

## Simulaciones en la enseñanza de la física. La ilusión de la interactividad y las rutinas del profesor

Patricia Fernández, Alberto Jardon

Taller de Investigación en Didáctica de la Ciencia y la Tecnología (TIDCyT)  
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura  
Universidad Nacional de Rosario -Argentina.  
patricia@fceia.unr.edu.ar, ajardon@fceia.unr.edu.ar

*En este trabajo se analizan dos aspectos vinculados a la implementación de simulaciones en la enseñanza. En primer lugar se discute una visión de las simulaciones, como recurso didáctico de gran potencialidad en la construcción de conceptos y modelos en la enseñanza de la Física. Se sostiene que las simulaciones tienen un status propio que trasciende un enfoque de mero complemento de problemas de lápiz y papel o laboratorio y se muestran algunas alternativas de uso. En segundo término, se presenta una síntesis de los resultados de los estudios de caso de cinco profesores que aceptaron compartir y analizar, a través de una investigación participante, el proceso de implementación de una simulación en sus clases de física. En particular, se presenta en detalle el caso de uno de los profesores que con entusiasmo decide incorporar una simulación en la enseñanza de oscilaciones mecánicas, sus dificultades y comentarios. Se interpretan los problemas de los profesores en términos de dos ideas clave que hemos denominado “la ilusión de la interactividad” y “las rutinas del profesor”. Finalmente, se plantea la necesidad de investigaciones que incluyan a los profesores, si se pretende una transformación educativa de la práctica docente que supere rutinas y preconceptos de la práctica tradicional, en relación a las simulaciones*

**Palabras clave:** simulaciones, enseñanza de la física, investigación-acción, rutinas del profesor.

*In this paper there are two aspects related to the implementation of simulations in teaching analyzed. In the first place the simulations are discussed, as a didactic resource of great potential in the construction of concepts and models in physics teaching. Simulations are held with an individual status that transcends the approach as a mere complement to paper and pen or laboratory problems. In the second place, it is presented a synthesis of the results of the case studies of five teachers who agreed to share and analyze, through a participative investigation, the process of the implementation of a simulation in their physics classes. In particular, it is presented the case of one teacher who with enthusiasm decides to incorporate a simulation in the teaching of mechanical oscillations, his difficulties and comments. The problems of the teachers are interpreted in terms of two key ideas that have been called as “the interactivity illusion” and “the routines of the professor”. Finally, it is established the need for research that include teachers, if an educational transformation of the teaching practice that exceeds routines and preconceptions of the traditional practice regarding simulations is pretended.*

**Keywords:** simulations, teaching physics, action-research, teacher's routines.

### Introducción

En los últimos años, con la Física nuevas herramientas didácticas como complemento de las tradicionales. La intensificación del uso de la computadora y las tecnologías de la información, se han ido incorporando a la enseñanza de la Física. Por un lado, el desarrollo tecnológico ha modificado la estructura de los

laboratorios incorporando sensores e interfaces que posibilitan la adquisición y tratamiento de datos a través de computadoras; por otro, han surgido programas cada vez más sofisticados, que permiten la simulación en pantalla de una amplia variedad de situaciones y la realización de “experiencias virtuales” en las cuales es posible observar fenómenos diversos, variar parámetros a voluntad de manera rápida, observar y calcular efectos, establecer comparaciones, entre otras.

Una intuición generalizada es que los estudiantes pueden obtener beneficios considerables en el aprendizaje con la utilización de estos nuevos sistemas de representación, como son las simulaciones o animaciones. Esa intuición forma parte de algunas convicciones que consideran, por ejemplo, más efectivos los dibujos y diagramas que las expresiones verbales; los diagramas animados que las representaciones estáticas y los gráficos interactivos que los no interactivos. Sin dejar de reconocer los beneficios de las tecnologías gráficas avanzadas sobre las tradicionales, consideramos que debe profundizarse el análisis, para evaluar cuáles son los aportes cognitivos de estas representaciones más explícitas, dinámicas e interactivas, y establecer criterios que orienten a los profesores para lograr aprendizajes significativos por parte de los alumnos.

En el campo de la investigación didáctica, diversos trabajos hacen referencia a la utilización de simulaciones en la enseñanza de las ciencias, presentando, en general, una visión optimista sobre su potencialidad y destacando las bondades de estas herramientas para el aprendizaje de los estudiantes. Diversos grupos de investigación vienen trabajando en el desarrollo de software específico dirigido a la enseñanza de la Ciencia e Ingeniería (Grupo Europeo COLOS, proyecto Norteamericano, CUPS) y se dispone, en

Internet de una considerable cantidad de simulaciones elaboradas en lenguaje java (applets). Existe además una variada gama de software de modelización, tanto de dominio general (Modellus, Worldmaker, Stella, Agentsheets, StarLogo) como de dominio específico (Interactive Physics, Newtonian Sandbox, Taylor II). Por otra parte los videos digitales aparecen como complemento de diferentes propuestas (por ejemplo en Hyperphysics o Física con Ordenador), y constituyen el eje de algunas propuestas específicas (Vidshell, Video point).

Cabe destacar, sin embargo, que a pesar de la disponibilidad de simulaciones (especialmente en lo que se refiere a los applets) y de las visiones positivas antes mencionadas, es muy pobre y escasa su efectiva utilización por parte de los profesores, aún en el nivel universitario. Suelen plantearse, en este aspecto, dificultades vinculadas a la poca disponibilidad de medios adecuados o la falta de tiempo para incorporar otras actividades, especialmente computadoras para el trabajo de los alumnos, pero, desde nuestra perspectiva, no reside allí la principal dificultad que impide una extensión de su utilización. Como señala Koffman (2004), sin dejar de considerar las limitaciones económicas y técnicas, las dificultades mayores se encuentran en los propios docentes, que tienden a reproducir modalidades de enseñanza tradicionales e incorporar estas nuevas herramientas sin considerar que las mismas requieren un reencuadre pedagógico de las actividades de enseñanza.

Por otra parte, es necesario destacar que dicho reencuadre pedagógico está lejos de ser trivial. Desde el campo de la didáctica de las ciencias, pensamos que este tema debe ser objeto de investigaciones que permitan establecer claramente el rol de las simulaciones, determinar en qué medida su utilización contribuye al aprendizaje de temas concretos, propiciar

la generación de criterios para la selección de las simulaciones más adecuadas, cada fin y cómo aplicarlas en el contexto del aula del modo más eficaz.

Entendemos, además, que dichas investigaciones deben incluir a los profesores y considerar sus planteos y opiniones si se pretende que estas herramientas puedan aplicarse de modo efectivo. Nos preguntamos ¿cómo interpretan los profesores el papel de las simulaciones en la enseñanza? ¿Qué transformaciones implementan en los procesos de aprendizaje, razonamiento y construcción conceptual cuando las utilizan? ¿Cuáles son los problemas que impiden una más amplia adopción? ¿Qué aspectos posibilitan su uso efectivo?

En el presente artículo analizamos dos aspectos vinculados con la problemática expuesta más arriba.

En primer lugar discutimos el rol de las simulaciones en la enseñanza de la Física en relación con el dominio de los modelos y la modelización y presentamos posibles alternativas de uso de las mismas.

En segundo lugar, presentamos los resultados de una investigación que permitió caracterizar los planteos, actitudes y dificultades de cinco profesores que aceptaron compartir y analizar el proceso de implementación de una simulación en sus clases de física. Enmarcamos la actividad realizada por cada profesor como un proceso de investigación-acción. La investigación-acción conforma un amplio movimiento pedagógico de reconsideración de supuestos teóricos y prácticas educativas, que ressignifica el rol de los profesores y de los investigadores (Stenhouse, 1987; Carr y Kemis, 1988; Elliot, 1991). Supone una investigación abierta, participativa, democrática, centrada en los problemas prácticos de los profesores, dirigida fundamentalmente a mejorar la enseñanza y plantea una continua revisión de los datos a la luz de la reflexión crítica. Es, por tanto, una investigación orientada a la acción, a la re-

solución crítica de problemas, a la capacitación de los sujetos que participan. En este marco y para finalizar, presentamos de modo detallado, la experiencia de uno de los profesores, muy interesado en incorporar nuevas alternativas en su enseñanza, que encuentra en el camino dificultades no previstas que lo llevan a una reflexión amplia del modelo didáctico general que sustentaba su práctica.

### **El rol de las simulaciones**

Las simulaciones (modelización a través de la computadora), abarcan un amplio rango de posibilidades que van desde representaciones estáticas que procuran reproducir la apariencia de objetos, hasta representaciones dinámicas, con mayor o menor capacidad de variación de parámetros.

