

Uso y creación de simulaciones en la formación del profesorado: Unidad didáctica sobre el movimiento oscilatorio armónico



Raviolo, Andrés^{1,2}, Alvarez, Marcelo¹

¹*Sede Andina, Universidad Nacional de Río Negro. Bariloche, Río Negro, Argentina.*

²*Universidad Nacional del Comahue. Bariloche, Río Negro, Argentina.*

E-mail: araviolo@bariloche.com.ar; maalvarez@unrn.edu.ar

(Recibido el 10 Julio 2012; aceptado el 29 de Diciembre de 2012)

Resumen

En este artículo se presenta una experiencia didáctica sobre el tema movimiento oscilatorio armónico llevada a cabo con un número reducido de estudiantes futuros profesores de física, donde se plantea una secuencia de enseñanza que articula: experimentos, simulaciones y simulaciones realizadas por los estudiantes. La secuencia de enseñanza se complementa con una propuesta de seguimiento y evaluación coherente al modelo de enseñanza - aprendizaje que se quiere hacer vivenciar a los alumnos futuros docentes. En ella se estimula la reflexión permanente sobre el propio aprendizaje. Se describen los resultados, fundamentalmente de carácter cualitativo y se comparten algunos de tipo cuantitativo a modo de referencia. Los resultados muestran una evolución positiva en aspectos conceptuales, procedimentales y actitudinales. Se destaca el desarrollo e identificación de procesos metacognitivos puestos en juego.

Palabras clave: Formación inicial de profesores, simulaciones, movimiento oscilatorio armónico, metacognición.

Abstract

In this article we present a didactic experience on the subject of harmonic oscillatory movement, carried out with a small number of students who are future physics teachers. A teaching sequence is proposed which links experiments, simulations and simulations carried out by the students. The teaching sequence is complemented by a proposal for follow up and evaluation that is coherent with the teaching-learning model we want these future teachers to experience. This model stimulates permanent reflection on the part of the students on their own learning. We describe the results mainly in a qualitative way, with some quantitative results included by way of reference. The results show that conceptual, procedural and attitudinal aspects evolve in a positive way. Worthy of special note is the development and identification of the metacognitive processes involved.

Keywords: Early teacher training, simulations, harmonic oscillatory movement, metacognition.

PACS: 01.40.Ha, 01.50.H-, 01.50.Lc

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

A. Formación inicial de los profesores de física

La formación inicial de un profesor de una asignatura científica es una tarea compleja, dado que en ella confluyen aportes de muchas áreas diferentes del conocimiento, tanto de las ciencias exactas y naturales como de las ciencias sociales. McDermott [1] afirma que el fracaso en la formación de los profesores norteamericanos se ha debido a la tendencia en concebir a los planes de estudio como la suma de una formación científica básica y una formación psico-socio-pedagógica general. La buena formación docente requiere ir más allá de la asimilación acumulativa de esos aportes diferentes y demanda una resignificación de los mismos en una nueva área de trabajo que se ocupe, en nuestro caso, de la enseñanza de física.

Esta resignificación de conocimientos apunta a la integración permanente de teoría y práctica relacionada con la enseñanza. Esto demanda la incorporación explícita a los contenidos conceptuales (conceptos, leyes, teorías), de los contenidos procedimentales (el saber hacer) y de los contenidos actitudinales (el saber ser) en la formación inicial del profesorado; y una reflexión permanente sobre sus implicaciones para la enseñanza. En la Argentina existen instituciones educativas de nivel terciario y de nivel universitario que ofrecen la carrera de Profesorado en Física. La carrera que brinda la Universidad Nacional de Río Negro, consta de 36 materias a cursarse durante 4 años. El plan de estudios es novedoso dado que logra incorporar asignaturas que tratan específicamente de la enseñanza de la física desde primer año.

Un aspecto central a tener en cuenta en los intentos de renovación curricular lo constituye el conjunto de ideas, actitudes y comportamientos sobre la enseñanza que poseen

los profesores en actividad, formados especialmente en el período en que fueron alumnos. Sobre las creencias de los profesores Furió y otros [2] afirman: “Estas ideas y comportamientos docentes espontáneos afectan a aspectos esenciales de la enseñanza desde las concepciones acerca de cómo se aprende, a la evaluación, pasando por el clima de aula, las diferencias en el rendimiento de chicos y chicas o el tipo de actividades que los alumnos pueden realizar- y obligan a concebir la formación del profesorado como un cambio didáctico”. Para fomentar este deseado cambio didáctico se requiere de un trabajo colectivo de reflexión sobre el propio aprendizaje y sobre las prácticas asumidas acríticamente.

