

Asociación Argentina  
de Mecánica Computacional



Mecánica Computacional Vol XXXV, págs. 731-743 (artículo completo)  
Martín I. Idiart, Ana E. Scarabino y Mario A. Storti (Eds.)  
La Plata, 7-10 Noviembre 2017

## EL DESAFÍO DE EVALUAR CONOCIMIENTOS DE PROGRAMACIÓN EN MATERIAS DE MÉTODOS NUMÉRICOS EN CARRERAS DE INGENIERÍA

Oswaldo G. Mena<sup>a</sup>, Juan P. Ciciarelli<sup>b</sup> y Lucas D. Mena<sup>c</sup>

<sup>a, b, c</sup> *Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Calle 1 esq. 47, 1900 La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina*

<sup>a</sup>*osvaldo.mena@ing.unlp.edu.ar*, <sup>b</sup>*jpcicia@gmail.com*, <sup>c</sup>*lucasdamianna@hotmial.com.ar*

**Palabras Clave:** métodos numéricos, programación, ingeniería,

**Resumen.** En el presente trabajo se propone mostrar una metodología aplicada para evaluar conocimientos adquiridos sobre programación en materias de métodos numéricos en cursos de grado de carreras de ingeniería. No siempre los planes de estudio contienen, entre las materias cursadas previamente, aquellas que incluyan contenidos de programación por lo que, en muchos casos, estos contenidos deben formar parte de la currícula de las asignaturas cuyo principal objetivo es la resolución numérica de problemas. En estos casos, resulta un interesante desafío (de organización, de recursos humanos, de facilidades en las aulas y de administración de los tiempos) brindar las nociones de programación necesarias para implementar los métodos numéricos, y debe ser complementado con herramientas que permitan evaluar el nivel de adquisición de estos conocimientos. La metodología aplicada consiste en incluir en los exámenes el código de un programa que resuelve un método numérico, y se complementa con preguntas, de distinto grado de complejidad, que resulten de rápida resolución y en las que el alumno puede mostrar hasta dónde ha podido incorporar los conocimientos de programación suministrados. Finalmente, se procedió a analizar la calidad de los resultados obtenidos y disponer así de instrumentos que permitan una mejora en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

## 1 INTRODUCCIÓN

La mayor parte de los métodos numéricos han sido especialmente concebidos para ser implementados mediante el auxilio de computadoras, en las que el usuario puede delegar las tareas de repetición de cálculos aproximados con la idea que esa repetición conduzca a aproximaciones cercanas a la solución de problemas que, en muchos casos, no admiten una solución analítica exacta o resultan de engorroso abordaje.

En su génesis, entonces, los métodos numéricos se encuentran intrínsecamente asociados a programas de computadora que permitan reducir los tiempos de resolución y aumentar los espacios de análisis de resultados que conduzcan a soluciones mejoradas y optimizadas desde múltiples aspectos.

En las carreras de ingeniería del país se viene impulsando la inclusión, en los programas de estudio, de materias que permitan brindar a los futuros ingenieros las herramientas necesarias para resolver numéricamente problemas de la práctica cotidiana, y otros en los que los escollos propios del planteo analítico no permitan conducir a soluciones razonables desde el punto de vista práctico.

No siempre los planes de estudio contienen entre las materias cursadas previamente, aquellas que incluyan contenidos de programación que permitan su directa aplicación para la implementación de métodos numéricos, por lo que, en muchos casos, los temas de programación en computadoras deben formar parte de los contenidos propios de la currícula de las asignaturas cuyo principal objetivo es la resolución numérica de problemas.