En el desarrollo de la ciencia y de la tecnología, la simulación se sitúa en el mismo nivel que la experimentación; las actividades de investigación y desarrollo que se apoyan en simulaciones numéricas son cada vez más numerosas en tanto que las muchas actividades científicas se basan en la elaboración de modelos (*modelización*) y en su utilización, para explicar el mundo físico.

En la enseñanza, si bien su utilización no es una idea nueva, aún existen controversias respecto de su valor didáctico. Entre los argumentos de oposición más frecuentes, encontramos los que las contraponen a los experimentos, destacando la posible generación de confusiones entre lo real y lo virtual que pueden suscitar en los estudiantes. Otras veces, los argumentos favorables destacan que la potencialidad didáctica de las simulaciones reside en reemplazar la experimentación en aquellos casos en que la misma se dificulta, ya sea por la falta de equipamiento, por los tiempos involucrados, etc.

Nuestro enfoque, por otro lado, asume que la simulación tiene un status propio, diferente de la experimentación y que, como tal, juega un papel importante en la enseñanza y el aprendizaje de la Física, en la medida en que las actividades que se promuevan respeten el papel epistémico que las simulaciones juegan en el campo de la ciencia y la tecnología: la construcción, el análisis y la validación de modelos (Utges et al. 2003). No se trata, por tanto de sustituir la actividad experimental o de resolución de problemas con lápiz y papel, sino de incorporar las simulaciones clarificando el papel que las mismas deben desarrollar.

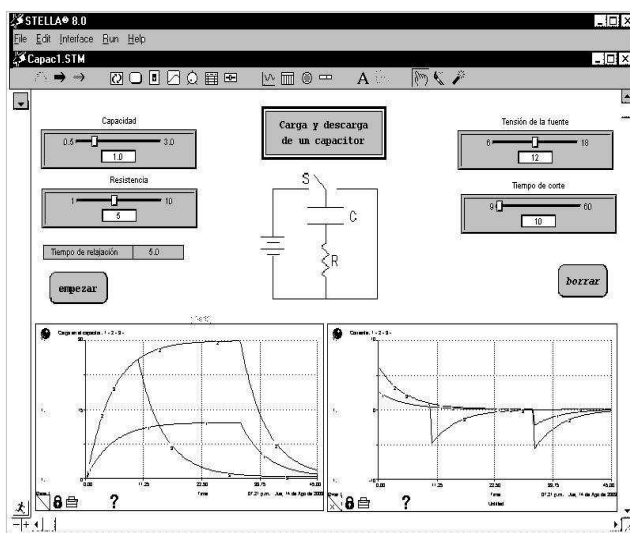
En los puntos que siguen, explicitaremos nuestra propuesta a través de varios ejemplos, que no pretenden establecer determinadas actividades, sino sugerir alternativas de utilización de las

simulaciones que contribuyan al desarrollo de las capacidades de modelización, así como a la comprensión conceptual de modelos de la Física.

#### *Esclarecimiento y dominio de los modelos*

Las simulaciones pueden colaborar a esclarecer diversos aspectos de los modelos confiriéndoles una potencialidad explicativa difícil de alcanzar a través de otros recursos.

Así, pueden explicitarse las consecuencias de una ley física explorando las predicciones que permite hacer el modelo, analizando sus límites, observando la incidencia de las variables que se consideran relevantes o variando las condiciones iniciales, ya que pueden manipularse parámetros y situaciones en forma simple. (Fig. 1)

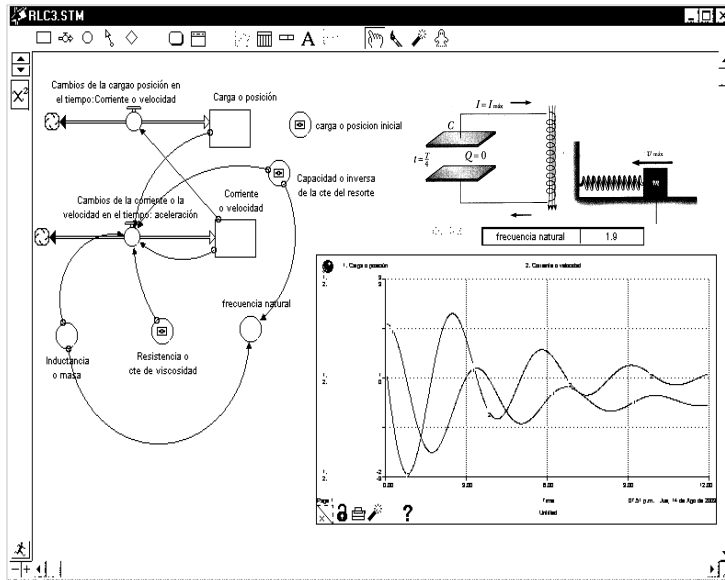


*Figura 1. Carga y descarga de un capacitor en un circuito RC para distintas relaciones entre el tiempos de relajación y tiempo de corte, que pueden obtenerse variando diferentes parámetros. (STELLA)*

Las simulaciones permiten además, la observación de casos inesperados como los de sistemas que obedecen a modelos caóticos en los que una perturbación infinitesimal en las condiciones iniciales se traduce en un comportamiento totalmente diferente, o aquellos casos en que no se tuvieron en cuenta variables que eran realmente relevantes.

Desde otro punto de vista, el tratamiento de situaciones múltiples, permite a los alumnos más avanzados poner de manifiesto cómo un mismo modelo es capaz de describir fenómenos de diferentes áreas de la física. Así, por ejemplo, en la simulación de un problema de oscilaciones amortiguadas en STELLA, pueden mostrarse analogías entre sistemas mecánicos

y eléctricos regidos por las mismas ecuaciones diferenciales. (Fig.2)



**Analogía:**

q	x
$I = dq/dt$	$v = dx/dt$
L	m
1/C	k
$E_{pot\_eléctrica} = 1/2(q^2/C)$	$E_{pot\_elástica} = 1/2kx^2$
$E_L = 1/2LI^2$	$E_c = 1/2mv^2$
$\omega = \sqrt{1/LC}$	$\omega = \sqrt{k/m}$
frec. de la oscilación	frec. de la oscilación

Figura 2. Resolución de dos situaciones físicas diferentes mediante un mismo modelo: un circuito RLC y un sistema masa resorte con rozamiento (STELLA)

Las simulaciones también permiten establecer correspondencias entre distintos modos de representación de un mismo fenómeno a través de registros semióticos diversos (representaciones estáticas y animadas, curvas y gráficos, las tablas de va-

valores, formalismo matemático, imágenes fotográficas o films), posibilitando visualizar el modelo desde distintas perspectivas y favorecer una comprensión más completa del mismo.

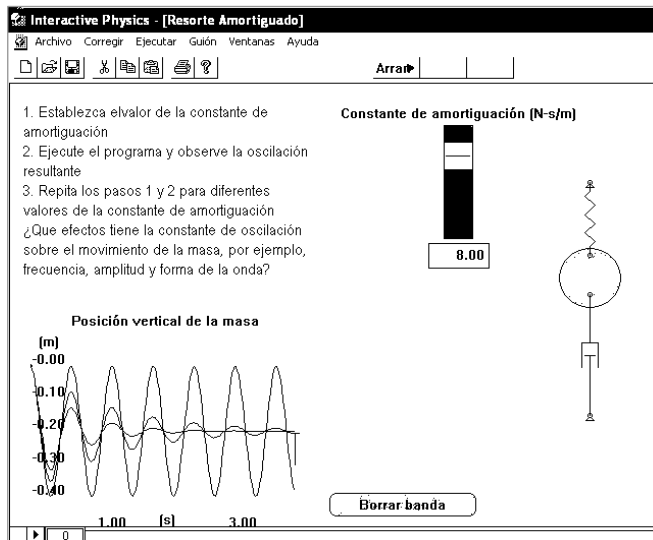


Figura 3 Sistema masa resorte con amortiguación variable y su representación temporal para distintos valores de amortiguación (Interactive Physics)

Así, por ejemplo, Interactive Physics permite disponer de una representación simbólica de un evento a través de imágenes que representan masas y resortes en movimiento, a la vez que pueden registrarse valores de posición, tiempo y otras

variables a elección en una tabla, o visualizar gráficas que representan el comportamiento temporal (Fig. 3), incluso representaciones del proceso en el espacio de las fases (Fig. 4).

