

# Enseñanza de Computación en la Carrera de Licenciatura en Física

LUIS P. LARA, HUGO D. NAVONE y PABLO A. TURNER

DEPARTAMENTO DE FÍSICA - ESCUELA DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES (FCEIA - UNR)  
PELLEGRINI 250 - (2000) ROSARIO - ARGENTINA  
*e-mail: pablo@ifir.edu.ar*

## Resumen

El objetivo de este trabajo es transmitir la experiencia recabada y los resultados alcanzados durante el proceso de incorporación de los recursos informáticos en la carrera de Licenciatura en Física de la Universidad Nacional Rosario (UNR). La estructura de los cursos y la metodología de trabajo que se propone es el resultado de la evolución de la cátedra a partir de su conformación en el año 1989. Dicha estructura se generó a partir de un único curso de grado en el 3° año de la carrera (Computación y Cálculo Numérico) el cual fué modificándose en su alcance y sus objetivos. Este proceso mostró la necesidad de incorporar otros dos cursos que no sólo difieren en sus contenidos, sino que además, poseen metodologías de trabajo distintas acordes con los objetivos de los mismos. Estos dos cursos son: Taller de Física Computacional (de carácter opcional y destinado a alumnos de 2° año) y Cálculo Numérico y Modelos Matemáticos (materia optativa para 5° año y curso de postgrado).

El rol de los recursos informáticos en el actual desarrollo de la física y nuestra experiencia como docentes en el área nos indican que es necesaria una incorporación más profunda de la computadora en la enseñanza de esta disciplina. Entendemos que la estructura descrita en este trabajo constituye una de las plataformas posibles a partir de la cual puede alcanzarse dicha profundización. Sin embargo, creemos que este objetivo sólo se logrará en la medida en que se establezca una interacción más efectiva entre esta estructura de cursos y el resto de la cátedras de nuestra carrera.

## Abstract

The aim of the present work is to communicate the collected experience and the attained results during the incorporation of the computational resources in the Physics career of the National University of Rosario. The structure of the courses and the methodology that are proposed are the results of the department evolution since its constitution in 1989. That structure was generated starting from one undergraduate course in the 3<sup>rd</sup> year of the career (Computation and Numerical Calculus) which, in turn, was changed in its scope and objective. This process shows the necessity of two new courses that differ, not only, in their contents but, also, they have different methodologies related with their objectives. Those courses are: Computational Physics (optional and implemented in the 2<sup>nd</sup> year of the career) and, Numerical Calculus and Mathematical Models (optional and, implemented in the 5<sup>th</sup> year and as post-graduate course).

The role of the computational resources in the present development of the physical science and our experience as teachers in the subject show us that it is necessary a more intense inclusion of the computer in the training of the future physics professionals. We understand that the structure presented in this work establish one of the possible platforms to reach that insight. Nevertheless, we believe that this objective can be reached only if a more effective interaction between the presented courses and the others of the career is establish.

## Introducción

La incorporación en la currícula de la carrera de Licenciatura en Física de la UNR de un curso de Computación y Cálculo Numérico fué el resultado de la necesidad de introducir a los futuros físicos en el uso de las herramientas derivadas de la computación. Ahora bien, si consideramos que “la computadora ha revolucionado la manera en que hacemos física, pero sorprendentemente, no ha alterado significativamente la manera en que enseñamos física” (Wilson and Redish [1989]) surge

naturalmente la necesidad de replantear el rol que debe cumplir esta herramienta en la formación profesional de los futuros físicos. Dicha afirmación ha sido varias veces realizada (Kadanoff [1988]) y creemos que es compartida por la mayoría de los docentes de las carreras de Licenciatura en Física. Este punto de vista se constituyó en el eje motivador para el desarrollo de un área, dentro de la carrera, que denominamos Física Computacional, siendo concientes, por supuesto, que dicho nombre no refleja su actual estado pero que sí es el objetivo

final de nuestro trabajo. Pretendemos conformar un área con cursos (de grado y de postgrado) y talleres que se nutra de las demás materias, y que a su vez genere una nueva forma de encarar algunos aspectos de la enseñanza de la física en todos los niveles. Sin embargo, la problemática que se presenta a nivel de las distintas estrategias a plantear, es profunda en los países desarrollados y es agudizada en nuestro país por la escasez de recursos disponibles en la educación universitaria. Este último aspecto también ha influido en la estructuración de los cursos y en las metodologías implementadas.