La metacognición alude a la posibilidad de la persona de reflexionar acerca de su propia capacidad cognitiva. Permite a quien aprende evaluar, planear y controlar una situación para obtener mejores resultados. Hace del aprendizaje una actividad personal, consciente y crítica [3]. Ante una tarea la metacognición tiene que ver con la capacidad de elaborar planes y estrategias al servicio de una mejor resolución, es decir la posibilidad de controlar la dirección de los procedimientos utilizados en la solución de un problema.

Dado que la educación formal no puede enseñar todo, es necesario capacitar a los alumnos a aprender a aprender. Lograr autonomía requiere autoevaluarse, identificar y comprender las causas de las dificultades, revisarlas y regularlas. Entender por qué no se entiende, por qué sale mal un experimento o una tarea, revisar los puntos de vista, los criterios de evaluación que permiten concluir que una idea es acorde o no con el modelo teórico utilizado. Esta autorregulación implica saber gestionar fructíferamente emociones negativas como la ansiedad, la frustración y el aburrimiento que pueden bloquear este proceso de construcción y transferencia del conocimiento [4].

En un proceso de renovación didáctica por la incorporación de TIC, el aprendizaje de los estudiantes dependerá de la calidad de las prácticas en las que participen dentro del aula [5], por ello es necesario desarrollar nuevas estrategias y herramientas de utilización de recursos didácticos como las TIC. La adquisición de nuevos recursos, por sí solos, no supone un avance en la mejora de la calidad educativa, dado que éstos no son buenos o malos en sí mismos, sino que dependen de los objetivos y estrategias empleadas por los docentes y los alumnos.

En definitiva, durante su formación inicial el futuro docente tiene que vivenciar experiencias y modelos educativos semejantes a los que se desea que lleve a cabo cuando ejerza como profesor en las aulas. En este artículo se relata el desarrollo de una experiencia didáctica sobre el tema movimiento oscilatorio armónico llevada a cabo en un curso de la asignatura Física 2B, al que asiste un número reducido de estudiantes futuros profesores de física, donde se plantea una secuencia de enseñanza que articula: experimentos, simulaciones y simulaciones realizadas por los estudiantes. Esta secuencia de enseñanza se complementa con una propuesta de seguimiento y

evaluación coherente al modelo de enseñanza aprendizaje que se quiere hacer vivenciar a los futuros profesores de física.

B. Simulaciones y enseñanza de la física

La incorporación de las TIC en las clases de física se manifiesta especialmente a través de la realización de actividades como: (a) la búsqueda de información a través de Internet, (b) el procesamiento y análisis de datos, (c) la incorporación en los laboratorios de sensores e interfaces que permiten la adquisición y tratamiento de datos con la computadora y (d) el empleo de programas que permiten la simulación de una variedad de fenómenos y la realización de experiencias virtuales. La revisión bibliográfica de González, Capuano y Zalazar [6] presenta evidencias sobre la evolución de las TIC como recurso en la enseñanza de la física, que en un primer momento estaban asociadas más a la práctica experimental, mientras que en la actualidad se las utiliza fuertemente también en las clases teóricas y en la resolución de problemas.

Las simulaciones en computadora son programas que permiten poner en funcionamiento un modelo de un proceso o fenómeno [7] y tienen la ventaja con respecto a los experimentos reales, que permiten aproximarse a fenómenos complejos, inaccesibles, peligrosos, extremadamente lentos o extremadamente rápidos y observar rápidamente los efectos de la modificación a voluntad de los parámetros [8]. Admiten distintos grados de intervención del usuario, que en muchos casos puede manipular algunas de las condiciones “experimentales” (valores iniciales y parámetros que afectan al modelo) y observar el resultado de esta manipulación a través de animaciones, gráficos y resultados numéricos. En este contexto, un modelo es concebido como mediador entre la teoría y la realidad, cuyas funciones principales son las de describir, explicar y predecir.

La mayoría de las simulaciones ocultan el modelo matemático que hay detrás, lo cual puede favorecer el hacer hincapié en lo conceptual y evitar el rechazo que pueden generar en los estudiantes las ecuaciones matemáticas. En este sentido, Ortega Zaragoza, Medellín Anaya y Martínez [9], en su experiencia con un sistema de simulaciones diseñado para que los estudiantes puedan contrastarlo con experiencias reales, perciben como una ventaja que las simulaciones oculten el modelo físico-matemático. Una propuesta de un procedimiento para “desocultar” los modelos matemáticos subyacentes en una simulación, a través del empleo de la hoja de cálculo, se encuentra en Raviolo, Alvarez y Aguilar [10]. Las simulaciones suelen estar acompañadas de animaciones que permiten visualizar a través de imágenes dinámicas y en tres dimensiones los procesos. Aunque simular es más que visualizar, dado que las simulaciones como experimentos virtuales (entornos informáticos interactivos) permiten interactuar: plantear hipótesis, diseñar experiencias, controlar variables, realizar observaciones (en pantalla), realizar medidas (virtuales), analizar resultados, establecer comparaciones, sacar

Raviolo, Andrés, Alvarez, Marcelo

conclusiones; en forma similar a un experimento real. En definitiva, permiten desarrollar un conjunto de procedimientos complejos que van más allá del empleo de técnicas rutinarias.