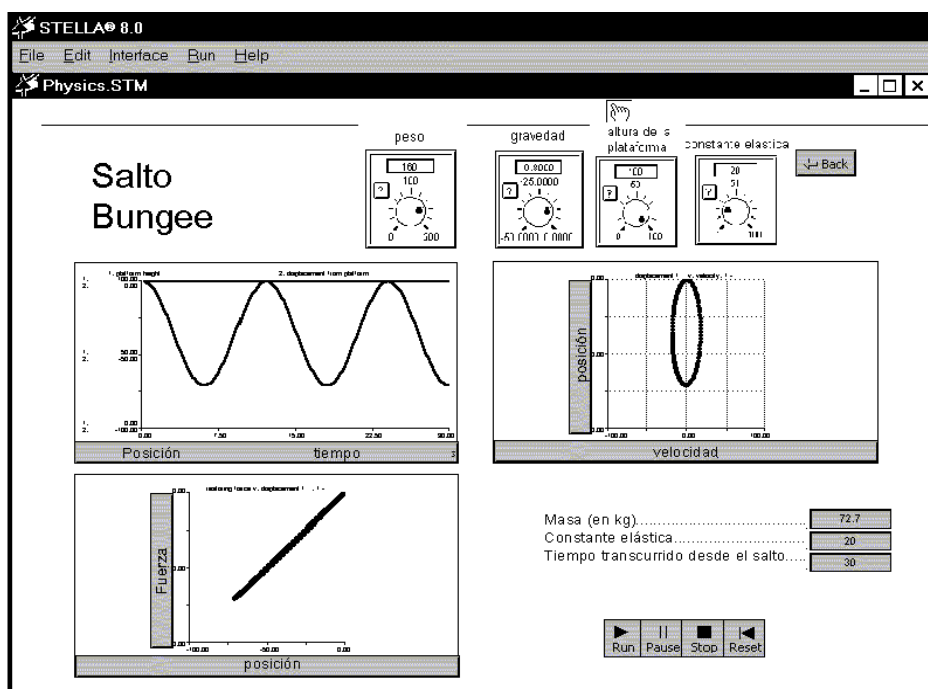


Figura.4: Diferentes registros semióticos en la simulación de un salto Bungee en STELLA

### Plausibilidad de los modelos

Otra alternativa de aplicación de las simulaciones es su uso, incluso al inicio del dictado de un tema, para otorgar plausibilidad a las leyes o a los fenómenos puestos en juego. Esto permite mostrar algunos comportamientos aún antes del desarrollo teórico, introduciendo, por ejemplo, modelos puente o análogos. Ejemplo de esto es el uso de una fila de masas y resortes como análogo de la cuerda para estudiar la propagación de la onda o las partículas encerradas en una caja en colisión contra las paredes para mostrar el origen de la presión de los gases.

### Los problemas abiertos

Una importante corriente en la enseñanza de la Física considera a los problemas abiertos como una alternativa que, por su riqueza al realizar análisis cualitativos y la posibilidad de incorporar variaciones a la situación, permiten superar las limitaciones de los simples ejercicios (Gil y Martínez Torregrosa, 1987; Ramírez, Gil y Martínez Torregrosa, 1994). Para esta corriente, las simulaciones pueden convertirse en un auxiliar útil ya que permiten que los docentes planteen situaciones abiertas para que los alumnos, por medio de análisis cualitativos y la incorporación de opciones

alternativas, evalúen los resultados que brinda la simulación (Fig. 5) esperados en comparación con los 5)

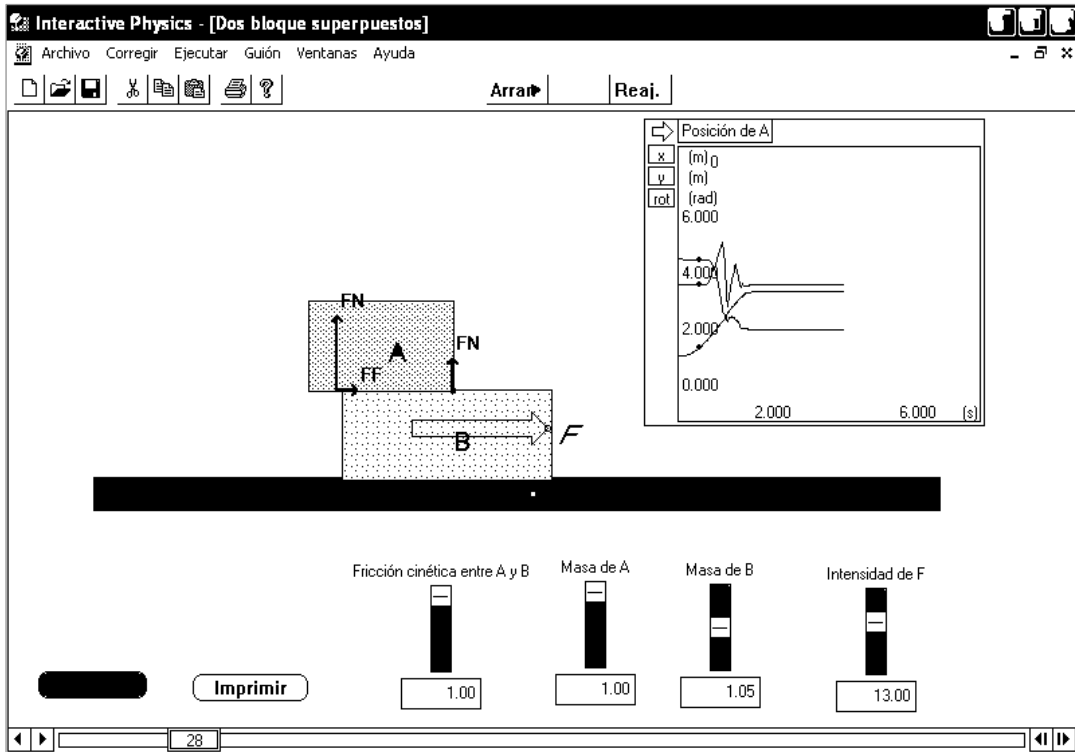


Figura. 5 Sistema de dos bloques con roce entre ellos y masa variable a los que se les aplica una fuerza, también variable. El gráfico representa la posición del bloque superior en el tiempo. Esta configuración abierta permite que los alumnos anticipen comportamientos del sistema y los comprueben inmediatamente. Admite el avance o retroceso paso a paso. (Interactive Physics)

### Las simulaciones como complemento de la actividad experimental

Si bien la realización de experimentos por parte de los alumnos es insustituible, también es cierto que la implementación en el aula de algunos de ellos puede ser muy dificultosa; razones de costo, seguridad y tiempo. El costo aparece en el caso del ciclotrón o del espectrómetro de masas, por ejemplo, en que el equipamiento es inaccesible al ámbito educativo (Fig.6). Las razones de seguridad, surgen cuando el material con que es necesario operar es potencialmente peligroso (material radiactivo, explosivo o corrosivo). Las de tiempo, se presentan cuando el lapso en que sucede el fenómeno

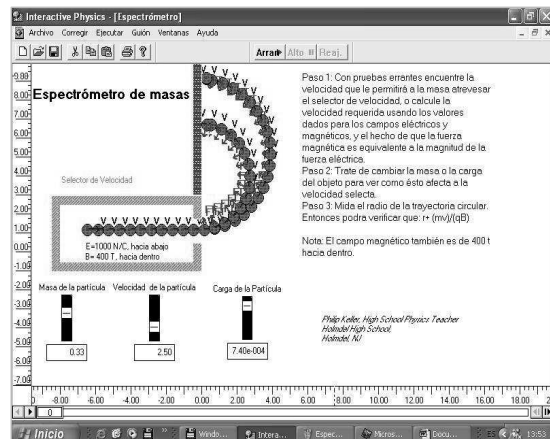


Figura 6. Simulación de un espectrómetro de masas donde se puede modificar la masa, la carga y la velocidad de la partícula y posteriormente medir el radio de la trayectoria. (Interactive Physics)

es muy corto (la expansión de los gases, el ciclo de los motores a explosión), o bien muy largo (los fenómenos geológicos, y los movimientos planetarios).

También resultan invaluableles cuando el fenómeno no es visible, como los transitorios en circuitos con bobinas y capacitores donde el uso de transductores y osciloscopios como mediadores entre el fenómeno y la observación, no favorece la concentración de los alumnos en las características principales del experimento, particularmente en los primeros cursos de Física.

#### *Generalización de base empírica*

Hay circunstancias en las que la realización del experimento real, aunque no sea de equipamiento costoso requiere un tiempo tal que hace imposible realizar un número grande de mediciones en distintas condiciones para obtener una ley empírica convincente. En este caso el experimento simulado permite obtener el número de resultados necesarios para su posterior tratamiento matemático, dejando más tiempo para la discusión y análisis de los resultados. Por otra parte, la realización de experimentos simulados tiene la ventaja que el sistema registra automáticamente los valores de las variables involucradas. Así, la siempre difícil medición de tiempos en un experimento de caída libre o de plano inclinado se ve facilitada en la simulación experimental.

