientos

La estructuración de la asignatura a partir de una estrategia didáctica consistente en el desarrollo por parte de los estudiantes de un Trabajo Integrador de Conocimientos, permite el establecimiento de dos redes de articulación, por un lado una red hacia el interior de la propia asignatura, que tomando como eje la situación problema planteada, va integrando articulada y coherentemente los contenidos y las actividades, y por otro lado una red externa, de articulación horizontal y vertical con otras asignaturas del diseño curricular. De esta manera, en los contenidos conceptuales y procedimentales, se articula con asignaturas previas, tales como Álgebra y Geometría Analítica, Análisis Matemático I y II, Física I y Fundamentos de Informática. En las aplicaciones, se plantea la solución numérica de problemas ya estudiados

en otras asignaturas y se vincula con problemas a estudiar, articulando así con asignaturas tales como Estabilidad, Resistencia de Materiales, Análisis Estructural I, Dinámica Estructural, entre otras.

El diseño y aplicación de estrategias didácticas basadas en el planteo de un Trabajo Integrador de Conocimientos, presenta como objetivos generales la integración de los contenidos y competencias adquiridos en la asignatura, así como también, lograr en los estudiantes una sólida y adecuada formación en métodos numéricos, tanto desde el punto de vista conceptual como operacional, mejorando en forma adicional la comunicación oral y escrita de los estudiantes.

3 CASO DE APLICACIÓN: ANÁLISIS ESTÁTICO Y DINÁMICO DE UNA ESTRUCTURA CIVIL DE MÚLTIPLES NIVELES

El Trabajo Integrador de Conocimientos descrito en el presente trabajo, se basa en un modelo simplificado del edificio correspondiente a la Residencia Universitaria de la Facultad Regional Mendoza de la UTN. Este edificio posee dos cuerpos estructurales independientes entre sí, de tres niveles habitables cada uno. Uno de los cuerpos presenta en forma adicional un nivel de subsuelo destinado a alojar las estructuras y mecanismos de aisladores de base con los que el bloque se encuentra dotado.

A los efectos de la concreción de los Trabajos Integradores de Conocimientos de los distintos grupos, se proponen dos tipos de modelos simplificados del edificio descrito, los cuales representan los dos bloques estructurales independientes mencionados:

- *Modelo 1*: constituido por 3 masas concentradas a nivel de losas del edificio.
- *Modelo 2*: constituido por 4 masas concentradas a nivel de losas del edificio, con nivel de aisladores.

La [Figura 1](#) permite observar la representación esquemática de ambos modelos.

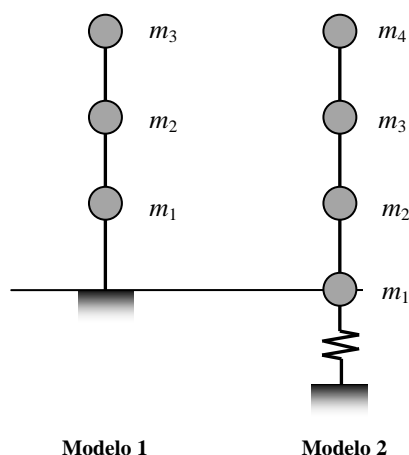


Figura 1: Modelos

La variación de la masa correspondiente al último nivel del edificio, a los efectos de considerar la existencia de depósitos de agua y biblioteca para cada uno de los modelos, permite disponer de 6 juegos de datos a los efectos de su análisis por parte de los distintos grupos. Además de los valores de las masas asociadas, el conjunto de datos disponibles para el problema a estudiar incluye las rigideces globales de cada nivel del edificio y la totalidad de

las dimensiones geométricas necesarias.