Las simulaciones suelen emplear de una forma relacionada distintos niveles o modos de representación del fenómeno: Representaciones figurativas y esquemáticas, símbolos y formalismo matemático, gráficos y tablas de valores. El aprendizaje a partir de estos distintos tipos de registros semióticos debe potenciarse con una intervención docente adecuada, que ayude a tomar conciencia sobre el objeto de los mismos y sus limitaciones, para que estos modos cumplan la función semántica esperada.

Existe cierto consenso en que el uso de simulaciones no reemplaza el trabajo con material concreto en el laboratorio, dado que éste permite observar y manipular los materiales y también desarrollar un gran número de habilidades/técnicas sobre el trabajo experimental. Más bien se acepta la complementariedad de los experimentos virtuales con los experimentos reales [11]. Pese a todas las posibilidades que ofrecen las simulaciones informáticas, la mayoría de los artículos concuerda con que es necesario profundizar en investigaciones que se orienten a poner de manifiesto las condiciones en que debe desarrollarse la enseñanza apoyada en el uso de simulaciones para provocar un aprendizaje significativo [12].

C. Enseñanza del movimiento oscilatorio armónico con TIC

La utilización de animaciones y simulaciones computacionales para la enseñanza del movimiento oscilatorio armónico presenta algunos antecedentes interesantes que sirven como fundamentos de este trabajo. Estos antecedentes se clasificaron en: (a) utilización de simulaciones prediseñadas en las cuales el usuario no tiene acceso a las operaciones matemáticas y/o modelos subyacentes y (b) utilización de simulaciones abiertas realizadas con la hoja de cálculo (por ejemplo con el programa Excel), en las cuales el usuario puede acceder a las operaciones que subyacen, modificarlas o crearlas totalmente.

(a) Antecedentes de uso de simulaciones prediseñadas

Entre los antecedentes en el uso de las simulaciones computacionales para la enseñanza del movimiento oscilatorio armónico, se destaca, por ejemplo, el trabajo de Perkins y colaboradores [13], que presentan una serie de simulaciones enmarcadas en el proyecto PhET (Physics Education Technology) entre las que se encuentra la del oscilador armónico, una masa con un resorte. Destacan como una ventaja de estas simulaciones el hecho de ser propuestas animadas, interactivas y en un ambiente tipo juego, que permite a los estudiantes aprender mediante la exploración.

García Barnetto y Bolívar Raya [14] emplean la simulación del oscilador armónico del proyecto PhET para llevar adelante una experiencia con el objetivo de indagar y

superar las concepciones alternativas que poseen alumnos universitarios sobre el movimiento armónico simple. Estos autores plantean que la simulación puede usarse, además de su uso clásico como ilustración de la teoría, como espacio de manipulación en la realización de una investigación, dado que permiten: Expresar puntos de vista, plantear hipótesis, diseñar experiencias, controlar variables, realizar medidas y analizar resultados, es decir, encarar un problema de manera similar a la de un científico.

Por su parte, Otero y otros [15], basándose en la teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird, investigan el efecto sobre el rendimiento en alumnos de escuela media del trabajo con imágenes, animaciones y simulaciones sobre el tema de oscilaciones libres y forzadas. En esta experiencia acotada no observaron diferencias significativas en los aprendizajes del tema en cuestión, respecto del grupo de control, un resultado que es contrario a la creencia común de un impacto positivo de las imágenes, por su simple presencia, en el ámbito escolar.