Simultáneamente, el uso del movimiento “paso a paso” permite analizar con sumo cuidado el comportamiento simulado de los objetos. Esto permite observar la llegada a la velocidad límite en el desplazamiento de un cuerpo en un medio viscoso o el paso del deslizamiento a la rodadura. Pero esta no es la única utilidad, también brinda la posibilidad de retroceder en el tiempo para analizar el origen causal de un fenómeno o diferencias de

comportamiento en relación con los cambios de los parámetros.

#### **El uso de las simulaciones en el aula: actitudes y dificultades de los profesores**

Como dijimos en la introducción, nos interesa describir el proceso que transitan los profesores cuando deciden incorporar simulaciones en su enseñanza, los criterios adoptados para la elección de las mismas, el rol que les asignan, las dificultades con que se encuentran y sus reacciones.

Desde el Taller de Investigación en Didáctica de las Ciencias y la Tecnología (TIDCyT) trabajamos en un proyecto que procuró dar respuestas a estas cuestiones, considerando el pensamiento y práctica de los profesores. Siguiendo a Clark y Yinger (1988), definimos nuestra tarea como investigadores tratando de aprender tanto como nos fuera posible sobre la actividad desarrollada desde la perspectiva del profesor, integrándolo de manera plena en el grupo de trabajo. Pensamos y trabajamos junto a los profesores y avanzamos junto a ellos en el análisis de la experiencia insertándolos completamente en la investigación. Consideramos las intenciones, actitudes y decisiones en la selección, adaptación y aplicación de simulaciones, la manera como las insertan en la currícula, las actividades en clase, su visión sobre los resultados obtenidos, conjugando el análisis de los materiales con las dificultades que enfrentan.

Nos concentramos en un número reducido de casos, no procurando generalizaciones, sino una comprensión en profundidad. La experiencia inicial involucró a cinco profesores que aceptaron compartir y analizar el proceso de implementación de una simulación en sus clases de física. Los profesores seleccionaron el tema y la simulación, planificaron la enseñanza, desarrollaron sus clases y evaluaron el aprendizaje. Nos



reunimos con ellos en las diferentes etapas, registrando sus producciones, observaciones y comentarios. Mantuvimos también encuentros con grupos reducidos de alumnos, para recoger sus puntos de vista. Los registros consistieron en transcripciones de entrevistas, notas de reuniones conjuntas, observaciones de clases, y copias de trabajos escritos y evaluaciones.

El proceso reconoció dos momentos. Uno, centrado en el desarrollo de la experiencia y el registro de actuaciones, perspectivas e intenciones de los actores, y otro, retomando lo actuado con el profesor, para su análisis y resignificación. Cada experiencia fue enfocada como estudio de caso (Stake, 1995), orientado a la interpretación de situaciones y construcción de hipótesis explicativas. El análisis se centró en los siguientes aspectos:

- Perspectivas del profesor: rol conferido a las simulaciones; intenciones que guiaron la selección; expectativas sobre a su potencialidad; impresiones de la experiencia.
- Coherencia: entre los objetivos propuestos y la implementación realizada
- Flexibilidad: para adaptar la currícula en cuanto a tiempos, temas, metodología
- Cambios: en su práctica; en sus perspectivas
- Factores que facilitaron o dificultaron la experiencia.

Debido a la extensión disponible, nos limitamos a presentar aquí, un resumen de las principales características de las modalidades de implementación elegidas por cinco docentes interesados en introducir simulaciones en sus clases y, a continuación a manera de ilustración; el caso de uno de los profesores, Ramiro (los nombres son ficticios).

	Caso 1: Ramiro	Caso 2: María	Caso 3: Alicia	Caso 4: Roberto	Caso 5: Franco
NIVEL	Polimodal	Polimodal	Capacitación de profesores	Universitario	Universitario
CURSO	30 alumnos	20 alumnos	20 profesores	200 alumnos, 8 comisiones	30 alumnos
TEMA	oscilaciones mecánicas	caída libre en aire	efecto fotoeléctrico	campo eléctrico	entropía
RECURSO UTILIZADO	Applet: Damped Oscillator. W. Bauer	Software: Interactive Physic. poggia.IP; nebbia.IP IMOFI	Applet: Efecto Fotoeléctrico Curso Interactivo de Física Angel Franco	Software: Poisson - CUPs, Consortium for Upper Level Physics Software	Aplets: varios. Software: Interactive Physic desarrollo propio
MODO DE INSERCIÓN	trabajo práctico	unidad didáctica	trabajo práctico	trabajo práctico	trabajo práctico
TIEMPO ASIGNADO	una semana	dos semanas	dos clases	una clase	una clase / una semana
MODALIDAD	interactiva	---	Interactiva / demostrativa	interactiva	demostrativa / interactiva
LUGAR DE TRABAJO	tarea para la casa	no implementado	laboratorio / tarea para la casa	laboratorio	clase / tarea para la casa

### Síntesis de la experiencia con profesores

Ramiro deseaba incorporar una simulación para complementar la enseñanza de oscilaciones mecánicas y potenciar el interés de los alumnos. Tras una búsqueda en Internet, seleccionó un applet que se ajustaba a sus propósitos, aunque no cubría totalmente sus pretensiones. Elaboró una guía de actividades, que integró en una página web junto a la simulación y entregó a los alumnos en un CD. Las dificultades para contar con computadoras en el ámbito de la clase, lo decidieron a programar la actividad como tarea para que los alumnos trabajaran en casa. Si bien se mostró inicialmente optimista por el interés despertado en los alumnos, la evaluación lo dejó perplejo. No detectó mejoras significativas y, en algunos aspectos, observó resultados peores que en otro curso, donde no había utilizado la simulación.

En otro de los casos trabajados, Alicia estaba a cargo de un curso de capacitación de profesores y quería poner en evidencia el carácter discreto de la radiación. Le interesó un applet sobre efecto fotoeléctrico hallado en Internet: representaba bastante bien el experimento real, permitía variar parámetros, construir gráficas e inferir las conclusiones esperadas. Rediseñó la guía que acompañaba al applet para adaptarla a su objetivo, pues le pareció muy dirigida, y organizó la actividad para una única clase. Los participantes leerían la guía, realizarían la experiencia y discutirían resultados. Pero los profesores, en lugar de seguir la guía, iniciaron el trabajo en forma lúdica, activando botones al azar sin controlar variables. El tiempo estimado no fue suficiente y las gráficas quedaron como tarea. La puesta en común, importante para Alicia, no pudo realizarse.

Dedicó a ella parte de la clase siguiente: proyectando la simulación en una pantalla, centró la atención en casos críticos, favoreciendo la discusión y comparación de resultados.

María disponía de un software de modelización y quería utilizarlo para que sus alumnos *contrastaran* el movimiento de caída de un cuerpo con las gráficas respectivas. Comenzó a ensayar simulaciones ya construidas, y encontró que, en una de ellas, en lugar del crecimiento lineal que esperaba, la velocidad se mantenía constante, a excepción de un breve tiempo al comienzo de la caída. Le hicimos notar que no estaba considerando el rozamiento viscoso del aire y su reacción inicial fue de trastorno y confusión. No tenía bien presente el análisis del movimiento en esas condiciones y dudó sobre la conveniencia de avanzar más allá de la caída en vacío. La cuestión sin embargo despertó su interés y consideró bueno trabajar una situación *más realista*, aunque necesitaba *reparar* el tema y cambiar su esquema inicial de trabajo. Quería también mejorar la simulación, para que el fenómeno *se viera mejor*. Todo eso le llevó mucho tiempo y su curso debía avanzar con otros temas, por lo que, a pesar de completar el diseño de dos simulaciones, dejó la implementación para otra oportunidad.

En la asignatura que Roberto coordina, los alumnos asisten todas las semanas al laboratorio, que cuenta con computadoras. La institución en que trabaja dispone de un paquete de simulaciones que consideró de *muy buen nivel*, y que no se estaban utilizando. Una de ellas, permitía representar el campo eléctrico y el potencial de configuraciones de cargas puntuales o conductores, y a Roberto le pareció apropiada para sus alumnos. Acordó con el resto de los docentes instalarla en las computadoras disponibles en el laboratorio y sumar la actividad a las

prácticas experimentales ya programadas. En el tema campo eléctrico, los estudiantes venían utilizando una bandeja electrostática para construir experimentalmente configuraciones de campo y potencial de conductores. Los docentes decidieron *insertar* la simulación en la clase en que se realizaba esa práctica y simular con el programa el mismo dispositivo que los alumnos experimentaban con la bandeja electrostática. La implementación se convirtió en algo mecánico que los alumnos realizaban en sus casas, sin discusión posterior y que simplemente reproducía resultados que podían obtenerse experimentalmente.