En las evaluaciones de las materias en las que se imparten los conocimientos vinculados a la aplicación de métodos numéricos en carreras de grado de ingeniería deben evaluarse los siguientes aspectos:

- HABILIDADES COGNOSCITIVAS: relacionadas con el conocimiento de los fundamentos, la aplicación, implementación informática y análisis de los límites de aplicabilidad de los métodos algorítmicos de cálculo en el contexto de la Ingeniería.
- CAPACIDADES METODOLÓGICAS: vinculadas al planteamiento algorítmico de los métodos de resolución de problemas complejos a través de su subdivisión en distintos problemas de menor complejidad.
- DESTREZAS TECNOLÓGICAS: asociadas a la utilización de equipos informáticos y los diversos utilitarios que pueden usarse para la programación de los distintos métodos numéricos

En casos como estos, resulta un interesante desafío (de organización, de recursos humanos, de facilidades en las aulas y de administración de los tiempos) brindar las herramientas de computación necesarias para poder llevar a la práctica el conjunto de metodologías numéricas (de amplísimos desarrollos en sí mismos) con las infinitas posibilidades, cada vez más disponibles, para la programación en computadoras (también de variados y profusos contenidos).

Más allá del dictado de los contenidos relacionados con la programación de métodos numéricos, otra de las tareas docentes asociadas en estas materias, es la de poder evaluar el nivel de adquisición de conocimientos por parte de los alumnos. La evaluación de esta transferencia de conocimientos resulta particularmente dificultosa ante las múltiples alternativas de implementación computacional que cada método admite, por lo que para esa evaluación, en muchos casos se recurre a la realización de trabajos de laboratorio que resuelvan no sólo un problema numérico en particular, sino en muchos casos, se incluye en

ellos la aplicación sucesiva de métodos numéricos destinados a la resolución de problemas de ingeniería propios de cada una de las especialidades que se dictan en cada Facultad.

Complementariamente a aquellos laboratorios, en la fase de evaluación del proceso de enseñanza-aprendizaje, los alumnos realizan exámenes en los que pueden mostrar el nivel de adquisición de tales conocimientos.

El presente trabajo pretende mostrar una metodología de evaluación implementada en carreras de grado de ingeniería que permite aquella evaluación en forma expeditiva y con distintos niveles de complejidad.

## 2 ANTECEDENTES

La estrecha relación entre los métodos numéricos y la programación tiene múltiples muestras, tales como la evolución de los textos de estudio de métodos numéricos, que progresivamente incluyen conjuntamente con la explicación de los esquemas numéricos, diagramas de flujo, algoritmos y/o códigos escritos en diferentes lenguajes destinados a su implementación (Burden y Faires, 2017; Nakamura, 1992; Chapra y Canale, 2015; Mathews y Fink, 2000; Gordon, 1985; Otto y Denier, 2005).

Esta explicación “en tándem”, permite una más rápida ejemplificación y la inmediata prueba de los métodos, así como la mejor visualización del alcance de los resultados obtenidos.

El conjunto de las tareas propuestas, en la ejercitación de los temas, incluyen desde la interpretación de la teoría, hasta la aplicación concreta para la resolución de problemas de ingeniería. Numerosos textos de materias específicas de ingeniería incluyen, como parte del desarrollo de esas temáticas, la alternativa de resolución utilizando métodos numéricos, adicionando, en muchos casos, los códigos necesarios para resolverlos utilizando diferentes lenguajes de programación (Chow, Maidment, y Mays, 1996; Naudascher, 2009; Streeter, 1988).

En otros casos, algunas facultades de ingeniería promueven la interrelación entre cátedras en las que se utilizan métodos numéricos y su programación para resolver temáticas propias de materias de años superiores al correspondiente al dictado de la materia de métodos numéricos (Gamino, Mena y Occhiutto, 2013).

En cuanto a la evaluación de los conocimientos de programación, en algunos casos las materias de métodos numéricos centran el esfuerzo en que los alumnos puedan interpretar y aplicar los métodos numéricos en ejemplos sencillos que prescinden, en esa instancia, de la necesidad de su programación; otras tienen instancias intermedias de evaluación de los conocimientos informáticos, mediante la propuesta de realización de trabajos de laboratorio que permitan la aplicación de los métodos numéricos en problemas reales de ingeniería, para los cuales se requiere la utilización de computadoras para el cálculo y para la presentación de los resultados; otras incluyen en las instancias de evaluación escrita la realización o interpretación de programas que resuelven los métodos, y otras combinan algunas de estas alternativas.