(b) Antecedentes de uso de simulaciones abiertas con la hoja de cálculo

En el artículo pionero de Guglielmino [16], sobre el uso de las hojas de cálculo en el laboratorio de cursos introductorios de física, se señala que la hoja de cálculo es una poderosa herramienta para analizar y graficar los datos de: (a) experimentos tradicionales, (b) experimentos más avanzados y complejos y (c) simulaciones que requieren técnicas numéricas simples y poderosas. Entre las aplicaciones de las hojas de cálculo para simular el movimiento armónico se encuentra el trabajo de Walter [17] que propone un rápido, simple y efectivo método para resolver problemas físicos con la hoja de cálculo y brinda, como ejemplo, el caso de una masa suspendida por un resorte en un líquido viscoso. Al año siguiente Frank y Kluk [18] ampliaron y propusieron correcciones al trabajo de Walter también usando la hoja de cálculo pero mejorando el método numérico con aproximaciones de segundo y tercer orden a costa de perder simplicidad. Carson [19], por su parte, desarrolla un modelo numérico con la hoja de cálculo, basado en el algoritmo de Euler, para un oscilador armónico simple, pero en este caso incorporando reflexiones didácticas sobre el uso de las aproximaciones numéricas. En el mismo sentido, Diamant y Cleminson [20], utilizan la hoja de cálculo para la enseñanza de diferentes fenómenos entre los que se encuentra el oscilador amortiguado, pero en este caso emplean la solución analítica del problema para generar los valores de posición, velocidad y aceleración en función del tiempo en vez de hacer incrementos finitos.

Por su parte Buzzo Garrao [21] presenta una propuesta didáctica con la hoja de cálculo para la formación de profesores usando aproximaciones sucesivas y utiliza como uno de los ejemplos el oscilador amortiguado y forzado. Elige el algoritmo de Euler por su simplicidad pese a ser consciente de que no es el método más eficiente en cuanto al arrastre de cálculo y redondeo. Este autor fundamenta la utilización de la hoja de cálculo porque los procesos

iterativos se pueden hacer con mucha facilidad utilizando la copia de los procedimientos, es decir que no se necesita saber programar. El argumento es que con los gráficos es posible seguir la evolución del sistema instante a instante (a diferencia de los problemas de lápiz y papel que sólo consideran los puntos extremos en los análisis energéticos). Concluye que esto ayuda a la remoción de preconceptos a través de la conceptualización numérica y gráfica.

En la experiencia didáctica que se describe en este trabajo se utilizaron dos simulaciones prediseñadas y una construida con la hoja de cálculo.

II. METODOLOGÍA

A. Objetivos de la experiencia llevada a cabo

La experiencia didáctica que se describe en este artículo apuntó básicamente a la concreción de tres objetivos:

- Hacer vivenciar en los estudiantes futuros profesores de física una experiencia didáctica renovadora de aprendizaje, que facilite su transferencia cuando ejerzan la docencia y reflexionen sobre ella.

- Desarrollar una unidad didáctica sobre el movimiento oscilatorio armónico que integre las actividades: experimento real, experimento virtual y simulación creada por los estudiantes, y que vincule los aspectos teóricos, prácticos y la reflexión pedagógica.

- Llevar adelante un seguimiento de los alumnos a lo largo del desarrollo de la unidad didáctica, diferenciando los logros en tres aspectos: Contenidos conceptuales, contenidos procedimentales y contenidos actitudinales, e identificando procesos metacognitivos puestos en juego.

B. Enfoque metodológico

Se adopta un enfoque metodológico fundamentalmente cualitativo, con algunos rasgos cuantitativos complementarios. La metodología cualitativa de carácter descriptiva incluye la observación de clases y encuestas. La investigación no partió de un diseño fijo inicial y fue permeable a la respuesta e iniciativa de los participantes (docente/investigador y alumnos). Los métodos de carácter descriptivo tratan de describir la estructura de los fenómenos y descubrir las asociaciones relativamente estables de las características que los definen, sobre la base de la observación sistemática de los mismos.

La acción educativa se considera como una práctica social conformada por un conjunto de acciones con un propósito. Durante las clases se busca registrar lo que ocurre, procurando descripciones y explicaciones que permitan una mayor interpretación de los procesos estudiados, con el fin de poner a prueba acciones y secuencias de enseñanza que resulten de utilidad e inspiración a otros docentes. En este trabajo y teniendo en cuenta el reducido número de alumnos, las comparaciones cuantitativas adquieren un valor indicativo, como un modo de control para indicar que los estudiantes se encuentran

dentro de ciertos estándares definidos por otras investigaciones cuantitativas.

El grupo que participó en esta investigación está conformado por los cuatro alumnos que cursaban la asignatura Física 2B, perteneciente segundo año del Profesorado en Física de la Universidad de Río Negro.

C. Secuencia de acciones e instrumentos

La secuencia de acciones llevadas a cabo puede sintetizarse en:

- Administración del test conceptual como pre test, relevamiento de ideas previas.
- Administración del test de actitudes como pre test.
- Desarrollo de la unidad didáctica sobre movimiento oscilatorio armónico, consistente en la integración intencionada de experimentos y simulaciones, con una duración de 6 clases de 4 horas.
- Seguimiento de la unidad didáctica a través de grabaciones en audio de las clases. También a través de evaluaciones orales y escritas sobre las opiniones y vivencias de los estudiantes.
- Administración como post test del test conceptual mencionado.
- Administración como post test del test de actitudes mencionado.
- Evaluación sumativa final, consistente en un cuestionario. Parte del cuestionario se responde observando una simulación.
- Entrega de informes grupales.