De esta manera, el Trabajo Integrador de Conocimientos plantea la resolución y análisis de dos tipos de problemas:

- Problema estático: por el cual los estudiantes deben determinar los desplazamientos horizontales de cada nivel de la estructura cuando la misma se encuentra sometida a un sistema de cargas laterales estáticas equivalentes a la acción sísmica sobre el edificio, suponiendo el comportamiento elástico de la misma. El sistema de cargas laterales a utilizar también es un dato del problema.
- Problema dinámico de oscilaciones libres no amortiguadas: en este caso los alumnos deben determinar las frecuencias naturales y las formas modales de la estructura, para un caso simplificado de amortiguamiento estructural nulo y deben obtener además, la historia de desplazamiento bajo ciertas condiciones iniciales determinadas como dato del problema.

La solución de ambos problemas implica que los estudiantes deban formular en primer lugar, los modelos matemáticos que representan los problemas a tratar, a partir de los modelos físicos simplificados, constituidos por sistemas mecánicos traslacionales acoplados masa-resorte sin amortiguamiento. En este caso y en virtud del agrupamiento de masas realizado por cada nivel del edificio, el sistema dinámico presenta 1 grado de libertad por piso, constituido por los desplazamientos horizontales del mismo. De esta manera, el problema en estudio está representado matemáticamente por un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias lineales de segundo orden, cuya forma matricial está dada por la siguiente ecuación (Edwards y Penney, 2009):

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{y}} + \mathbf{K} \mathbf{y} = \mathbf{F} \quad (1)$$

En la misma, \mathbf{M} es la matriz de masas, \mathbf{K} la matriz de rigidez del sistema, $\ddot{\mathbf{y}}$ es el vector de aceleraciones, \mathbf{y} es el vector de desplazamientos y \mathbf{F} es el vector de fuerzas exteriores.

A partir del planteo de consideraciones de equilibrio dinámico para las distintas masas, los estudiantes trabajan con las ecuaciones que permiten encontrar la configuración de las matrices mencionadas. Las mismas para el caso del modelo nro.2, están dadas por las siguientes expresiones:

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_3 & (k_3 + k_4) & -k_4 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix} \quad (3)$$

De la misma manera, el vector de cargas externas está dado por:

$$\mathbf{F}(t) = \begin{bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \\ F_3(t) \\ F_4(t) \end{bmatrix} \quad (4)$$

A partir de una base teórica que los estudiantes deben incluir en su Trabajo Integrador de Conocimientos y de la aplicación de técnicas numéricas adecuadas para la resolución, los alumnos emprenden el estudio y análisis de los problemas estáticos y dinámicos mencionados anteriormente, los cuales se describen en los siguientes apartados.

3.1 Problema estático

La adecuada articulación de las estrategias didácticas utilizadas en la enseñanza de métodos numéricos en carreras de Ingeniería con la práctica profesional, implica la elección de problemas a resolver de interés ingenieril, que a su vez resulten significativos para el estudiante. En este marco y debido a su importancia, se aborda en primer lugar el estudio estático del problema.

El sistema mecánico traslacional masa-resorte del modelo simplificado que representa el problema en estudio, dado por la ecuación (1), presenta en el caso estático algunas simplificaciones:

- No se consideran las fuerzas inerciales presentes en el problema.
- El vector de acciones externas dependientes del tiempo en su forma general $F(t)$, es reemplazado por un vector de acciones externas estáticas, equivalentes a la acción sísmica sobre el edificio calculadas de acuerdo a los Códigos Sismoresistentes en vigencia y que se entrega como dato del problema a los alumnos, ya que su determinación no es parte de los contenidos de la asignatura.

De esta manera el problema dado por la ecuación matricial (1) se simplifica y se reduce a un sistema de ecuaciones lineales dado por:

$$\mathbf{K} \mathbf{y} = \mathbf{F} \quad (5)$$

La resolución de este sistema requiere de los alumnos la aplicación de técnicas numéricas directas e iterativas, para lo cual deben desarrollar e implementar dos algoritmos de cálculo, junto con una base e introducción teórica.