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata, las materias de métodos numéricos se cursan entre el cuarto y quinto cuatrimestre, dependiendo de la especialidad, y anualmente asiste un promedio de 300 alumnos, divididas en comisiones de, en promedio 60 alumnos con un profesor, un jefe de trabajos prácticos y un auxiliar. Los

contenidos específicos de la asignatura se evalúan mediante la realización de trabajos prácticos, en algunos casos incluyendo la elaboración de trabajos de laboratorio y un examen parcial teórico – práctico y, para aquellos alumnos que no promocionan la materia, se incluye un examen final que también incluye contenidos teóricos y prácticos.

### **3 INCONVENIENTES PARA LA EVALUACIÓN DE LOS CONOCIMIENTOS DE PROGRAMACIÓN**

Entre los distintos problemas que trae aparejado la evaluación de los conocimientos de programación en materias de métodos numéricos, cabe señalar los siguientes:

- No siempre los alumnos tienen, entre las materias cursadas previamente, aquellas que incluyan contenidos de programación, por lo que estos contenidos deben ser brindados como primera instancia en el cursado de la carrera, en el ámbito mismo del desarrollo de los temas propios de los métodos numéricos.
- La implementación de los métodos numéricos en computadoras requiere, en las aulas, de la disposición del número suficiente de máquinas que permitan conservar una prudente relación máquinas/alumnos.
- Los docentes deben tener no sólo los conocimientos matemáticos propios de los métodos numéricos, sino también el suficiente dominio de lenguajes de programación que permita el seguimiento adecuado de la evolución del proceso de enseñanza-aprendizaje referida a esta temática.
- Las materias de métodos numéricos, en general, se dictan en los primeros años de la carrera, y los cursos suelen incluir alumnos que provienen de distintas ramas de ingeniería.
- Los tiempos de dictado y asimilación de las técnicas numéricas requieren la utilización de tiempos suficientes en forma secuencial y previa a su “traducción” de estos métodos en lenguajes de computación que, a su vez, insumen una buena parte de la carga horaria asignada.
- Los tiempos de resolución de las instancias escritas de evaluación deben ser suficientes como para poder incluir, en estas ocasiones, la muestra del nivel de adquisición de conocimientos tanto de los métodos numéricos como de las técnicas de programación necesarias para su implementación en computadoras.

### **4 HERRAMIENTAS PARA LA EVALUACIÓN DE CONOCIMIENTOS DE PROGRAMACIÓN**

La metodología de evaluación utilizada consiste en incluir en los exámenes preguntas que resulten de rápida resolución y en las que el alumno pueda mostrar hasta dónde ha podido incorporar los conocimientos dictados en relación con la programación de los métodos numéricos.

En estas preguntas se presenta al alumno el código de un programa, escrito en OCTAVE/Matlab, que resuelve en sí mismo un método numérico, y que involucra en esa resolución el manejo de variables, la utilización de sentencias de programación estructurada o no, y puede incluir la muestra de resultados numéricos o gráficos.

Ante estos programas, de no más de 15 líneas, se propone que el alumno responda preguntas de distinto grado de complejidad y con distintos esquemas de presentación.

En general, en la metodología implementada se pueden distinguir tres niveles de evaluación del grado de conocimiento, separados en incisos diferenciados en la misma pregunta.

Un primer inciso pretende que el alumno identifique el tipo de problema numérico que el programa presentado resuelve. Este inciso, presentado en el formato de multiple choice, el alumno tiene la posibilidad de asociar las temáticas relacionadas con los métodos numéricos con códigos de programación.

El siguiente inciso está destinado a que el alumno indique cuál es el método implementado computacionalmente para resolver el problema numérico. En este punto el alumno debe recurrir a sus conocimientos sobre la metodología de resolución de cada uno de los métodos, las fórmulas o algoritmos empleados y también a aquellos conocimientos de los que disponga para mostrar que es capaz de interpretar las instrucciones de programación incluidas en el código a analizar.

El último inciso, en algunos casos dividido en más de una pregunta, pretende que el alumno muestre que interpreta cómo el programa maneja las variables en cada una de las etapas de la corrida y que también interpreta la secuencia en que se ejecutan las instrucciones del código mostrado.