Por razones de espacio el test conceptual, el test de actitudes y la evaluación sumativa final no son anexados en este trabajo, pero pueden ser solicitados por correo electrónico a los autores.

D. Test conceptual

El test conceptual consiste en seis preguntas o situaciones. La primera de ellas trata sobre los factores que influyen en el período de oscilación de un péndulo, mientras que las siguientes cinco tratan sobre un resorte oscilando con una masa en su extremo, en particular, se indaga sobre las relaciones entre el período y las condiciones iniciales, y la relación entre las posiciones y velocidades en diferentes puntos del movimiento. Exceptuando la segunda pregunta, las cinco preguntas restantes corresponden al cuestionario empleado por García Barneto y Bolívar Raya [14].

E. Test de actitudes

El test de actitudes sobre el aprendizaje de la física y el aprendizaje de la física con TIC es el resultado de una adaptación del test de Gómez Chacón [22] formulado para la enseñanza de la matemática. Consiste en un test tipo Likert con una escala de 1 a 5: Totalmente de acuerdo (5 si el ítem es positivo, 1 si es negativo), Parcialmente de acuerdo, Me es indiferente, Parcialmente en desacuerdo, Totalmente en desacuerdo. El test consta de 24 ítems que se

Raviolo, Andrés, Alvarez, Marcelo

pueden clasificar en dos grupos, cada grupo con tres dimensiones de 4 afirmaciones para cada una: Actitudes hacia la Física (dimensiones: Confianza en física, Motivación en física y Compromiso en física) y Actitudes hacia la Computadora (dimensiones: Confianza con la computadora, Motivación hacia la computadora y Interacción del estudiante con la física y las computadoras).

F. La unidad didáctica

La unidad didáctica diseñada para estudiar el movimiento oscilatorio armónico, especialmente el caso de una masa unida a un resorte, incluyó cuatro etapas:

Etapa 1: Experimento real.

Se realizó el experimento con resortes reales en el laboratorio, estudiando la dependencia del período del oscilador respecto de la masa y la posición inicial.

Etapa 2: Experimento virtual.

Se utilizó el experimento virtual integrado a la plataforma PhET (http://phet.colorado.edu/sims/mass-spring-lab/mass-spring-lab_en.html), creado por Perkins y colaboradores [13], con el cual se repitieron los estudios hechos con los resortes reales, investigando además la dependencia del período con la rigidez del resorte, la posición inicial, la intensidad del rozamiento y la gravedad del planeta.

Una captura de la pantalla de este experimento virtual se observa en la Fig. 1.

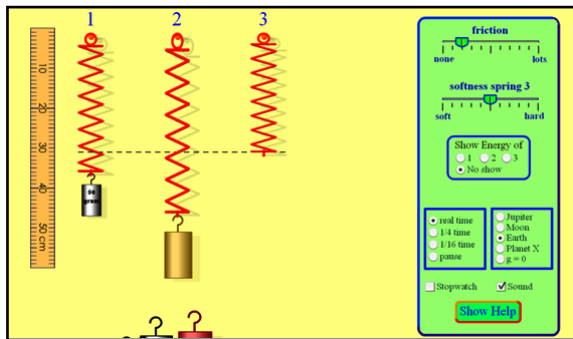


FIGURA 1. Ejemplo de simulación PhET sobre movimiento oscilatorio armónico.

Etapa 3: Creación de simulación con la hoja de cálculo.

Utilizando un método numérico simple (incrementos finitos por el método de Euler) y la hoja de cálculo, se diseñó con participación de los estudiantes una simulación del movimiento oscilatorio armónico. Se repitieron los análisis de las experiencias anteriores agregándole la posibilidad de variar el tipo de rozamiento y de estudiar el oscilador forzado.

Para el algoritmo se definieron los siguientes parámetros: m (masa), k (constante del resorte), x_0 (posición inicial), v_0 (velocidad inicial) y Δt (intervalo de tiempo) y las siguientes variables: t_n (tiempo en el paso n), x_n , v_n , F_n , a_n (tiempo, posición, velocidad, fuerza y aceleración en el tiempo t_n respectivamente). El algoritmo se puede ver en la Fig. 2 y un ejemplo de la simulación resultante se observa en la Fig. 3.