Franco estaba interesado en que ver si las simulaciones podían mejorar la comprensión de la interpretación microscópica de la entropía en estudiantes universitarios de un curso de Termodinámica. Dedicó mucho tiempo a seleccionar las simulaciones que consideró adecuadas. Las clases para ese semestre ya estaban organizadas y el cronograma de exámenes impedía a los profesores apartarse de la programación prevista. Preparó la actividad para que los alumnos pudieran realizarla libremente en la sala de informática o en sus propias computadoras, y acordó con ellos un horario especial, para mostrarles las simulaciones e indicarles qué debían hacer.

### **La experiencia con Ramiro**

Ramiro se desempeña como profesor de Física en diferentes instituciones. En una de ellas debía desarrollar oscilaciones mecánicas, en dos cursos paralelos. Su programación original incluía cuatro clases teórico - prácticas de dos horas cada una y las actividades prácticas consistían básicamente en resolución de problemas de lápiz y papel. No se contemplaba

actividad experimental, aunque sí una experiencia demostrativa, en la que se podía observar una pesa sujeta a un resorte oscilando verticalmente. Los alumnos disponían de un cuadernillo, elaborado por la cátedra, que incluía contenidos teóricos y enunciados de problemas.

El cuadernillo presenta la dinámica y la cinemática del movimiento armónico simple a partir de la solución de un sistema masa resorte no amortiguado, hace especial referencia a la característica variable de la fuerza elástica, a la incidencia de la masa del bloque y de la constante elástica del resorte en la frecuencia de oscilación del sistema, analiza gráficas de posición, velocidad y aceleración en función del tiempo, discute las energías puestas en juego y destaca la conservación de la energía total. Se describen, además, sólo en forma cualitativa, las características de los movimientos armónicos amortiguados.

El profesor pensó que una simulación podría “complementar” la enseñanza de estos temas y decidió probar alguna actividad que “potenciara el interés” de los alumnos, la cual sería insertada como un trabajo práctico en el contexto de su programación. Las dificultades para contar con computadoras en el ámbito de la clase, lo llevaron a decidir la modalidad de trabajo adoptada: entregaría la simulación en un CD para que los alumnos trabajaran con ella en sus casas.

Ramiro emprendió la búsqueda de una simulación adecuada a su criterio. Inicialmente, se planteó diseñarla él mismo, utilizando el programa Interactive Physics que permitía observar, de modo dinámico, las gráficas de posición, velocidad, aceleración, energías pero tomó conciencia que los alumnos no disponían del software necesario para ejecutarla, por lo que decidió cambiar su orientación inicial. Realizó entonces una intensa búsqueda en Internet de algún applet de uso libre, apropiado a sus propósitos.

Entre los applets “recorridos”, algunos pertenecen a autores ampliamente difundidos en la red, como los de Angel Franco, Walter Fendt y Fu-Kwun Hwang. Se decidió finalmente por el que se presenta en Anexo I.

El applet elegido muestra una masa suspendida de un resorte, que oscila cuando se inicia la acción. A su derecha, un gráfico despliega la posición en función del tiempo a medida que la masa se va desplazando. La simulación permite variar la masa, la constante del resorte y la constante de amortiguamiento y la gráfica permite superponer las curvas de distintas situaciones. Tres aspectos fueron para Ramiro significativos en la elección realizada:

- El applet muestra simultáneamente el movimiento del sistema bloque resorte y la gráfica  $x(t)$ . Según Ramiro, era importante que los alumnos pudieran asociar adecuadamente la trayectoria del bloque y la representación de la posición en el tiempo.
- Se puede variar tanto la constante del resorte  $k$ , como la masa  $m$ . Los alumnos podrían observar cómo incidían esas variaciones en el comportamiento del sistema.
- Se puede variar el coeficiente de amortiguamiento. Ramiro comentó que le interesaba que los estudiantes vieran que, en una oscilación amortiguada, la amplitud iba decreciendo, pero que el período se mantenía.

El profesor elaboró, además, una guía de actividades para orientar el trabajo con la simulación, que integró al applet en una página web entregada en el CD.

Interesado por analizar en qué medida la simulación colaboraba en el aprendizaje, decidió trabajar de manera diferente en los dos cursos en los que desarrollaba el tema: incorporaría la nueva actividad en uno de ellos y continuaría con su planificación original en el otro. Considerando que el trabajo práctico con la simulación sumaba

una actividad en un grupo, agregó un trabajo práctico extra en el otro (tres problemas de lápiz y papel que debían entregarse resueltos). Los alumnos dispusieron de una semana para realizar su trabajo, que entregaron antes de la evaluación prevista: una prueba escrita, idéntica para ambos.

Las primeras observaciones de Ramiro sobre las presentaciones de los alumnos fueron reconfortantes: las respuestas de las actividades propuestas con la simulación se mostraban “correctas” y los comentarios de muchos alumnos respecto de lo novedoso del sistema parecían augurar resultados promisorios. Sin embargo, la evaluación mostró un mejor rendimiento en los alumnos que habían trabajado sólo con problemas de lápiz y papel. Esto dejó perplejo al profesor que propuso a nuestro grupo discutir “qué había sucedido”.

#### *Acompañando al profesor en una reflexión sobre lo actuado*

Dedicamos varios encuentros a analizar la experiencia junto a Ramiro. Se acordó revisar en forma crítica todo el proceso, así como cada herramienta utilizada - la simulación, la guía de trabajo que la acompañaba, la evaluación - considerando en cada caso las motivaciones y criterios personales puestos en juego en la elaboración y los resultados obtenidos.

En relación a sus motivaciones para la selección de la simulación, Ramiro comentó, en primer lugar, las cosas que desde su perspectiva, podían “hacerse” con el applet seleccionado: “...si aumentás la constante del resorte o disminuís la masa, el movimiento del resorte se hace más rápido y la gráfica te muestra un aumento en la frecuencia de la oscilación. Al disminuir la constante elástica o aumentar la masa, pasa lo contrario,..., el movimiento del resorte se vuelve más lento y la gráfica muestra una curva más suave... de frecuencia menor... [también]...”

*podés jugar con los valores de la constante del resorte y de la masa y encontrar gráficamente el amortiguamiento crítico”*

El profesor mencionó, sin embargo, que la simulación, aunque estéticamente bien resuelta, presentaba limitaciones:

- no tenía un mecanismo de "paso a paso" para observar en detalle cómo evolucionan las variables a medida que el sistema se desplaza, o parar la secuencia en alguna situación especial
- se restringía a presentar la gráfica de la posición en el tiempo, no mostrando velocidad, aceleración o energías
- no permitía variar la amplitud o la fase inicial.

Destacó que ese applet fue, en realidad, el que “más lo convenció”, aunque ninguno de los que había visto le había parecido suficientemente adecuado. Describió su tránsito por los diferentes applets, manifestando que algunos eran muy limitados y otros ni siquiera eran “agradables estéticamente”.

Uno de los comentarios de Ramiro llamó nuestra atención y suscitó una interesante discusión posterior: “... *el que se pueda modificar b (constante de amortiguamiento) es interesante, porque los chicos pueden ver que si modificás la constante de amortiguamiento sin variar k ni la masa, no cambia el período.*” Este planteo es incorrecto, habida cuenta de que la frecuencia de una oscilación amortiguada depende de la constante de amortiguamiento.

Le solicitamos que intentara comprobar su hipótesis a través de la simulación. Ramiro fue variando la constante de amortiguamiento manteniendo k y m constantes. En principio, los casos ensayados por él parecían confirmar su creencia. Sin embargo, esto se debía a que la escala de la gráfica hacía imperceptibles las pequeñas diferencias en el período. Le sugerimos entonces que experimentara con

otros valores de los parámetros, para los cuales el fenómeno se observaba de manera indiscutible. Esto sorprendió a Ramiro, aunque rápidamente pudo retomar el análisis teórico del tema, que “tenía olvidado”. Comentó al respecto: “...*es que con los chicos sólo vemos el amortiguado de modo cualitativo, de manera que no lo tenía muy presente...*”

Concentrándonos luego en la guía de trabajo, le preguntamos cuáles habían sido los criterios para su elaboración. El profesor comentó: “...*Bueno, la guía...yo armé la guía porque no me parecía serio entregarles el applet sin más, para que trabajaran solos...Más que nada yo quería que trabajaran con el applet, que probaran diferentes situaciones, que vieran qué pasaba con el sistema....la guía era más bien una excusa para eso...*”

Comenzamos entonces a analizar las actividades propuestas (Anexo II), enfocando diferentes cuestiones: en qué medida reflejaban realmente sus intenciones, que tipo de interacción con el applet propiciaban, en qué aspectos del tema trabajado centraban la atención. Un primer aspecto que surgió en el análisis de la guía fue que su enfoque se asemejaba al de los problemas tradicionales cerrados de lápiz y papel, orientando la actividad de los alumnos más hacia el cálculo que hacia la interacción con la simulación. En efecto, el ítem (a) pedía determinar los valores de k y m que hacen máximos y mínimos la velocidad y aceleración, y medir, a partir de las gráficas de posición de esas situaciones, los períodos correspondientes. A continuación se solicitaba comparar los valores medidos con los "calculados" para esos casos límites. Como ni la velocidad ni la aceleración se observan directamente en el applet, los alumnos recurrieron a las expresiones matemáticas correspondientes [ $v(t) = \omega A \sin \omega t$ ;  $a(t) = -\omega^2 A \cos \omega t$ ;  $\omega^2 = k/m$ ] y dedujeron de ellas que los máximos de velocidad y aceleración

corresponden a la situación de mayor constante elástica y menor masa. Recién allí interactuaron con la simulación, buscaron los valores máximo de  $k$  y mínimo de  $m$  que ofrecía el applet y recién en ese momento observaron el proceso para medir el período. Algo similar ocurrió con el cálculo de la energía requerido en ítem (b). La simulación no aportaba en este caso a la comprensión del modelo físico. Al revisar los enunciados con más detenimiento, Ramiro comentó que los veía como “...*simples problemas de lápiz y papel disfrazados*”. Las actividades propuestas no motivaron la experimentación sobre el modelo, pero este hecho no fue evidente para el profesor en el momento de confeccionar la guía.