### **Características Generales de los Cursos**

El curso original Computación y Cálculo Numérico (del 3° año de la Licenciatura en Física) se constituyó en el generador de un taller optativo para 2° año, y de un curso optativo de formación superior en 5° año. Todos estos cursos se dictan considerando que la informática en las carreras de ciencias no debe ser un fin en sí mismo, sino un instrumento para el desarrollo educativo y profesional. Desde este punto de vista, encontramos que para satisfacer este objetivo global es necesario plantear distintas metodologías de trabajo acordes con los objetivos particulares de cada uno de los cursos.

En el Taller de Física Computacional el docente plantea el problema y sugiere el entorno de resolución del mismo. A partir de ese momento participa en las discusiones con los alumnos y ocupa el lugar de docente cuando le es demandado. Esta metodología permite a los alumnos elegir sus propios caminos de resolución, dejando al descubierto sus errores y la posibilidad de autocorrección. Para el alumno, el darse cuenta del error es lo que en definitiva le permite un verdadero aprendizaje. Para el docente, se abre la posibilidad de analizar las distintas metodologías de trabajo en la resolución de los problemas, y no la única que hubiese sugerido él en una clase tradicional. En el curso regular del 3° año y en el curso optativo del 5° año, los programas analíticos y el tiempo disponible para el cursado imponen un rol docente y una dinámica de dictado de clases distintas. Sin embargo, como creemos que el método utilizado en el taller es adecuado para motivar el trabajo de alumnos y docentes, hemos

intentado conservarlo implementándolo en las clases de laboratorio.

Los temas que se proponen en el plan analítico de las materias de nuestro área pertenecen al dominio de la computación y el cálculo numérico. Sin embargo, al estar dictadas por un grupo de docentes cuya labor de investigación está vinculada a la física, dichos temas se introducen manteniendo siempre relación con las materias de la Licenciatura en Física. Queremos destacar que actualmente la vinculación la realizan los propios alumnos, ya que la mayoría de la cátedras aún no incorporaron la computadora y sus recursos en el dictado de sus materias.

Por último, no pretendemos realizar aquí una discusión acerca de cual o cuales son los elementos más adecuados para la introducción de la computación y el cálculo numérico en la carrera de Licenciatura en Física. Es nuestro entendimiento que la discusión acerca de que lenguaje de programación de bajo nivel: FORTRAN o C, o que lenguaje de alto nivel: MATLAB, Mathematica, Maple o Macsyma<sup>1</sup>, entre otros, no conduce a mejorar los resultados en la formación de los alumnos sino que sólo detiene la implementación de las herramientas de informática en los cursos de física (Riddle [1994]). Por lo tanto, hemos optado por seleccionar, dentro de los recursos disponibles en nuestra carrera, los entornos de trabajo que mejor se adecuan a los objetivos de cada curso, sin dejar de mostrar por ello la diversidad de recursos existentes en el mercado desde la perspectiva del futuro trabajo profesional. Estamos convencidos de que la discusión sobre los recursos a usar es importante, pero pasa a un segundo plano cuando el objetivo global es que los alumnos adquieran una sólida formación conceptual que conserve la flexibilidad necesaria para incorporar nuevas herramientas y entornos de trabajo.