Algoritmo de Euler

$$t_{n+1} = t_n + \Delta t$$

$$x_{n+1} = x_n + v_n * \Delta t$$

$$F_{n+1} = -k * x_{n+1} \text{ (Ley de Hooke)}$$

$$a_{n+1} = F_{n+1}/m \text{ (Segunda ley de Newton)}$$

$$v_{n+1} = v_n + a_{n+1} * \Delta t$$

Con Peso: $F_{n+1} = -k * x_{n+1} + m * g$

Con amortiguamiento en el aire:

$$F_{n+1} = -k * x_{n+1} + m * g - v * v_n$$

(v es el coeficiente de amortiguamiento en el aire)

Con rozamiento en una superficie:

$$F_{n+1} = -k * x_{n+1} + m * g - \mu * m * g * \text{sg}(v_n)$$

(μ es el coeficiente de rozamiento dinámico)

FIGURA 2. El algoritmo de Euler utilizado.

Etapa 4: Desarrollo teórico y resolución de problemas de lápiz y papel.

Como cierre de la secuencia se realizó el desarrollo teórico del problema en forma “clásica”, es decir resolviendo la ecuación diferencial, y se propusieron como aplicación ejercicios y problemas de lápiz y papel.

G. Seguimiento de la unidad didáctica

Durante el desarrollo de la unidad didáctica se realizaron grabaciones de audio de las clases y evaluaciones orales y escritas sobre las opiniones y vivencias de los estudiantes. El docente incitó a la reflexión sobre los propios aprendizajes y sensaciones percibidas, también estimuló el debate en torno a las comparaciones de las ventajas y desventajas entre los distintos recursos empleados: el experimento real, el experimento virtual, la simulación diseñada con la hoja de cálculo y la aplicación en ejercicios de lápiz y papel.

H. Evaluación final

La evaluación conceptual final consistió en un cuestionario que se responde observando la simulación propuesta por Chiu-King Ng (<http://ngsir.netfirms.com/englishhtm/SpringSHM.htm>) que muestra la oscilación de un resorte con una masa en su extremo. Parte de esta evaluación presenta situaciones elaboradas a partir de imágenes impresas de dicha

Uso y creación de simulaciones en la formación del profesorado: Unidad didáctica sobre el movimiento oscilatorio armónico

simulación. Algunas preguntas estaban orientadas a la relación entre el período y la masa o las condiciones iniciales, y otras a la relación entre el movimiento de la masa y los gráficos de posición, velocidad y aceleración en función del tiempo.