Es interesante destacar, que durante el análisis conjunto, la atención del profesor se centró inicialmente en las limitaciones de la simulación. Ramiro insistió, por ejemplo, en la imposibilidad de visualizar velocidades, aceleraciones y energías, aspectos que consideraba importante que los alumnos “vieran”. Eso le impedía advertir otros aspectos que ofrecía la simulación y que podrían haberse explotado en mayor profundidad. Propiciamos una mayor interacción con la simulación, dedicando uno de nuestros encuentros a trabajar nuevamente con ella. De ese tiempo de experimentación adicional surgieron diferentes alternativas de trabajo que podían haber constituido tópicos trabajados en la guía: discutir, por ejemplo, cómo repercute en el período usar distintas masas con un mismo resorte (constante elástica constante), o cómo cambia el período al sujetar una misma masa a resortes de diferente constante elástica, en sistemas sin amortiguamiento. En casos con amortiguamiento, la experimentación sobre el modelo hubiera permitido analizar el comportamiento de esos sistemas, que no habían sido incluidos en detalle en la programación inicial por ser de mayor complejidad.

Variando  $k$ ,  $m$  y  $b$  apropiadamente, podrían haberse puesto de manifiesto situaciones con comportamiento sobre-amortiguado, crítico y sub-amortiguado, y, en este último caso, haberse observado la incidencia de variables en el período y la amplitud.

Un aspecto del trabajo con la simulación poco tenido en cuenta por el profesor, fue su potencialidad para la construcción conceptual, poniendo, por ejemplo, en evidencia concepciones alternativas o generando conflictos conceptuales. Observamos, por ejemplo una asociación de la velocidad con la “rapidez” con que veían moverse la masa (noción más asociada a la frecuencia) en la que la velocidad instantánea prácticamente no era considerada. En relación con la energía, notamos dificultades de los estudiantes en aceptar que la energía total no dependiera de la frecuencia: para los alumnos, un sistema más “rápido” (es decir, de mayor frecuencia), necesariamente debía tener más energía total. Aparecía así, un conflicto entre su visión espontánea y lo que las “ecuaciones del cuadernillo” les indicaban. Notoriamente, la autoridad del cuadernillo primó en la respuesta escrita que presentaron.

Ramiro no había participado de nuestros encuentros con los alumnos, y sólo supo de estas situaciones a partir de nuestros comentarios. Si bien no desconocía la incidencia que las concepciones espontáneas pueden tener en el aprendizaje, sencillamente no habían sido consideradas en su programación. Para él, el concepto de velocidad era algo “ya dado” previamente y que los alumnos debían conocer adecuadamente. Las oscilaciones mecánicas eran simplemente una “extensión” de la mecánica ya aprendida, donde aparecía una fuerza especial, proporcional a la posición, que generaba un movimiento particular, de tipo armónico. La frecuencia asociada, y su

dependencia de  $k$  y  $m$ , “surgían de las ecuaciones”. El profesor comenzó a valorar la necesidad de alguna instancia de puesta en común para posibilitar la emergencia de concepciones espontáneas y la discusión de esas cuestiones.

El análisis de la guía mostró, además que el ítem (c) indujo en los alumnos una concepción errónea. El mismo solicitaba observar el período de las oscilaciones en situaciones de amortiguamiento. La redacción del ítem era adecuada, y no hacía ninguna aseveración sobre su constancia o no, de manera que los alumnos podrían haber encontrado en la experimentación del modelo, las variaciones del período que ya comentamos. Sin embargo, un aspecto del enunciado fue crucial para explicar que las respuestas de los estudiantes, sin excepción, se inclinaron por la constancia. La guía solicitaba que se ajustaran los parámetros de modo de ver en la pantalla “al menos dos períodos completos”. En esas condiciones, dada la resolución y escala de la gráfica, las variaciones a que nos referimos eran imperceptibles. En realidad, la constancia del período era, como ya comentamos, la concepción espontánea de Ramiro, de modo que en su análisis preliminar, las respuestas de los estudiantes habían sido consideradas “correctas” y este hecho había pasado desapercibido.

El tercer aspecto que trabajamos junto a Ramiro fue el análisis de la evaluación que implementó. Todo el trabajo anterior realizado facilitó una rápida percepción de la escasa relación que existía entre ella y la actividad desarrollada en torno a la simulación. Como puede observarse en la misma (Anexo 2), la evaluación partía de una gráfica de la posición, velocidad y aceleración de un movimiento armónico simple. A partir de ella se pedía determinar diferentes parámetros del movimiento. Todo lo solicitado había sido tratado durante el curso, aunque no

específicamente a través de la simulación. En particular, aspectos como la fase inicial del movimiento armónico o los factores que determinan la amplitud, fueron objeto de los problemas adicionales que resolvieron los alumnos que no utilizaron la simulación y son los que determinaron básicamente el mejor desempeño en la prueba alcanzada por ese grupo.

### **Comentarios. Aspectos comunes y diferencias**

La selección de simulaciones por cada profesor fue guiada por motivaciones precisas y diversas. Ramiro quería interesar a sus alumnos y, como María, favorecer la correlación entre la observación de un movimiento y la representación gráfica de variables relevantes. Alicia y Franco apuntaban a la construcción de modelos conceptuales. Roberto quería aprovechar una simulación disponible. Los aspectos estéticos también influyeron. Se valoraba una adecuada presentación de fenómenos y gráficas, una buena distribución de objetos en la pantalla.

La organización de las actividades demandó más tiempo que el esperado. La búsqueda, selección y exploración de las simulaciones para analizar cómo utilizarlas, adaptación del material, puesta a punto de los recursos para implementar la actividad, significaron esfuerzos adicionales fuera de sus tareas acostumbradas.

La disponibilidad de recursos y de tiempo condicionó la modalidad de trabajo adoptada. Ramiro propuso una tarea para el hogar ante dificultades para disponer de la sala de informática en el horario de sus clases y para no modificar sustancialmente el desarrollo tradicional del tema. Alicia debía trasladar el curso a otra sala para realizar la actividad, de modo que la programó en una única clase. La

disponibilidad de máquinas en el ámbito del laboratorio, influyó para que Roberto sumara la simulación a la actividad experimental. Franco diseñó un trabajo práctico complementario, en horario extra, por no contar con computadoras ni poder alterar el cronograma de la cátedra.

La contextualización de la simulación en el conjunto de las clases guardó significativas diferencias, coherentes con el papel atribuido. Alicia, le otorgó un rol central en la construcción del modelo cuántico; Roberto la agregó como una actividad más, sin una función muy definida; Ramiro la ubicó como complemento motivador; Franco como aporte para brindar plausibilidad a un modelo; María postergó la implementación al tropezar con una dificultad inesperada.

El trabajo de los alumnos fue organizado, en general, siguiendo pautas tradicionales. Las guías elaboradas aprovechaban de manera limitada la potencialidad de modelización o construcción conceptual que las simulaciones ofrecían. La preparada por Ramiro ponía más énfasis en la realización de cálculos numéricos y verificación de correspondencia de los mismos con lo que mostraba la simulación. El enfoque de Alicia abordó la simulación como una experiencia de laboratorio, destinada a la verificación de una ley. Franco elaboró instrucciones precisas y guiadas, sin dar lugar a preguntas o cuestiones abiertas. La guía de Roberto, pedía reproducir la configuración de conductores experimentada con una bandeja electrostática real, ensayar algunas otras y justificar lo observado.