### **Taller de Física Computacional**

Este taller esta destinado a alumnos de 2° año de la carrera de Licenciatura en Física. Los

<sup>1</sup> MATLAB es marca registrada de The MATH WORKS Inc. Mathematica es marca registrada de Wolfram Research Inc. Maple es marca registrada de Waterloo Maple Software. Macsyma es marca registrada de Macsyma Inc.

objetivos del mismo se pueden resumir en los siguientes:

- 1- Lograr que los alumnos comiencen a interactuar con una computadora.
- 2- Dar comienzo al proceso de incorporación de la informática como herramienta para el desarrollo educativo a lo largo del cursado de la carrera de Licenciatura en Física.
- 3- Poner al alcance de los alumnos "entornos de trabajo" (como por ejemplo: MathCad y Derive<sup>2</sup>) que les permitan enfocar, y resolver, con mayor claridad y profundidad los temas pertenecientes a las distintas materias.
- 4- Complementar e interactuar con el enfoque estrictamente analítico de las diversas materias mediante la resolución numérica de problemas.
- 5- Introducir los conceptos y la terminología básica necesaria para el desarrollo de la materia de grado correspondiente al 3° año de la carrera.

La implementación de este taller se basa fundamentalmente en la introducción de entornos de trabajo tipo MathCad y Derive. Estos entornos permiten que los alumnos resuelvan problemas físico-matemáticos sencillos, indagando y profundizando en los mismos de acuerdo a sus propios intereses e inquietudes. Para lograr esto, el docente introduce cada uno de estos ambientes trabajando con los conceptos y definiciones generales que posibilitan su uso. La clase se divide en grupos pequeños de alumnos y el proceso de enseñanza-aprendizaje se realiza directamente frente a la computadora. En este taller, por lo tanto, no se estructuran clases de teoría, práctica o laboratorio, sino que todos los temas se desarrollan en el ámbito del Laboratorio de Informática. Esto permite explotar a fondo las posibilidades de la computadora y la creatividad de los alumnos. El Derive es adecuado para presentar un ambiente de trabajo destinado fundamentalmente a la resolución simbólica de problemas, mientras que el MathCad es un ambiente algorítmico y está dirigido hacia la resolución numérica de los

mismos. En la medida de lo posible, en ambos ambientes se trata de visualizar gráficamente los resultados de los problemas. El entorno MathCad nos ha resultado muy amigable para la introducción de ciertos conceptos que luego serán necesarios en la enseñanza de un lenguaje de programación. Entre dichos conceptos podemos citar como ejemplos: variables, tipos de variables, operadores de definición, expresiones, operadores y reglas de precedencia, arreglos, funciones internas del entorno, definición de funciones por parte del usuario, definiciones locales y globales, facilidades de edición, manejo de archivos, iteraciones, evaluación de predicados lógicos, ejecución secuencial, etc. La mayoría de estos conceptos también aparecen en el entorno Derive pero al ser un ambiente al que recurrimos para la resolución simbólica los mismos se presentan de forma natural en correspondencia con la física-matemática.

Algunos de los problemas que se presentan en este taller son los siguientes: cálculo del número  $\pi$  mediante diferentes leyes de recurrencia que el alumno debe descubrir para confeccionar el algoritmo de cálculo (Kasner and Newman [1985]), resolución numérica del problema de tiro libre: cálculo de trayectorias, alcance máximo, altura máxima (Roederer [1963]), significado de las ecuaciones de la dinámica: resolución numérica de las ecuaciones del oscilador armónico simple, construcción del mapa de las fases (Feynman [1971]).

#### Computación y Cálculo Numérico

La materia de Computación y Cálculo Numérico es el único de los tres cursos que se describen en este trabajo que pertenece al conjunto de materias regulares de la currícula de la Licenciatura en Física de la UNR. Dicho curso se dicta en el 3° año de la carrera, y los alumnos ya cuentan con la formación y los conocimientos de física adquiridos en las físicas básicas de 1° y 2° año. Al ser una materia regular de la carrera los temas de física que se incluyen y, las herramientas de computación y cálculo numérico que se dictan deben poseer un alcance fijo, con el fin de homogeneizar los conocimientos adquiridos por los alumnos al finalizar el cursado. De esta manera contamos con un curso

<sup>2</sup> Mathcad es marca registrada de Mathsoft Inc. Derive es marca registrada de Soft Warehouse Inc.

que garantiza un nivel mínimo de formación en lo que denominaríamos física computacional.