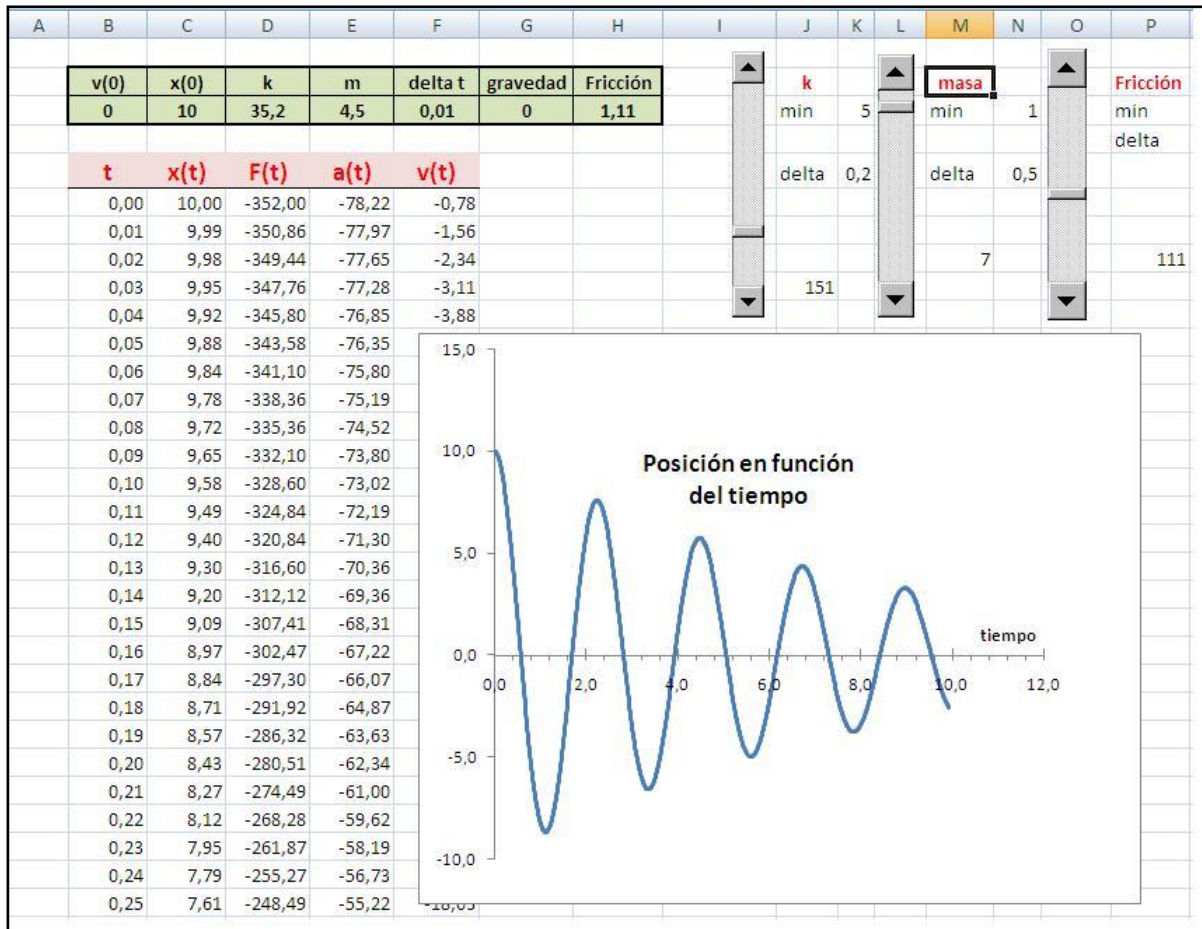


FIGURA 3. Ejemplo de simulación realizada por los estudiantes con la hoja de cálculo.

I. Informe grupales finales

Al final de la unidad didáctica se solicitó a los estudiantes la entrega de un informe grupal (dos grupos de dos alumnos cada uno) en el que los alumnos describieron los objetivos, metodología, resultados y conclusiones de los experimentos realizados así como las comparaciones de las ventajas y desventajas percibidas entre el experimento real, el experimento virtual PhET y la simulación diseñada con la hoja de cálculo.

III. RESULTADOS

A. Comprensión de los contenidos conceptuales

Como ya se mencionó para la evaluación de la comprensión de los contenidos conceptuales se utilizaron dos instrumentos. Por un lado, una variación del test de García Barnetto y Bolívar Raya [14] suministrado al inicio y al

final de la experiencia y, por otro lado, una evaluación final con un cuestionario que se responde mirando una simulación.

Los resultados obtenidos en el pre y postest se observan en la Tabla I, en la cual se incluyeron a modo de referencia comparativa los resultados del pos test presentados por García Barnetto y Bolívar Raya luego de que sus estudiantes completaran una experiencia de aprendizaje con simulaciones.

Si bien el número de alumnos no admite un análisis estadístico, los resultados se expresan en porcentajes de manera de poder comparar con el trabajo de referencia. En el caso de las preguntas 1 (¿qué factores modifican el período de oscilación de un péndulo?), 3 (dependencia de la amplitud de un oscilador con las condiciones iniciales) y 4 (dependencia del período de un oscilador con las condiciones iniciales), se observa una evolución en el porcentaje de respuestas correctas y en el grado de confianza de las mismas en coincidencia con el trabajo de referencia. Para el caso de las preguntas 5 y 6 (relación entre

posición del extremo del resorte y el tiempo y entre la velocidad y posición respectivamente) el trabajo de

referencia concluye que prácticamente no hay mejora en la

TABLA I. Resultados obtenidos en el test conceptual.

Cuestión	Respuesta	Pretest		Postest		Postest (García Barnetto)	
		Porcentaje	Confianza	Porcentaje	Confianza	Porcentaje	Confianza
1- Factores que afectan el período del péndulo	Masa	25	4	0	9	0	9
	Longitud	100		100		97	
	Amplitud	25		0		2	
	Vel. Inicial	0		0		1	
2- Factores que afectan el período del sistema resorte-masa	Masa	1	5	75	10		
	Dureza	4		100			
	Pos. Inicial	0		0			
	Vel. Inicial	0		0			
3- Relación entre amplitud y condiciones iniciales	Correctas	25	5	75	8	88	9
4- Relación entre periodo y condiciones iniciales	Correctas	25	5	100	9	92	9
5- Relación entre posición y tiempo	Lineal	100	5	50	8	97	8
	No lineal	0		50		0	
6- relación entre posición y velocidad	Lineal	50	5	25	8	98	8
	No lineal	50		75		0	

conceptualización del fenómeno: esto es, que los estudiantes continúan con la concepción “lineal”, en la que conciben que la posición en función del tiempo (pregunta 5) y/o la posición en función de la velocidad (pregunta 6) varían linealmente. En la Tabla I se aprecia que en las preguntas 5 y 6 los estudiantes del profesorado en física han mejorado en la comprensión del fenómeno: la mitad y tres cuartos de los estudiantes responden correctamente la pregunta 5 y 6 respectivamente, y su grado de confianza en las respuestas también mejora sensiblemente.