No se potenció el uso de la simulación para superar concepciones espontáneas de los estudiantes, a pesar de que se evidenciaron oportunidades concretas (Utges et al, 2004). En la mayoría de los casos la actividad permaneció aislada, sin integrarse adecuadamente al resto de la programación. Cuando fue realizada en

clase, los tiempos resultaron insuficientes. No se tuvo en cuenta el período de familiarización con la simulación y un aspecto soslayado, con excepción de Alicia, fue la puesta en común y discusión posterior.

En reiteradas ocasiones los profesores se mantuvieron distantes del trabajo de los alumnos con la simulación, adoptaron el rol de espectadores, y esperaron que los estudiantes arribaran a las conclusiones que ellos habían previsto. No tuvieron en cuenta posibles bifurcaciones en el camino que los estudiantes podían seguir en sus razonamientos y se sorprendieron cuando las respuestas diferían de sus previsiones.

Observamos, en algunas ocasiones, inseguridades de los profesores relacionadas con el dominio de los temas que trabajaban o con la manera de abordarla con sus alumnos. Eso fue especialmente significativo en el caso de María, pero también Ramiro encontró algunas dificultades vinculadas al análisis de las oscilaciones amortiguadas.

### **Discusión final**

Para atribuir a las simulaciones un nuevo status se requiere todo un proceso de transformación de la práctica educativa que trasciende el sólo hecho de la disponibilidad de recursos informáticos y la buena predisposición de los docentes. Este proceso exige investigaciones de aula que incluyan a los profesores y que permitan explorar, ajustar y validar estrategias, y determinar, qué simulaciones resultan adecuadas para tal fin, cómo debe utilizárselas en el contexto del aula, dónde reside su utilidad específica, qué criterios deben orientar su uso y cuáles son sus aportes cognitivos a la construcción conceptual (Whitelock, 1996; Hisano y Utges, 2001)

La simulación fue interpretada como un instrumento de enseñanza “innovador” y



sin embargo los profesores reprodujeron en su implementación estrategias tradicionales. ¿Por qué sucedió esto? Entendemos que se conjugan dos cuestiones que pueden llevarnos a una interpretación de lo sucedido, y que denominaremos “la ilusión de la interactividad” y “las rutinas del profesor”.

¿A qué nos referimos con la *ilusión de la interactividad*? Existe la idea generalizada de que la simulación es capaz de suscitar un interés que favorece por sí solo la experimentación y la adquisición de conocimientos. Múltiples referencias en la literatura destacan las ventajas de introducir simulaciones en la enseñanza, haciendo referencia a su capacidad interactiva y atribuyéndole valor en sí misma, como fuente y motor de aprendizajes. La actitud de muchos autores respecto del uso de las simulaciones, así como sus planteos sobre cómo pueden ser utilizadas, suele concentrarse en dos aspectos: la importancia de la motivación y el aprendizaje por descubrimiento. El trabajo libre y autónomo de los estudiantes con las simulaciones vincula ambas ideas: por un lado, se plantea que su dinamismo garantiza el entusiasmo e interés de los alumnos, y, por otro, que la propia interacción permite “descubrir” relaciones entre variables, conexiones entre diferentes tipos de representación, etc.

Desde esta perspectiva, la tarea del docente se limita a facilitar a los alumnos el material, y mantenerse prácticamente fuera del proceso. La simulación no se integra al resto de las actividades de enseñanza y aprendizaje, sino que se le asigna un papel adicional, separado de ellas. Como tal, el docente puede continuar trabajando con sus modalidades habituales, sin alterar su ritmo, y programación. En este sentido, por ejemplo, Bohigas et al. (2003), expresan: “*La incorporación de los applets en las clases de física no implica necesariamente*

*un cambio metodológico: la tarea y el papel del profesor no se modifican. Por lo que respecta al alumno, su actitud sí queda modificada: la utilización del ordenador obliga a la creación de grupos de trabajo, situación que provoca la discusión entre los miembros de equipo y la cooperación entre ellos. Otro aspecto positivo es la actitud de los jóvenes ante el ordenador y los programas interactivos, que puede aprovecharse como elemento motivador.*”

La sobrevaloración de la interactividad, generó en Ramiro la expectativa de que cuanto más interactuaran los alumnos con la simulación, mejor sería su aprendizaje. Él estimaba que un tiempo suficiente de “juego” con el applet permitiría establecer adecuadas conexiones entre el dinamismo del movimiento, su representación gráfica y las expresiones algebraicas correspondientes. De allí la intención de que los alumnos dispusieran del material en su casa, para trabajar libremente, sin límites de tiempo y en los momentos que lo consideraran necesario. De allí, también, el valor relativo atribuido a la guía de trabajo, que comentamos oportunamente. Algo similar sucedió con Roberto y Franco, quienes a pesar de su preocupación inicial por mejorar la comprensión de los temas, se limitaron a dar una explicación sobre el funcionamiento de la simulación y se mantuvieron distantes del trabajo de los alumnos.

¿A qué hacemos referencia cuando mencionamos las *rutinas del profesor*? Consideramos las rutinas como conductas estandarizadas o formas habituales de proceder que el profesor utiliza de manera frecuente. Las rutinas son producto de la experiencia e historia de vida del profesor, de su interacción con contextos específicos, de su práctica profesional (Lowyck, 1988). La actividad de enseñanza, como actividad compleja, requiere de múltiples capacidades para la

toma de decisiones en la práctica cotidiana. Si bien muchos autores destacan el carácter racional de la práctica docente, entendiéndola como intencional, consciente y reflexiva, es evidente que, como en toda actividad humana, da lugar también a la generación de costumbres, a la automatización de procedimientos, que se constituyen en “hechos naturales” y se realizan espontáneamente, sin mayor reflexión. Los contextos escolares constituyen ámbitos propicios para el desarrollo de rutinas, ya que más allá de las diferencias entre las diversas instituciones, nos encontramos con prácticas que responden a pautas culturales estandarizadas. La organización escolar impone normas, ritmos y estructuras particulares, y los profesores desarrollan su trabajo en el marco de dichas pautas. Horarios, espacios, relaciones, modalidades de interacción forman parte del escenario complejo en el que los profesores realizan su actividad.

La manera en que Ramiro organiza y desarrolla sus clases de Física está enmarcada en múltiples rutinas. Por un lado, la organización espacio-temporal de sus clases está prácticamente predeterminada y no se pone en cuestionamiento. Los estudiantes están en un aula, a la que Ramiro entra en los horarios prefijados por la organización escolar, para “dar la clase de Física”. El aula tiene una organización tradicional, fija, con el pizarrón adelante, siendo éste y la tiza los únicos elementos prácticamente disponibles. Está también prevista la asistencia a otro ámbito, el del laboratorio, aunque para ello existen pautas precisas, en la medida que involucra a otras personas. Ramiro sabe que todo irá mejor si puede arreglárselas dentro del aula, sin requerir de otros espacios que implicarían negociaciones molestas. En muchas ocasiones, puede incluso, prescindir del laboratorio, llevando algunos elementos al aula, para realizar demostraciones.

Esta misma situación se repitió con pocas variantes en los otros casos analizados: Roberto no modificó su práctica ni su cronograma, simplemente agregó la simulación como una tarea para la casa que no interferiría con la secuencia tradicional prevista de los temas; Alicia preparó una guía de trabajo y no previó que los alumnos se apartarían de la secuencia prevista y preferirían dedicar un tiempo a trabajar en forma lúdica para familiarizarse con el applet, y María, ante la primera dificultad, prefirió no implementar la simulación antes que modificar su rutina.

Por otro lado, en los casos analizados, los profesores coincidían en atribuir a la resolución de problemas un papel fundamental en el aprendizaje. Acuerdan en que los estudiantes deben ser capaces de resolver los problemas “tipo” correspondientes a cada tema, y es eso lo que constituye el eje de las evaluaciones que deben enfrentar. También el laboratorio es considerado importante, priorizándose el desarrollo de capacidades específicas, sobre todo vinculadas al uso de instrumentos, a la medición y la elaboración de informes.

En el marco de estas tradiciones, es fácil comprender que las rutinas de los profesores se orienten hacia una enseñanza tradicional, como se comentaba anteriormente, con mucho énfasis en problemas cerrados y poco espacio para la construcción conceptual. Como expresaba Ramiro, en relación al enfoque dado a la enseñanza de circuitos eléctricos en su escuela, “...lo que se considera importante es que sepan resolverlos...”. Subyace, en el modelo la idea del alumno como “tabula rasa”, y la imagen de que una buena exposición teórica acompañada de una amplia ejercitación en problemas es suficiente para que los alumnos “entiendan” y “asimilen” los conceptos, siempre y cuando, claro está, estudien lo suficiente.