## 5 APLICACIÓN

Se incluyen a continuación algunos ejemplos de la forma en que se ha incluido la metodología de evaluación de los conocimientos de programación, en los exámenes de asignaturas de Métodos Numéricos:

1) El siguiente código en OCTAVE/Matlab resuelve en forma aproximada un problema numérico:

```
clear
t=0:5400:21600;
E=[0 500 200 50 0];
h=t(2)-t(1);
for i=2:4
    A(i)=(E(i+1)-E(i-1))/(2*h);
end
```

- a) ¿Qué problema resuelve? (marque sólo una de las opciones)
  - Interpolación
  - Ajuste
  - Integración Numérica
  - Diferenciación Numérica
  - Resolución Numérica de una Ecuación Diferencial Ordinaria
  - Resolución Numérica de una Ecuación en Derivadas Parciales
- b) ¿Qué Método utiliza para la resolución?
- c) ¿Qué representan los valores almacenados en la variable A?
- d) Cuando se ejecuta el programa ¿Qué valor numérico se almacena en la componente 3 de la variable A?

2) El siguiente código en OCTAVE/Matlab resuelve en forma aproximada un problema numérico:

```

clear
x=[1 5 7 8];
y=[2 4 3 4];
A=0;B=0;C=0;D=0;
for i=1:4
    A=A+x(i);
    B=B+x(i)^2;
    C=C+y(i);
    D=D+x(i).*y(i);
end
E=[4 A;A B];
F=[C;D];
d=inv(E)*F

```

- a) ¿Qué problema resuelve? (marque sólo una de las opciones)
- Interpolación
  - Ajuste
  - Integración Numérica
  - Diferenciación Numérica
  - Resolución Numérica de una Ecuación Diferencial Ordinaria
  - Resolución Numérica de una Ecuación en Derivadas Parciales
- b) ¿Qué Método utiliza para la resolución?
- c) ¿Qué representan los valores almacenados en la variable d?
- d) Cuando se ejecuta el programa ¿Qué valores numéricos se almacenan en la variable F?

3) El siguiente código de OCTAVE/Matlab resuelve un problema numérico:

```

x=1:4;
y=[1 3 2 4];
for i=2:4
    c(i-1)=y(i)-y(i-1);
end
for i=2:3
    d(i-1)=(c(i)-c(i-1))/2;
end
f(1)=(d(2)-d(1))/3;
g=y(1)+c(1).*(1.5-x(1))+d(1).*(1.5-x(1)).*(1.5-x(2))+f(1).*(1.5-x(1)).*(1.5-x(2)).*(1.5-x(3))

```

- a) ¿Qué problema resuelve? (marque sólo una de las opciones)
- Interpolación
  - Ajuste
  - Integración Numérica
  - Diferenciación Numérica
  - Resolución Numérica de una Ecuación Diferencial Ordinaria

- Resolución Numérica de una Ecuación en Derivadas Parciales
- b) ¿Qué método utiliza para la resolución?
- c) Cuando se ejecuta el programa ¿Qué valor numérico muestra para la variable g? ¿Este corresponde a la aproximación de qué valor?

4) El siguiente código de OCTAVE/Matlab resuelve un problema numérico:

```
clear
x=0:0.25:1;
y=[2 3 5 6 8];
for i=2:4
    B=(y(i+1)-2*y(i)+y(i-1))/(0.25)^2
End
```

- a) ¿Qué problema resuelve? (marque sólo una de las opciones)
    - Interpolación
    - Ajuste
    - Integración Numérica
    - Diferenciación Numérica
    - Resolución Numérica de una Ecuación Diferencial Ordinaria
    - Resolución Numérica de una Ecuación en Derivadas Parciales
  - b) ¿Qué método utiliza para la resolución?
  - c) Cuando se ejecuta el programa ¿Qué valor numérico muestra en la tercera iteración, es decir, cuál es el valor de B cuando  $i=3$ ? Este corresponde a la aproximación numérica de qué valor. ?
- ¿De qué orden es el error en la aproximación obtenida?