En el caso de los métodos directos y a los efectos de potenciar los procesos comprensivos de los alumnos a partir de los distintos métodos estudiados en las clases teórico-prácticas de la asignatura, se trabaja en el marco de los Trabajos Integradores de Conocimientos con el Método de Factorización LU (Cheney y Kincaid, 2011). De esta manera, los alumnos pueden apreciar las ventajas de utilizar una formulación que a partir del trabajo de triangulación de la matriz de coeficientes del sistema, permite evaluar con menor esfuerzo distintos casos de vectores de términos independientes.

De la misma manera y en relación a los métodos iterativos, se utiliza el Método de Gauss-Seidel, (Chapra y Canale, 2007), a partir del cual los estudiantes pueden extraer valiosas conclusiones desde el punto de vista de la comprensión del concepto de errores, casos de convergencia del método y de la mayor o menor velocidad de convergencia del mismo.

En ambas situaciones los alumnos deben realizar una implementación computacional que

les habilite la posibilidad de contar con una herramienta informática para sus análisis numéricos y la comparación de resultados obtenidos a partir de la utilización de ambos métodos. La implementación se realiza a partir de un código en lenguaje MATLAB®, (Moore, 2007). El problema estático se completa además con la correspondiente representación gráfica de los desplazamientos obtenidos como solución del sistema descripto.

3.2 Problema dinámico de oscilaciones libres no amortiguadas

En el caso de la resolución del problema dinámico de oscilaciones libres no amortiguadas, las fuerzas inerciales son debidamente consideradas y el vector de cargas exteriores es nulo, por lo que el modelo matemático del problema está dado por un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias de segundo orden, lineales y homogéneas, que en su forma matricial está dado por:

$$M \ddot{y} + K y = 0 \tag{6}$$

En este caso la determinación de las frecuencias naturales de vibración de la estructura y de las formas modales de la misma, implica la resolución del problema de valores y vectores propios dado por la ecuación (7):

$$[B - \lambda_i I] v_i = 0 \tag{7}$$

En dicha ecuación I es la matriz identidad, v_i son los vectores propios asociados a cada valor propio λ_i y la matriz B está dada por la siguiente expresión:

$$B = M^{-1} K \tag{8}$$

Los vectores v_i brindan información sobre la forma de cada modo de vibración de la estructura y cada uno de ellos se encuentra asociado a un valor propio $\lambda_i = \omega_i^2$, siendo ω_i las frecuencias angulares naturales del sistema.

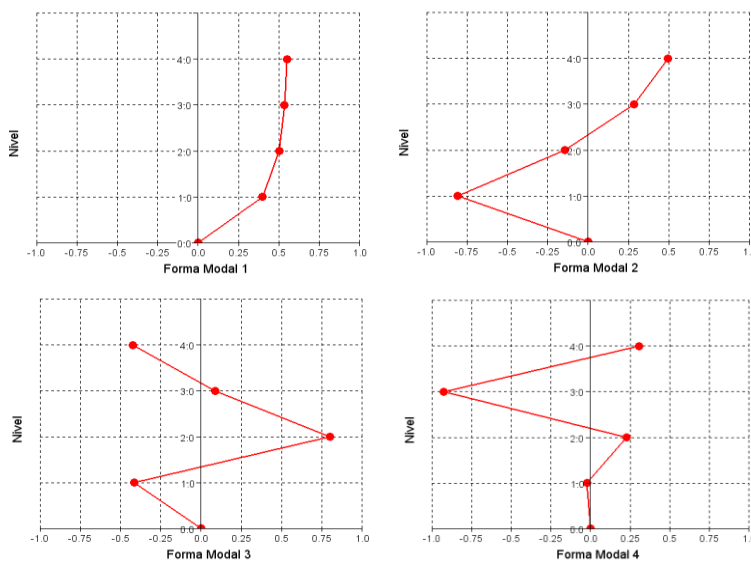


Figura 2: Formas modales del sistema

Con el objeto de ilustrar lo mencionado, la [Figura 2](#) muestra las 4 formas modales correspondientes al problema de oscilaciones libres no amortiguadas del modelo nro. 2.