En esta asignatura se destina la mitad del cuatrimestre a introducir los elementos de computación y a la enseñanza de un lenguaje de programación de alto nivel. El sistema operativo que estamos utilizando es el MSDOS<sup>3</sup> (sobre plataforma PC compatible) y el lenguaje de programación que se introduce es el FORTRAN 77. Las estructuras de control y decisión para la codificación de los algoritmos se presentan primeramente de forma general, es decir en lo que habitualmente se denomina pseudocódigo. Para la enseñanza del FORTRAN se proponen clases en las cuales se establece un paralelismo entre el pseudocódigo y dicho lenguaje de bajo nivel (Braunstein y Gioia [1987]). Esto les da la posibilidad a los alumnos de acceder a otros lenguajes según sean las necesidades de su futura labor de investigación.

La segunda mitad del cuatrimestre se dedica a la enseñanza de los principales conceptos y métodos del cálculo numérico: errores, valuación de funciones, raíces de ecuaciones, interpolación y ajuste, integración y resolución de ecuaciones diferenciales ordinarias (Nakamura [1992], Henrici [1972], Conte y de Boor [1974], Mc Craken y Dorn [1970] y Ralston [1970]). Durante el dictado de estos temas no se plantean en forma separada clases de teoría y práctica, sino que se introducen brevemente los temas e inmediatamente se recurre a problemas físicos para discutir y valorar el alcance de cada uno de los métodos. Sin embargo por no disponer de un laboratorio de computación propio en el ámbito del departamento de física estamos obligados a diferenciar las clases teórico-prácticas de las de laboratorio. Entendemos que si dicha limitación es eliminada y se propone el desarrollo del curso en clase teórico-prácticas con asistencia de computadoras (como sí hemos logrado desarrollar en el Taller de Física Computacional) se lograría un mejor compromiso de los alumnos con los problemas planteados. Ejemplos típicos de los problemas que son presentados en el marco de los conceptos y métodos de cálculo numérico son: utilización de los métodos de

determinación de raíces de ecuaciones para obtener la solución de la ecuación de estado de gases no ideales de Beattie-Bridgeman y para obtener la solución de la ecuación para la radiancia espectral de Planck; aplicación de los métodos de integración numérica para la determinación del período del péndulo simple para oscilaciones finitas y para integrar la ecuación de Planck para la energía radiante; y en el caso de métodos de solución de ecuaciones diferenciales, resolver la ecuación de transferencia de calor e integrar la ecuación del péndulo simple.

#### **Cálculo Numérico y Modelos Matemáticos**

Esta materia tiene una doble finalidad: constituye un curso optativo para los alumnos de 5° año de la Licenciatura en Física y además es un curso de postgrado para graduados en Física y para los de cualquier otra disciplina en donde sea necesario profundizar en este campo. A los estudiantes de Física les permite completar su formación básica alcanzada en el curso de grado, abarcando temas y metodologías más cercanas al trabajo profesional como físicos. Para los graduados en otras disciplinas, este es un curso destinado a afianzar su formación en cálculo numérico y les permite evaluar las diversas técnicas y métodos que se adecuan a la resolución de diversos problemas. Además, se les brinda un espacio para que planteen problemas derivados de sus áreas de trabajo específicas, lo que contribuye al enriquecimiento de todos los alumnos. En este curso se presentan algunos elementos de cálculo numérico y también se incluyen algunas herramientas, pero en términos generales se deja librado al alumno el tipo de recursos a usar para resolver los problemas que se les plantean (desde lenguajes de programación de bajo nivel hasta ambientes de alto nivel de todo tipo). Esto permite que algunos alumnos adquieran nuevas habilidades experimentando con diversos entornos de trabajo, siendo posible a su vez la evaluación de los mismos. Por otra parte, se promueve el uso de bibliotecas de subrutinas científicas así como también la evaluación de las mismas frente a problemas determinados mediante el desarrollo de funciones de prueba (o funciones "test").