5) El siguiente código de OCTAVE/Matlab resuelve un problema numérico:

```
x=[0 0.5 1 2 3];
y=[0 2 4 8 12];
a=polyfit(x,y,1)
b=polyfit(x,y,4)
c=polyval(a,2)
d=polyval(b,2)
if c==d
    disp('ok')
end
```

- a) ¿Qué problema resuelve? (puede ser más de una de las opciones)
  - Interpolación
  - Ajuste
  - Integración Numérica
  - Diferenciación Numérica
  - Resolución Numérica de una Ecuación Diferencial Ordinaria
- b) Cuando se ejecuta el programa

- b1) ¿Qué representan las variables a y b?  
 b2) La aparición del mensaje ok en pantalla significa
- Que la derivada primera coincide con la derivada segunda en (0,2)
  - Que la ecuación de ajuste pasa por el punto (0,2)
  - Que la curva de interpolación de los 5 puntos pasa por el punto (0,2)

6) El siguiente código en OCTAVE/Matlab resuelve en forma aproximada un problema numérico:

```
x=2:2:12;
y=log10(x);
a=polyfit(x,y,1);
b=polyfit(x,y,2);
c=polyval(a,x);
d=polyval(b,x);
S1=sum((c-y).^2);
S2=sum((d-y).^2);
e=sqrt(S1/6);
f=sqrt(S2/6);
if e>f
    disp('ok')
end
```

- a) ¿Qué problema resuelve? (marque sólo una de las opciones)
- Interpolación
  - Ajuste
  - Integración Numérica
  - Diferenciación Numérica
  - Resolución Numérica de una Ecuación Diferencial Ordinaria
- b) ¿Qué Método utiliza para la resolución?  
 c) ¿Qué representan los valores almacenados en las variable e y d?  
 d) Cuando se ejecuta el programa ¿Qué elección representa el mensaje ok en pantalla?

7) El siguiente código en OCTAVE/Matlab resuelve en forma aproximada un problema numérico:

```
T(1,2:4)=100
T(1:3,1)=20
T(1:3,5)=40
a=0.10
h=0.2
k=0.1
la=a*k/h^2
T(2,2)=la.*T(1,1)+(1-2.*la).*T(1,2)+la.*T(1,3)
```

- a) ¿Qué problema resuelve? (marque sólo una de las opciones)



- Interpolación
  - Ajuste
  - Integración Numérica
  - Diferenciación Numérica
  - Resolución Numérica de una Ecuación Diferencial Ordinaria
  - Resolución Numérica de una Ecuación en Derivadas Parciales
- b) ¿Qué Método utiliza para la resolución?
- c) ¿Qué representa el valor numérico almacenado en T(2,2)?
- Cuando se ejecuta el programa ¿Qué valores numéricos se almacenan en T(2,2)?

8) El siguiente código en OCTAVE/Matlab resuelve en forma aproximada un problema numérico:

```
clear
t=0:10:60;
Q=[0 0.1 0.3 0.25 0.15 0.1 0];
d(1)=(Q(2)-Q(1))/10
d(2)=(Q(3)-Q(1))/20
d(3)=(Q(4)-Q(2))/20
M=d(1);
j=1;
for i=2:3
    if d(i)>M
        M=d(i);
        j=i;
    end
end
M; T=t(j)
```

- a) ¿Qué problema resuelve? (marque sólo una de las opciones)
- Interpolación
  - Ajuste
  - Integración Numérica
  - Diferenciación Numérica
  - Resolución Numérica de una Ecuación Diferencial Ordinaria
  - Resolución Numérica de una Ecuación en Derivadas Parciales
- b) ¿Qué Método utiliza para la resolución?
- c) Escriba la ecuación analítica que el código permite resolver
- d) ¿Cuál es el valor del paso de cálculo?
- e) Una vez ejecutado el programa ¿Qué valores numéricos muestra para M y para T?
- ¿Qué representan estos valores de M y T?