B. Logro de contenidos procedimentales

Los procedimientos fueron definidos por Coll y Valls [23] como: “Secuencias de acciones dirigidas a la consecución de una meta”. De acuerdo a su complejidad van desde técnicas o destrezas simples hasta estrategias generales de aprendizaje y razonamiento. Las estrategias implicarían una planificación y toma de decisiones de los pasos a seguir.

Como uno de los resultados que se pueden destacar de esta experiencia didáctica es el trabajo integrado de una serie de procedimientos y habilidades (el saber hacer) que, en general, se propugnan como deseables en los currícula de los profesorados de ciencias naturales.

En primer lugar los estudiantes, a través del experimento real, tuvieron la oportunidad de: identificar las variables físicas involucradas, decidir cuáles son

relevantes y cuáles no, realizar hipótesis, diseñar un experimento para ponerlas a prueba, realizar mediciones, analizar los datos mediante diferentes formas de representación y ajuste mediante la hoja de cálculo.

En segundo lugar, todas estas habilidades han sido puestas en juego también con el laboratorio virtual PhET con la posibilidad de experimentar, por un lado, con más valores en algunas variables (dureza del resorte y masa) y, por otro, con variables que en el experimento real no son posibles como por ejemplo la fricción o la gravedad. Una habilidad que ha sido muy explorada con el laboratorio virtual es la de predecir el comportamiento del sistema ante diferentes condiciones, o sea, contestar a preguntas del tipo: “¿Qué pasaría si...?”

Asimismo, con la implementación de la simulación propia a través de la hoja de cálculo se pudo profundizar en habilidades generales como la modelización y la matematización de fenómenos. Donde se destaca la habilidad para graficar la variación temporal de las magnitudes físicas involucradas y la adecuada interpretación de gráficos.

Respecto a la habilidad, estrechamente ligada al dominio conceptual, de aplicación del conocimiento a nuevas situaciones, un alumno expresó: “¿qué bueno!, está cómo para inventar un reloj... con una cosa que caiga y conectada a un engranaje, como siempre es igual el período, cada vez que sube, cae una bolita”.

C. Evolución de actitudes

El test de actitudes tiene el objetivo de evaluar la evolución de las percepciones, motivaciones, intereses y grado de compromiso de los estudiantes para aprender física en general y para aprender física utilizando TIC. Los resultados obtenidos en el pre y post test para las seis dimensiones del test se muestran en la Tabla II. En esta tabla se han incluido, como un modo de control, los resultados publicados por Gómez Chacón [22] sobre el aprendizaje de la matemática con TIC. Dicho estudio fue realizado con una muestra de 392 estudiantes de cuarto año de secundaria de cinco institutos de bachillerato españoles que ofrecen un proyecto curricular que integra las TIC con la enseñanza de la matemática.

TABLA II. Resultados en el test de actitudes expresados en valores promedios.

Dimensión	Pre test	Pos test	Gómez Chacón
Confianza en física	4,5	4,3	3,2
Motivación en física	4,6	4,9	3,1
Compromiso en física	4,3	4,3	3,3
Confianza en la computadora	3,6	3,6	3,4
Motivación hacia la computadora	3,6	3,9	3,3
Interacción estudiante con física y computadora	3,2	3,9	3,3

Los resultados obtenidos con estos alumnos universitarios muestran valores iniciales y finales altos, comparados a los obtenidos por alumnos de secundaria. Esta diferencia puede explicarse debido que los encuestados son alumnos que les interesa la enseñanza de la física y han optado por estudiar la carrera del Profesorado en Física. Entre el pre y post test se aprecia alguna mejora respecto a la motivación y uso de la computadora para aprender física, que podrían deberse a la experiencia realizada, como indicaría la información cualitativa que se relata más abajo.

D. Evaluación cualitativa de la experiencia didáctica

A continuación se describen aspectos cualitativos que se extraen del seguimiento de las clases (desgrabaciones, informes) con especial hincapié en los procesos metacognitivos involucrados y en las vivencias de los estudiantes protagonistas de esta propuesta de enseñanza.

d1) Reflexiones de los estudiantes sobre cómo aprendieron con los tres recursos empleados

Una de las consignas propuesta a los estudiantes consistió en que, por grupos, evaluaran las herramientas utilizadas:

el experimento virtual, el simulador propio y el experimento real. La reflexión sobre el experimento virtual PhET se realizó en base a las siguientes preguntas: ¿Qué posibilidades de experimentación y limitaciones tiene? ¿Cuán realista es? ¿Sirve para comparar resultados con el experimento real? ