

Taller de Introducción a la Física Computacional. Una experiencia en la Licenciatura en Física.

Hugo D. Navone^{1,2,3} y Pablo A. Turner^{1,2}

¹Departamento de Física, Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (UNR); ²Instituto de Física de Rosario (CONICET-UNR);

³Observatorio Astronómico Municipal de Rosario

Resumen

La Física Computacional constituye una nueva manera de indagar a la naturaleza, que se complementa y comparte recursos y conceptos con la Física Teórica y la Física Experimental, nutriéndose, a su vez, de las metodologías de cálculo que surgen en el área de análisis numérico, así como también de técnicas estadísticas y de los avances que se registran en Ciencia de la Computación. En este trabajo se describe una experiencia educativa que conforma el primer paso en el diseño de un trayecto curricular en Física Computacional en el ámbito de la carrera de Licenciatura en Física de la Universidad Nacional de Rosario. Se trata de un Taller de Introducción a la Física Computacional que se ha implementado en el espacio curricular de la asignatura Física Experimental I. Se consignan las principales características del mismo, la metodología de trabajo y los recursos didácticos utilizados y se muestran los resultados obtenidos. Finalmente, se proponen algunas acciones tendientes a mejorar la propuesta educativa en el futuro inmediato.

1. Introducción

Las computadoras son máquinas que usualmente se visualizan como herramientas que intervienen en el proceso de construcción del conocimiento científico. Sin embargo, esta concepción oculta el verdadero papel que desempeñan estos ingenios en el ámbito de las ciencias, en general, y en Física, en particular. Quizás, los primeros en explicitar un rol distinto hayan sido, en 1953, E. Fermi, J. Pasta y S. Ulam (Jacovkis, 2004) quienes inventaron la idea de “experimento numérico” al diseñar simulaciones para tratar de entender mejor el concepto de entropía. Esta expresión sigue siendo utilizada actualmente en la descripción de aquellos experimentos que se llevan a cabo con modelos computacionales de sistemas físicos para lograr entender su comportamiento, explicar su estructura o predecir su evolución. No obstante, es posible que la verdadera magnitud de esta intervención haya sido mejor establecida por Lorenz quien, en 1963, mediante experimentos numéricos sobre dinámica de fluidos en la atmósfera sentó las bases para el surgimiento de la Teoría del Caos. Esto es, experimentos realizados con una computadora permitieron detectar un tipo de fenómeno físico desconocido hasta entonces o que, al menos, no había sido evidenciado convenientemente.

La máquina se va transformando entonces en un elemento determinante para el desarrollo de las ciencias, dando lugar al surgimiento de áreas de trabajo disciplinares que incorporan a la computación como un nuevo recurso para indagar objetos, sistemas y procesos, tanto naturales como artificiales. En nuestro caso emerge lo que ha dado en llamarse **Física Computacional**. Si bien no existen criterios únicos para delimitar este campo disciplinar, es posible establecer que la Física Computacional es actualmente una disciplina enfocada hacia la construcción de modelos algorítmicos dirigidos a la realización de experimentos numéricos,

más que una herramienta a la que se recurre cuando el tratamiento analítico se hace difícil o resulta imposible.

Basados en este análisis, consideramos necesario el diseño de un trayecto curricular que incorpore a la Física Computacional en la carrera de Licenciatura en Física desde la perspectiva expuesta. En tal sentido, en este trabajo presentamos y analizamos una experiencia educativa que comenzó a implementarse en el año 2003 y que continúa actualmente en desarrollo.

2. Objetivos

Generalmente, el trabajo con computadoras en las carreras de Licenciatura en Física está limitado a materias en donde confluyen conceptos de análisis numérico, cálculo y programación. Si bien estos contenidos resultan útiles, el diseño curricular clásico contribuye a visualizar a la computadora sólo *como una herramienta* y no *como un laboratorio* en donde desarrollar experimentos numéricos.

Dada la importancia que adquiere el enfoque descrito en la formación y en el trabajo profesional de los físicos, y al ser la Física Computacional un nuevo campo disciplinar que propone una forma alternativa de interpelar a la naturaleza, resulta imprescindible el diseño de propuestas educativas que lo incorporen adecuadamente y gradualmente en la formación de grado.