Para la determinación numérica de la mayor y menor frecuencia natural del sistema, los estudiantes deben implementar computacionalmente el Método de la Potencia y el Método de la Potencia Inversa, los cuales convergen respectivamente en un caso al mayor valor propio, o valor propio dominante, y en el otro al menor valor propio. Dicha implementación se realiza a partir de un código escrito por los alumnos, con la adecuada asistencia de los docentes, en lenguaje MATLAB®.

En forma adicional y a partir de la utilización de las funciones específicas previstas para tal fin en el programa MATLAB®, se hallan también los valores de frecuencias intermedias y sus correspondientes formas modales.

Luego de las determinaciones mencionadas, los estudiantes representan gráficamente las formas de los distintos modos de vibración de la estructura, lo que les brinda la posibilidad de observar y comparar las diferencias que existen entre ellas y obtener importantes conclusiones al respecto.

A los efectos de obtener la historia de desplazamientos en el tiempo de las distintas masas del modelo para el caso de oscilaciones libres no amortiguadas, se considera la solución general de la ecuación (6), la cual se genera a partir de la combinación lineal de 8 funciones linealmente independientes, solución del sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias homogéneo. La expresión de la solución general está dada por:

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_G(t) = & c_1 \mathbf{v}_1 \cos \omega_1 t + c_2 \mathbf{v}_1 \text{sen} \omega_1 t + c_3 \mathbf{v}_2 \cos \omega_2 t + c_4 \mathbf{v}_2 \text{sen} \omega_2 t + c_5 \mathbf{v}_3 \cos \omega_3 t + \\ & + c_6 \mathbf{v}_3 \text{sen} \omega_3 t + c_7 \mathbf{v}_4 \cos \omega_4 t + c_8 \mathbf{v}_4 \text{sen} \omega_4 t \end{aligned} \quad (9)$$

La determinación de las constantes de integración c_i , a partir de las condiciones iniciales dadas, permite obtener la gráfica de la variación temporal de posición de cada una de las masas del sistema para cada una de los modos de vibración de la estructura. La [Tabla 1](#) permite observar un grupo de datos proporcionados a los estudiantes para la resolución de los problemas estático y dinámico, correspondientes en este caso al modelo físico nro. 2.

Col.	1	2	3	4	5
Nivel	Masa [kg]	Rigidez [MN/m]	Fuerza estática eq. [kN]	Desplaz. inicial $\vec{Y}(0)$ [cm]	Velocidad. inicial $\dot{\vec{Y}}(0)$ [m/s]
4	46960.00	379.75	180.92	- 1.00	0
3	56330.00	949.37	156.08	+ 5.11	0
2	69060.00	1329.11	116.65	- 7.80	0
1	89710.00	239.49	54.48	+ 3.50	0

Tabla 1: Datos del modelo simplificado para la solución del problema estático y dinámico

Sobre los datos entregados se realiza un control previo de manera de asegurar que las cargas unitarias por piso, las fuerzas estáticas equivalentes, las rigideces de piso y los períodos fundamentales de vibración de la estructura sean del orden de los valores típicos correspondientes a este tipo de edificaciones.

El Trabajo Integrador de Conocimientos, constituye un eje en torno al cual se articulan

diversas estrategias didácticas utilizadas en la asignatura. De esta manera, el desarrollo de cada parte del mismo se realiza en forma inmediata posterior al dictado teórico-práctico del tema correspondiente. Cada parte del proyecto está incluida además en los trabajos prácticos propuestos para los módulos del tema tratado. De esta manera, como parte integrante del Trabajo Práctico Sistemas de Ecuaciones Diferenciales Ordinarias Lineales, se propone a los estudiantes formular para el Trabajo Integrador el sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias lineales según la ecuación (5); dentro del Trabajo Práctico Solución Numérica de Sistemas de Ecuaciones Lineales, se plantea la solución del problema estático del Trabajo Integrador y finalmente, el Trabajo Práctico Solución Numérica de Valores y Vectores Propios, incluye la determinación de los parámetros dinámicos del edificio según las ecuaciones anteriormente mencionadas.

3.3 Características de la presentación y evaluación de los Trabajos Integradores de Conocimientos

En la propuesta pedagógica se considera a la evaluación como parte del proceso educativo, y al estar integrada en el quehacer diario del aula, adquiere todo su valor en la posibilidad real de retroalimentación que proporciona, constituyéndose de esta manera en una evaluación formativa.

Para la presentación escrita del informe final del Trabajo Integrador de Conocimientos, los alumnos disponen al inicio del ciclo lectivo de una guía para la elaboración del mismo, en donde se indica la estructura de la presentación a la vez que se establecen los contenidos mínimos a cubrir en cada una de las secciones del Trabajo, brindando en forma adicional formatos de ecuaciones, tablas y figuras, con el objeto de lograr cierto grado de uniformidad en las presentaciones.

Junto con la información anterior, se adjunta una grilla de evaluación a partir de la cual los estudiantes toman conocimiento de las variables y criterios de evaluación que los docentes de la asignatura tendrán en cuenta en el momento de evaluar los Trabajos presentados. El proceso de evaluación formativa de la asignatura incluye 3 instancias de evaluación del Trabajo Integrador de Conocimientos, dos de ellas implican una evaluación de la presentación parcial del informe escrito y una tercera instancia en la cual los alumnos del grupo de trabajo deben defender en forma oral el Trabajo presentado.

4 RESULTADOS

La estrategia didáctica descrita en los párrafos anteriores, por la cual en la asignatura Cálculo Avanzado se articulan los distintos contenidos de la misma, en torno a un eje director constituido por un Trabajo Integrador de Conocimientos, ha sido implementada desde el segundo semestre del ciclo lectivo 2005, por lo cual a la fecha se comienza con la implementación nro. 7 de la misma. Cada nueva implementación requiere de nuevos modelos a estudiar, o la modificación de datos numéricos específicos de modelos anteriores.

Desde aquellos primeros años en los que la presente estrategia fue implementada, la misma ha sufrido algunas modificaciones y agregados, hasta llegar a lo que constituye la actual propuesta. Este proceso de crecimiento y enriquecimiento de la misma, ha sido siempre motivado principalmente por la actitud del equipo docente de la Cátedra en mejorar en forma continua todos aquellos aspectos que a partir de la práctica docente diaria en las aulas y de la interacción con los alumnos en las instancias de evaluación, se detectaban como factibles de perfeccionamiento.

Una de las herramientas fundamentales para el equipo docente a la hora de recibir la percepción formal de los estudiantes, sobre la propuesta que los mismos han transitado, es la toma de datos específicos y relevantes a partir de la utilización de cuestionarios o encuestas que los alumnos deben entregar una vez finalizado el cursado de la asignatura. La adecuada lectura, análisis y discusión de las percepciones entregadas por los estudiantes por medio de estas herramientas, permiten al equipo docente diseñar estrategias de seguimiento y/o corrección de todos aquellos factores que lo requieran. La **Tabla 2** permite observar algunos resultados obtenidos a partir de encuestas realizadas en el ciclo lectivo 2010, referida en este caso a la percepción del alumno sobre algunos aspectos del Trabajo Integrador de Conocimientos.

5. De acuerdo a tu experiencia en la elaboración del Trabajo Integrador de Conocimientos planteado en Cálculo Avanzado, consideras:		1 es igual a "Nada" y 5 es igual a "Mucho"					
		1	2	3	4	5	No sé
a	El problema propuesto en el Trabajo es apropiado para el nivel de ubicación de la asignatura en el Plan de Estudios.	0	0	3	57	37	3
b	Los métodos numéricos necesarios para la resolución del problema del Trabajo son acordes al nivel desarrollado en el curso.	0	0	7	30	63	0
c	La elaboración del Trabajo Integrador motiva al alumno para profundizar en el estudio de contenidos de la asignatura.	0	0	17	40	43	0
d	La elaboración del Trabajo Integrador permite al estudiante un acercamiento a problemas vinculados a la Ingeniería Civil.	0	3	3	34	60	0
e	La implementación computacional requerida para la realización del Trabajo es acorde al nivel desarrollado en el curso.	0	13	23	20	44	0

Tabla 2: Porcentaje de respuestas obtenidas en encuestas Ciclo Lectivo 2010.

Se puede observar en la misma que las frecuencias de respuestas correspondientes a las valoraciones 4 y 5 son mayores al 90% para el caso de las preguntas a), b) y d), mayores al 80% para el caso de la pregunta c) y mayores al 60% para el caso de la pregunta e).

En el caso de la última pregunta mencionada, si bien el resultado logrado a partir de la interpretación de la misma es favorable, el mismo indica que es posible mejorar el aspecto específico mencionado. De acuerdo a esto se diseña una medida de enriquecimiento de la propuesta a partir de la atención especial sobre un aspecto en particular, en este caso la implementación computacional.

No menos importante dentro del análisis de las encuestas realizadas, es la interpretación de las observaciones y sugerencias que realizan los alumnos en las mismas a partir de los espacios de libre opinión que se brindan para la expresión de estas inquietudes. De esta forma y a manera ilustrativa, se transcriben textualmente en la **Tabla 3** algunas de las respuestas obtenidas:

Percepción favorable	Percepción desfavorable
Fue muy útil el trabajo integrador porque pudimos aplicar lo visto en clase de manera de interpretar todos los contenidos y relacionarlos, lo cual es muy complicado.	Me costó analizar los resultados obtenidos, entender las gráficas de variación de desplazamientos.
Me pareció muy interesante el trabajo integrador ya que aprendí a interpretar cómo se realiza el modelo de una estructura y cómo se va a comportar ésta.	El tiempo para aprender las herramientas computacionales creo que es poco.
En el trabajo integrador concentré todos los conceptos de la materia e integré muchas ideas en un problema real. A mí me gustó el Proyecto.	Me costó la comprensión del problema, ya que era la primera vez que observaba cómo sucedía el fenómeno.
El trabajo integrador es de mucha utilidad porque es una muy buena forma de autoevaluar la comprensión de los temas estudiados.	
Me parece una actividad académica muy acertada, ya que puede conectar los conocimientos matemáticos puros, con el razonamiento y con problemas reales. Esto es algo que debería realizarse en muchas materias.	

Tabla 3: Algunos comentarios realizados por los estudiantes en encuestas de la asignatura.

Es generalmente aceptado que aquellas estrategias didácticas que promueven el incremento del aprendizaje significativo de determinados contenidos y que en forma adicional permiten a los estudiantes acceder a la posibilidad de profundizar la comprensión de conceptos específicos asociados a los mismos, derivan en la obtención luego del cursado, de altos porcentajes de regularidad, debido a la mejora que los alumnos obtienen en sus procesos de construcción del conocimiento. La [Tabla 4](#) muestra los porcentajes de alumnos que cursaron respecto del total de alumnos inscriptos al inicio del semestre, así como también los porcentajes de regularización obtenidos en los años de dictado de la asignatura, tomados éstos respecto del total de alumnos que cursaron.

Ciclo Lectivo	% alumnos inscriptos que cursaron	% alumnos regulares
2005	80%	83.6%
2006	82%	95.7%
2007	91%	95.2%
2008	82%	97.6%
2009	89%	95.0%
2010	94%	94.0%

Tabla 4: Porcentajes de regularidad 2005-2010.

Cabe destacar como dato adicional que en los ciclos lectivos 2009 y 2010, en los cuales se incluyó la terminación del Trabajo Integrador de Conocimientos como requisito de regularidad, con las instancias de evaluación respectivas, un 64% y un 62% respectivamente de los estudiantes de cada ciclo, alcanzó la condición de promoción. Es decir, si bien la regularidad en estos dos últimos años se mantuvo en el orden de los porcentajes obtenidos en los años anteriores, se logró contar con alumnos promocionados, hecho que no se registraba en los ciclos previos.

5 CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado una descripción general de la asignatura Cálculo Avanzado correspondiente a la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnológica Nacional. La asignatura inicia a los alumnos en los conceptos de formulación matemática de modelos de sistemas reales de interés en Ingeniería Civil y su solución mediante métodos numéricos. Se ha planteado el Trabajo Integrador de Conocimientos estructurado en base a un problema relevante de la Ingeniería Civil.

La descripción de las distintas facetas del Trabajo Integrador de Conocimientos y de la forma en la que se desarrolla durante el cursado de la asignatura, permite concluir que el mismo se constituye en un eje sobre el que giran los contenidos y actividades, a partir de una articulada y coherente vinculación de objetivos, contenidos, actividades, recursos y tiempos disponibles.

El Trabajo Integrador de Conocimientos reorganiza las actividades teórico-prácticas, a la vez que da un claro sentido a las mismas. Promueve en los estudiantes las capacidades de comprensión, producción propia, resolución de problemas y comunicación adecuada de resultados.

La aplicación e integración de los conocimientos adquiridos a partir de la resolución del problema propuesto en el Trabajo, favorece el aprendizaje significativo de los contenidos involucrados, generando al mismo tiempo un importante grado de compromiso por parte de los estudiantes, que se ve reflejado en los altos porcentajes de regularidad alcanzados.

A pesar de las mejoras introducidas desde la primera implementación de la propuesta, todavía persisten en pequeña medida, algunas dificultades en los alumnos desde el punto de vista de la implementación computacional de los métodos numéricos que se estudian, lo cual también ha quedado expresado en los resultados de las encuestas como se mencionó anteriormente. Para atender esta problemática, se plantearán en el próximo ciclo lectivo, algunas medidas adicionales de apoyo orientadas a la superación de estas dificultades.

A partir de las percepciones expresadas por los alumnos en las encuestas, de los informes finales presentados, de los resultados del proceso de evaluación y de las consideraciones del equipo de cátedra se concluye que la elaboración y presentación final del Trabajo Integrador de Conocimientos es una estrategia didáctica positiva y enriquecedora, que promueve la aplicación, integración y transferencia de contenidos, tendiendo puentes cognitivos hacia el interior de la asignatura y con otras asignaturas del diseño curricular.

REFERENCIAS

- Chapra, S. y Canale, R., *Métodos numéricos para ingenieros*. Mc Graw Hill Interamericana, México, 2007.
- Cheney, W. y Kincaid, D., *Métodos numéricos y computación*. Cengage Learning, México, 2011.
- Edwards, C. y Penney, D., *Ecuaciones diferenciales y problemas con valores en la frontera. Cómputo y modelado*. Pearson, Prentice Hall, 2009.
- Litwin, E., Camilloni, A., Celman, S. y Palou, B., *La evaluación de los aprendizajes en el debate didáctico contemporáneo*, Buenos Aires, Paidós, 1998.
- Moore, H., *Matlab para ingenieros*, Pearson Educación, México, 2007.
- Rinaudo, C., Lafourcade, P. y Prieto Castillo, D., *La pedagogía universitaria*. Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo, Argentina, 1998.
- Verdejo, P. y Freixas, R., *Educación para el pensamiento complejo y competencias: diseño de tareas y experiencias de aprendizaje*. ACET, S.C. México, Abril de 2009.