9) La PRIMERA y la SEGUNDA PARTE del siguiente código en OCTAVE/Matlab resuelve en forma aproximada un problema numérico:

```
% PRIMERA PARTE
SUP=50;
```

```

DER=40;
INF=100;
IZQ=20;
% SEGUNDA PARTE
A=[-4 1 0;1 -4 1;0 1 -4];
b=[-SUP-INF-IZQ;-SUP-INF;-SUP-DER-INF];
T=inv(A)*b
% TERCERA PARTE
S=T(1);
for i=2:3
    if T(i)>S
        S=T(i);
    end
end
S

```

a) ¿Qué problema resuelve? (marque sólo una de las opciones)

- Interpolación
- Ajuste
- Integración Numérica
- Diferenciación Numérica
- Resolución Numérica de una Ecuación Diferencial Ordinaria
- Resolución Numérica de una Ecuación en Derivadas Parciales

b) Dentro del problema elegido en a), cuál de los casos vistos es el que resuelve?

c) Realice un gráfico mostrando el problema que el programa resuelve

d) Cuando se ejecuta el programa

d1 En la SEGUNDA PARTE, ¿qué valores numéricos muestra el vector T?

d2 En la TERCERA PARTE, ¿qué muestra el valor S?

Si bien estos ejemplos están preparados para su resolución a mano, dependiendo de la cantidad de alumnos que asistían a la instancia de evaluación, en algunas ocasiones tuvieron la posibilidad de utilizar las computadoras del aula durante el examen.

Se optó por esta modalidad de evaluación teniendo en cuenta en primer lugar que los objetivos de la asignatura se encuentran centrados en los métodos numéricos y no específicamente en el desarrollo de habilidades para programación. En segundo lugar, para que el alumno pueda asignar tiempos en la respuesta en el marco de un examen, de modo de no dedicar una carga horaria desmedida a mostrar su conocimiento y habilidades para el manejo de una herramienta que, como se señalara más arriba, le da un sentido especial a los algoritmos cuyos contenidos se dictan en forma detallada y sistemática. Los resultados reflejan el grado de conocimientos de los alumnos dentro del esquema completo asociado a la aplicación de los métodos numéricos y su mayor o menor dedicación en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

## 6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En general se ha observado un mejor rendimiento para la respuesta a este punto en los

alumnos que dedicaron un tiempo extra a la realización de los laboratorios propuestos, que en todos los casos incluyen el desarrollo de un código de programación para llegar a los resultados del problema ingenieril propuesto.

Finalmente, se procedió a evaluar la calidad de los resultados logrados y disponer así de herramientas que permitan una mejora en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Para ello se tomó una muestra de 141 alumnos correspondientes a las distintas ramas de la ingeniería que cursaron la materia Matemática D1, en la que se dictan los contenidos de los métodos numéricos (aproximadamente el 50% de los alumnos que anualmente cursan la materia), y se procedió a analizar los resultados obtenidos por esos alumnos en exámenes que incluyeron la modalidad de evaluación descripta.

Para poder visualizar la correlación entre los resultados del primer y segundo inciso, con respecto al tercer inciso, se organizan los datos de las estadísticas para poder graficar los datos en conjunto. Se consideró que la pregunta se componía de tres incisos: el primero para identificar el tipo de problema numérico que el programa resuelve, el segundo para identificar el método numérico utilizado para resolver el problema y el tercero evaluar el grado de comprensión de la secuencia de ejecución del programa y de la evolución de los contenidos en las variables intervinientes.

Partiendo de la división en incisos descripta y la muestra de alumnos tomada se trabaja sobre los datos para poder analizar la correlación, entre los dos primeros incisos y el tercer inciso, y poder graficar los datos en conjunto.

Para cada alumno de la muestra y sus puntajes obtenidos en cada inciso, a los cuales se llama  $R_a$ ,  $R_b$  y  $R_c$  respectivamente para el primer, segundo y tercer inciso, el trabajo realizado sobre los datos se detalla a continuación:

1. Se suman los resultados obtenidos por el alumno en los dos primeros incisos ( $R_a$  y  $R_b$ ), a dicho resultado se lo denomina  $R_{ab}$ .
2. Se suman los puntajes máximos de los dos primeros incisos, a dicho resultado se lo llama  $P_{ab}$ .
3. Se divide el valor de la suma de los resultados ( $R_{ab}$ ) por la suma de los puntajes máximos ( $P_{ab}$ ) y se multiplica por 100. De esta forma se obtiene el resultado porcentual de los dos primeros incisos, al cual se denomina  $R\%_{ab}$ .
4. Se toma el resultado obtenido por el alumno en el tercer inciso ( $R_c$ ), se lo divide por el puntaje total de dicho inciso ( $P_c$ ) y se multiplica por 100. De esta forma se obtiene el resultado porcentual del tercer inciso, al cual se lo denomina  $R\%_c$ .

Como resultado de los pasos anteriores se obtienen dos valores porcentuales,  $R\%_{ab}$  y  $R\%_c$ , los cuales se utilizan como coordenadas, en  $x$  e  $y$  respectivamente, para ubicar a cada alumno en el plano del gráfico de la [Figura 1](#). De esta forma, cada punto resulta definido por las coordenadas ( $R\%_{ab}, R\%_c$ ).

Para facilitar la interpretación gráfica de la [Figura 1](#), en el caso que más de un punto se encuentre en un mismo lugar del plano, los puntos coincidentes se reemplazan por un círculo de área igual al número de puntos superpuestos. A su vez, si dicho número es mayor que 2, se agrega el número dentro del círculo.

Cabe mencionar que en algunos casos los círculos se superponen o se encuentran dentro de otros, pero eso solo se debe a que el radio de uno puede ser mayor que la separación entre ellos.

A modo de ejemplo, se puede apreciar en la [Figura 1](#) como 64 alumnos realizaron de forma perfecta (sacando la máxima calificación) todos los incisos en estudio. También es fácil observar que 27 alumnos realizaron de forma perfecta los incisos primero y segundo, pero su

calificación en el tercer inciso fue cero.