La “ilusión de la interactividad” y las “rutinas del profesor” se refuerzan y retroalimentan en la experiencia vivida por los profesores. Esos dos aspectos contribuyeron a definir un formato de implementación de la innovación que colisionara lo menos posible con las prácticas establecidas y en el que la simulación fue simplemente “agregada” a la planificación original como una extensión de la práctica habitual, sin poner en cuestionamiento el modelo pedagógico-didáctico sustentado por el profesor.

En secciones anteriores, destacábamos la necesidad de superar el carácter simplemente operativo de las simulaciones y de conferirles un rol activo en la construcción del conocimiento, que considere, no sólo al alumno, sino también, al profesor como gestor de la interacción. Reivindicamos, en ese sentido, una perspectiva que abandone los enfoques «tecnicistas», que se limitan al desarrollo de nuevas herramientas, sin analizar su aporte específico a la enseñanza ni la efectiva incorporación por parte de docentes y estudiantes. Como afirma Beaufils (2000), la especificidad de las simulaciones debe interpretarse fundamentalmente en el plano de la modelización y la experimentación sobre el modelo. Los casos analizados mostraron la gran distancia que existe entre estas pretensiones y la efectiva utilización de las simulaciones en la práctica docente. La construcción de nuevos conceptos, el descubrimiento e interpretación de situaciones inesperadas, la extensión del modelo en condiciones no contempladas previamente en la teoría, la simulación como instrumento generador de conflictos cognitivos o para poner en evidencia

concepciones alternativas, simplemente estuvieron escasamente presentes en las intenciones de los profesores.

La utilización de las simulaciones en los términos antes mencionados implica una verdadera transformación la práctica educativa que está lejos de ser trivial ya que implica dar a las simulaciones un status que trasciende el de mero complemento de otras actividades típicas, como la resolución de problemas de lápiz y papel o los trabajos de laboratorio lo cual, además, como hemos estado viendo, colisiona fuertemente con rutinas sólidamente establecidas.

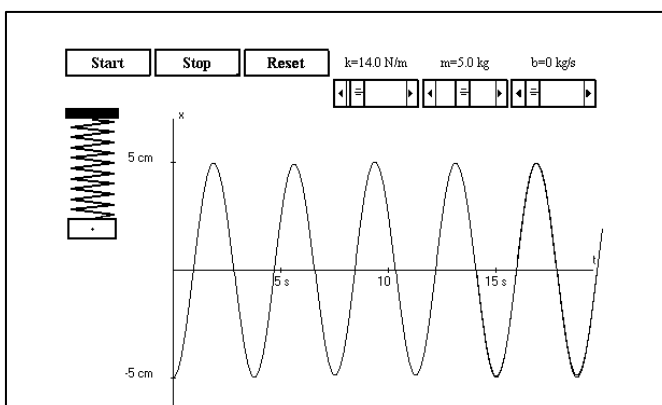
Las “rutinas del profesor” y “la ilusión de interactividad” son aspectos que se manifestaron en los casos analizados. Sin embargo, el análisis de otras experiencias, sugieren que no son los únicos obstáculos que deben sortearse en el camino de convertir las simulaciones en una práctica habitual y efectiva. El uso de las simulaciones en el aula abre un campo de investigación en el que la didáctica no puede estar ausente si se pretende hacer de las mismas una herramienta útil para la construcción conceptual. Asimismo, debe tenerse en cuenta que el éxito de su uso dependerá, además, de que puedan generarse condiciones efectivas para la utilización de dichas herramientas por parte de docentes y estudiantes en diferentes niveles educativos. El diseño, evaluación, y ajuste de módulos didácticos que integren las herramientas analizadas para su utilización en la enseñanza de contenidos específicos en diferentes niveles de escolaridad constituye una de las tareas pendientes para el investigador con interés en esta área.

## Referencias

- Beaufils, D., (2000), Utilisation de logiciels de simulation comme aide à la consolidation des connaissances en physique. <http://formation.etud.u-psud.fr/didasco/RapSimIufm/Accueil.htm>
- Bohigas, X.; Jaén, X.; Novell, M. (2003), Applets en la Enseñanza de la Física, *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (5) pp.463-472.
- Carr, W.; Kemmis, S., (1998), *Teoría crítica de la enseñanza. La investigación en la formación del profesorado*. Barcelona, Ed. Martínez Roca.
- Clark, C. M., Yinger, R., (1988), El uso de documentos personales en el estudio del pensamiento del profesor. En L. M. Villar Angulo (Director) *Conocimiento, creencias y teorías de los profesores*. España, Ed. Marfil.
- Elliot, J., (1991), *El cambio educativo desde la investigación acción*. Madrid. Ed. Morata.
- Gil, D. Y Martínez Torregrosa, J., (1987), *La resolución de problemas de Física* (CIDE-MEC, Madrid)
- Hisano, J.; Utges, G., (2001) Simulations about Electric Field and Potential. *Physics Teachers beyond 2000* (selected contributions), pp 641 - 644 (Elsevier Eds).
- Kofman, H. (2003) Integración de las funciones constructivas y comunicativas de las NTICs en la enseñanza de la Física Universitaria y la capacitación docente. <http://www.educared.org.ar/concurso-2/resenia/pdf/04-kofman.pdf>
- Lowyck, J. (1988). Pensamientos y rutinas del profesor. En L. M. Villar Angulo (Ed.), *Conocimiento, creencias y teorías de los profesores* (pp. 121-134). Alcoy: Marfil.
- Ramírez, L.; Gil, D. y Martínez Torregrosa, J., 1994, *La resolución de problemas de Física y de Química como investigación* (CIDE- MEC, Madrid)
- Stake, R., (1995), *The art of case study research*, SAGE, Thousand Oaks.
- Stenhouse, L., (1987), *La investigación como base de la enseñanza*. Madrid. Ed. Morata.
- Utges, G.; Fernández, P.; Jardon, A. (2003), *Simulaciones en la enseñanza de la Física. Nuevas prácticas, nuevos contenidos*. REF XIII. Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Utges, G.; Fernández, P.; Jardon, A. (2004), Incorporando simulaciones en las clases de la física. Un estudio de caso enfocado en la perspectiva del profesor. *Memorias VII SIEF*. Santa Rosa, La Pampa, Argentina (CD)
- Whitelock, D., Brna, P. and Holland, S., (1996), What is the Value of Virtual Reality for Conceptual Learning? En *Proceedings of the European Conference on Artificial Intelligence in Education*, pp136-141. (Ed. Colibri, Lisboa).

## ANEXO I. Guía del trabajo práctico

En este trabajo se presenta a Ud. una simulación de un oscilador armónico amortiguado. Básicamente se lo puede pensar como un sistema masa resorte al que es posible modificar a voluntad algunos parámetros, en particular, la



constante del resorte  $k$ , la masa  $m$  y el coeficiente de amortiguación  $b$ .

Si el coeficiente de amortiguación  $b$  es cero la respuesta del sistema es un movimiento armónico simple. En ese caso quedan dos parámetros accesibles al operador, la constante elástica del resorte y la masa.

Se le pide que inicialmente analice el comportamiento del sistema para distintos valores de  $m$  y  $k$  con  $b$  cero; luego que realice las siguientes pruebas y elabore un informe con los resultados obtenidos.

a) Manteniendo el valor del coeficiente de amortiguación en cero, encuentre los valores de  $k$  y de  $m$  dentro del rango permitido para obtener los valores máximos y mínimos posibles de velocidad y aceleración del sistema. En esas condiciones mida en el monitor el período de oscilación del sistema y compárelos con los valores calculados. Puede que en algún caso el valor del período sea tan pequeño que no pueda medirlo, indíquelo en el informe.

b) Determine los valores de  $k$  y  $m$  dentro del rango permitido que lleven al sistema a la máxima y a la mínima energía total. Calcule los valores de energía correspondientes e indíquelos en el informe.

c) Manteniendo fijos los valores de  $k$  y  $m$  en una situación que permita apreciar al menos dos periodos completos obtenga las curvas de oscilación amortiguada para distintos valores de  $b$ . Observe en qué condiciones el periodo del sistema permanece constante. Describa lo observado en el informe.

Antes de poner en funcionamiento la simulación presione RESET para que aparezca el sistema de coordenadas.

## ANEXO II. Evaluación

Una masa de 50 gr unida a un resorte se pone en movimiento armónico simple. Más abajo se muestran los gráficos. Usando los gráficos determine:

El periodo  $T$

La frecuencia,  $f$

La frecuencia angular,  $\omega$

La Amplitud,  $A$

La fase inicial,  $\varphi_i$  or  $\varphi_0$

La velocidad máxima,  $v_m$

La aceleración máxima  $a_m$

La constante del resorte,  $k$

La energía mecánica total,  $E$

La ecuación de la posición en función del tiempo

La ecuación de la velocidad en función del tiempo

La ecuación de la aceleración en función del tiempo