Conjugando estos objetivos de carácter general y teniendo en cuenta, además, la necesidad de realizar una tarea de nivelación en relación a los conocimientos y habilidades previas que poseen los alumnos acerca del recurso informático, hemos propuesto el desarrollo de un **Taller de Introducción a la Física Computacional** en el primer cuatrimestre del segundo año de la Licenciatura en Física. Este taller no se encuentra aislado en la carrera sino que a su vez forma parte de un trayecto curricular que luego continúa con la asignatura **Computación y Cálculo Numérico** de tercer año (primer cuatrimestre) y concluye, finalmente, con la asignatura electiva **Física Computacional** que se dicta en el segundo cuatrimestre de quinto año.

3. Metodología de trabajo

El espacio curricular en donde se desarrolla el **Taller de Introducción a la Física Computacional** es el provisto por la asignatura **Física Experimental I**. Esta elección obedeció a diversas razones: (a) su ubicación en el plan de estudios es la adecuada para comenzar con un trayecto en esta temática; (b) el trabajo en talleres sobre diversos temas ya ha estado presente en la asignatura mencionada; (c) la situación educativa que promueve esta materia es muy conveniente para la realización de un primer acercamiento a la Física Computacional, esto es, para experimentar con la computadora y (d) la inclusión de estos tópicos bajo el formato de taller, con una carga horaria menor y en una materia ya existente, ha permitido evitar la

modificación del plan de estudios de la carrera, proyecto que requeriría de un análisis más profundo.

Se ha optado por trabajar con la metodología de taller, conformando un espacio de enseñanza-aprendizaje con características muy cercanas a la educación no formal, a los efectos de promover diversos intercambios, discusiones y reflexiones entre docentes y alumnos, y entre los mismos alumnos, así como también para poder dar respuesta a las distintas inquietudes que los estudiantes traen al aula.

Al inicio se realiza una breve encuesta cuyo propósito es evaluar los conocimientos previos de informática que ya poseen los alumnos. Los resultados obtenidos en el período 2003-2008 nos permiten concluir lo siguiente: (a) la mayoría de los alumnos disponen de una computadora; (b) muchos de ellos manifiestan conocer un sistema operativo; (c) algunos han tenido informática en la escuela secundaria y (d) muy pocos cuentan con conocimientos de programación. Esta situación plantea la necesidad de realizar una tarea dirigida a la nivelación de conocimientos en primera instancia, para luego pasar a trabajar en el diseño de algoritmos y a su formalización en algún lenguaje de alto nivel, finalizando más tarde con la introducción de tópicos de Física Computacional.

Para facilitar el trabajo en el taller, se han diseñado **Unidades Didácticas** en donde se presenta un abordaje teórico de los temas a desarrollar, acompañado por ejemplos y ejercicios para ser implementados por los alumnos en cada encuentro. Este material está disponible en la página web del taller (www.fceia.unr.edu.ar/~ifc/), recomendándose su lectura antes de cada clase.

Los encuentros comienzan con una breve introducción teórico-práctica a cargo del docente, en donde se disipan dudas y se atienden inquietudes, para luego pasar al trabajo en máquina. Se trata de promover un ambiente de colaboración grupal, altamente participativo, a los efectos de favorecer la nivelación de conocimientos. Al finalizar, el docente realiza una breve síntesis acerca de las dudas y de los problemas que han surgido durante el desarrollo del taller.

El lenguaje de programación elegido para formalizar los algoritmos es el FORTRAN, puesto que este será el utilizado en el próximo paso de este trayecto curricular materializado por la asignatura **Computación y Cálculo Numérico**.

Las temáticas que se abordan en las Unidades Didácticas son: (1) estaciones de trabajo; (2) introducción al sistema operativo LINUX; (3) problemas, algoritmos y pseudolenguajes; (4) sistemas de desarrollo de aplicaciones en FORTRAN (compiladores); (5) algoritmos y programación FORTRAN; (6) repetición y arreglos; (7) decisión y archivos; (8) visualización de datos; (9) subalgoritmos; (10) representación de la información; (11) introducción a la programación en QBASIC (intérpretes) y (12) métodos numéricos (ajuste de datos). Algunos de los proyectos computacionales desarrollados fueron: (1) problemas a resolver usando la Ley de Gravitación Universal (trabajo con expresiones aritméticas); (2) saque de arco (modelado del

tiro oblicuo en distintas condiciones); (3) un planeta con dos soles (problema de tres cuerpos) y (4) obtención de la constante de Hubble (regresión lineal, modelado observacional).