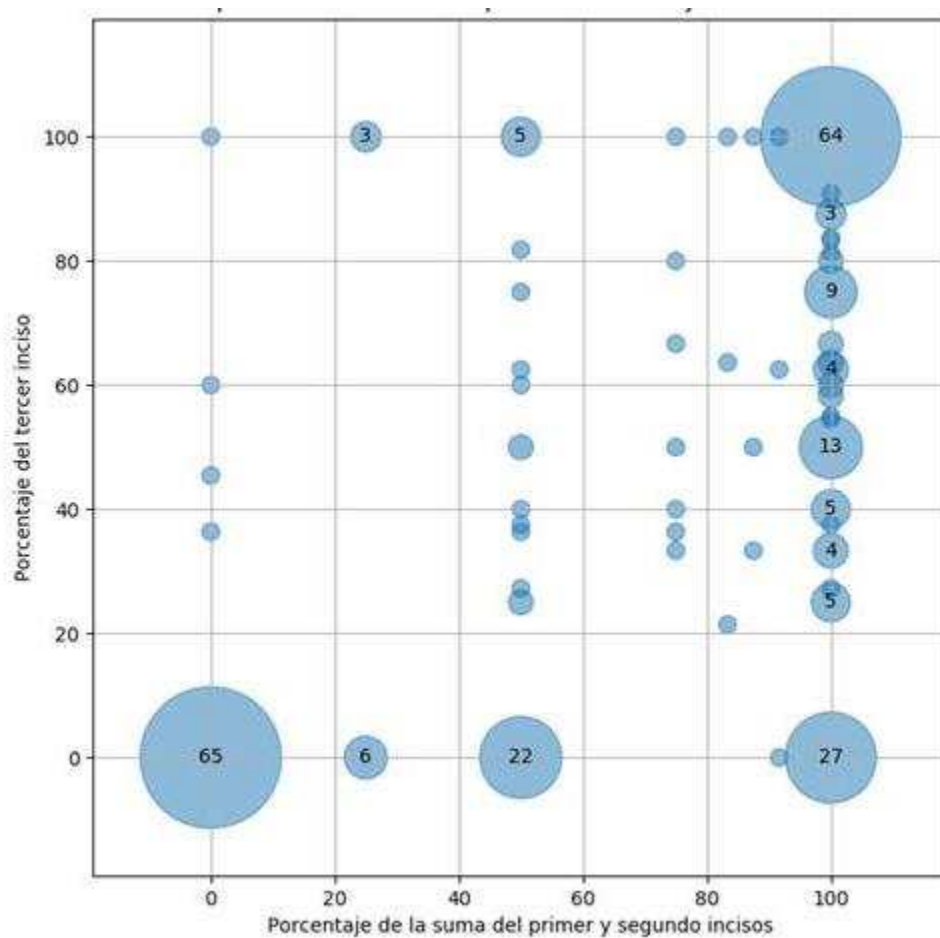


Figura 1: Comparación entre las respuestas dadas para los dos grupos de incisos

En cuanto a la respuesta particularizada a los incisos en que se encuentra dividida la pregunta, en general se observa que aquellos alumnos que pudieron identificar las variables y replicar la secuencia de ejecución del programa, también fueron capaces de responder a las preguntas destinadas a mostrar que conocían el problema numérico en resolución y el método particular elegido para resolverlo.

En muy pocos casos quienes respondían bien a la tercera parte no podían contestar acertadamente las dos primeras.

## 7 CONCLUSIONES

Ante el desafío (de organización, de recursos humanos, de facilidades en las aulas y de administración de los tiempos) evaluar las nociones de programación necesarias para implementar los métodos numéricos, la metodología aplicada consiste en incluir en los exámenes el código de un programa que resuelve un método numérico, y se complementa con preguntas, de distinto grado de complejidad, que resulten de rápida resolución y en las que el alumno puede mostrar hasta dónde ha podido incorporar los conocimientos de programación suministrados.

Esta herramienta de evaluación puede ser aplicada en forma simultánea con la realización de trabajos de laboratorio destinados a resolver problemas de ingeniería aplicando métodos

numéricos. En estos casos la respuesta se refleja en mejores rendimientos en las instancias de evaluación.

Por otro lado, de la muestra analizada se observa que aquellos alumnos que pueden interpretar la secuencia lógica del programa tienen los conocimientos suficientes para correlacionar esa secuencia con alguno de los métodos numéricos brindados en el curso, con tiempos de resolución lo suficientemente cortos para que preguntas como las ejemplificadas puedan ser incluidas sin inconvenientes en las instancias de evaluación de las carreras de grado de ingeniería.

Para la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje se propone incrementar el tiempo destinado a suministrar los contenidos de programación, complementar cada ejemplo con las disponibilidades gráficas que los utilitarios ofrecen y analizar la velocidad de convergencia de los métodos iterativos que se implementen. En ese mismo sentido, se considera de suma importancia generalizar la realización de trabajos de laboratorio con ejemplos de aplicación propios de cada especialidad de la ingeniería.

## REFERENCIAS

- Burden R. y Faires D., *Análisis Numérico*, Cengage Learning, 2017.
- Chapra S. y Canale, R., *Métodos Numéricos para Ingenieros*, McGraw-Hill, 2015.
- Chow, V., Maidment, D., Mays, L., *Hidrología Aplicada*, McGraw-Hill, 1996.
- Gamino, A., Mena, O., Occhiutto, C., Experiencias Educativas Conjuntas entre las Cátedras de Cálculo Avanzado e Hidrología y Obras Hidráulicas, *Mecánica Computacional*, 32.3027-3046, 2013.
- Gordon, J, *Algoritmos Numéricos*, U.N.L.P, 1985.
- Mathews, J y Fink, K, *Métodos Numéricos con Matlab*, Pearson Education, 2000.
- Nakamura S, *Métodos Numéricos aplicados con Software*, Prentice-Hall Hispanoamericana, 1992.
- Naudascher, E., *Hidráulica de Canales – Diseño de Estructuras*, Limusa, 2009.
- Otto, S. y Denier, J., *An Introduction to Programming and Numerical Methods in MATLAB*, Springer, 2005
- Streeter, V.y Wylie, E., *Mecánica de los Fluidos*, Mc.Graw Hill, 1988.