<sup>3</sup> MSDOS es marca registrada de MICROSOFT.

Durante el cursado de la materia se desarrollan prácticos, que luego se exponen y se discuten en clase. Algunos de los trabajos prácticos que se desarrollan son los siguientes: resolución numérica de integrales: se compara la performance de las fórmulas de Newton-Cotes y cuadraturas gaussianas mediante el desarrollo de experimentos numéricos cuando el integrando presenta diferentes particularidades. Otro de los problemas que se resuelven es el péndulo forzado en la aproximación lineal y luego conservando la no linealidad del problema. Este último, permite introducir a los alumnos en el análisis de sistemas cuyo comportamiento es caótico (mapa de las fases, dependencia de las condiciones iniciales, mapa de Poincare, etc.) (Bergé et al. [1984]). Un ejemplo típico de este tipo de problemas es el péndulo físico (Castillo Douglas et al. [1994]). También se atacan problemas de ecuaciones integrales y ecuaciones diferenciales en derivadas parciales.

### Conclusiones

La experiencia que hemos expuesto en este trabajo no pretende tener el alcance de un cambio abrupto en la incorporación de la Física Computacional en la Licenciatura en Física, sino que tiende a cubrir algunos de los aspectos que hacen a la inserción de la computadora en la enseñanza de la física a nivel universitario y se presenta como una plataforma para la futura modificación de la misma.

Durante el transcurso de esta experiencia hemos constatado que cuando el alumno relaciona libremente los problemas vinculados a los conocimientos de física acordes al nivel del curso en que se dicta la materia, se mejora ampliamente el compromiso del mismo con los conocimientos propuestos. Queremos además mencionar que estos cursos, fundamentalmente los dos optativos, nos dan la posibilidad de introducir temas que no son cubiertos por el resto de las materias de la carrera, como por ejemplo: dinámica de sistemas no lineales.

### Referencias

1. Bergé, P., Pomenau, Y. and Vidal, C. "Order within chaos" (1984) John Wiley & Sons, París - Francia
2. Braunstein, S.L. y Gioia, A.B., "Introducción a la programación y a las estructuras de datos" (1987) EUDEBA, Buenos Aires - Argentina
3. Castillo Douglas, S., Harrison, D.M and Shepherd, T.G., Computer in Physics 8 N°4 (1994) 416
4. Conte, S.D. y de Boor, C., "Análisis numérico elemental" (1974) Mc Graw-Hill de. - México
5. Feynman, R.P., "Física" Vol.I (1971) Ed. Fondo Educativo Interamericano, Buenos Aires - Argentina
6. Henrici, P., "Elementos de análisis numérico" (1972) Editorial Trillas - México
7. Kadanoff, L.P., Physic Today 41 N°12 (1988) 9
8. Kasner, E. and Newman, J., "Matemáticas e imaginación" (1985) Hyspamérica Ediciones, Buenos Aires - Argentina
9. Mc Craken, D.D. y Dorn, W.S., "Métodos numéricos y programación FORTRAN" (1970) Limusa - México
10. Nakamura, S., "Métodos numéricos aplicados con software" (1992) Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., México
11. Ralston, A., "Introducción al análisis numérico" (1970) Limusa - México
12. Riddle, A., IEEE Spectrum 31 N°11 (1994) 35
13. Roederer, J.G., "Mecánica elemental" (1963) EUDEBA Manuales, Buenos Aires - Argentina
14. Wilson, J.M. and Redish, E.F., Physics Today 42 N°1 (1989) 34.