La unidad didáctica correspondiente a programación en QBASIC se diseñó para brindar los elementos fundamentales de este lenguaje para que luego los alumnos puedan utilizarlo en la programación de interfases de adquisición de datos en el ámbito de las sucesivas asignaturas de Física Experimental.

Si bien el ritmo de desarrollo del taller obliga a los alumnos a seguir los contenidos clase a clase el mismo se aprueba formalmente con una evaluación relacionada con el último proyecto computacional propuesto. Esta evaluación tiene por objeto brindar al alumno una oportunidad para construir con el docente una síntesis de lo logrado.

La formación obtenida por los alumnos en el **Taller de Introducción a la Física Computacional** es volcada y continuada en el cursado de **Computación y Cálculo Numérico**.

El objetivo básico de esta materia es alcanzar la formación necesaria para que los alumnos sean competentes en la formulación e implementación de algoritmos en un lenguaje de programación. Se trabaja con problemas de la física, complementando de esta manera el enfoque estrictamente analítico, por una parte, y se continúa explorando el campo de la física computacional. De la trayectoria curricular propuesta en la carrera, Computación y Cálculo Numérico es el único de los cursos que pertenece al conjunto de materias regulares de la currícula de la Licenciatura en Física. Se dicta en el 3° año de la carrera, contándose con la formación y los conocimientos de física adquiridos por los alumnos en las físicas básicas de 1° y 2° año. Inicialmente, en el cursado, se presentan conceptos de computación, informática y lenguajes de programación, para converger a la importancia del concepto de Errores Numéricos. Luego se trabaja en los principales métodos del cálculo numérico: valuación de funciones, raíces de ecuaciones, interpolación y ajuste, diferenciación, integración y resolución de ecuaciones diferenciales ordinarias, siguiendo los esquemas clásicos de los libros de texto en esta área (Chapra y Canale [1999]).

Durante el dictado de estos temas no se plantean en forma separada clases de teoría, práctica y laboratorio, 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. Esta mecánica de trabajo, muy próxima a la de un taller, se hace posible por disponer de un laboratorio de computación propio. 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.

4. Resultados

Al finalizar el taller los alumnos se muestran conformes con los contenidos propuestos y cómo han sido desarrollados. Las unidades didácticas les parecen útiles y claras, y manifiestan un especial interés por el desarrollo de los proyectos computacionales planteados. Expresan, además, la necesidad de contar con un mayor presupuesto de tiempo para la implementación computacional de los algoritmos.

Se ha comprobado que los alumnos han utilizado las habilidades adquiridas en programación durante el desarrollo del taller en otros temas de Física Experimental, así como también en otras asignaturas y en el desarrollo de inquietudes personales vinculadas con diversas temáticas.

5. Conclusiones

Sabiendo que la computadora interviene en la construcción del conocimiento científico como un laboratorio en donde es posible interpelar a la naturaleza, sus sistemas, sus objetos y sus procesos, en este trabajo hemos presentado una experiencia educativa basada fuertemente en esta premisa. Se trata de un Taller de Introducción a la Física Computacional, que se implementa en el ámbito curricular de la Física Experimental y constituye el primer paso en el desarrollo de un trayecto en esta temática.

Los resultados del mismo son muy positivos ya que se logra una nivelación en los conocimientos de informática que traen consigo los alumnos, se desarrollan habilidades necesarias para el diseño de algoritmos y su formalización en un lenguaje de alto nivel, y se implementan modelos computacionales de sistemas físicos, los que luego son explorados mediante la realización de experimentos numéricos sencillos.

A partir de la experiencia recabada, surge que es necesario profundizar el trabajo con errores numéricos, contar con un mayor presupuesto de tiempo para la etapa de nivelación e incorporar proyectos computacionales adicionales que muestren en profundidad el abordaje que se propone desde la Física Computacional.

6. Referencias

Jacovkis, P. (2004). *Computadoras, modelización matemática y ciencia experimental*. Mecánica Computacional XXIII, pp. 2747-2758.

Chapra, S.C. y Canale, R.P. (1999). *Métodos Numéricos para Ingenieros*. MacGraw-Hill.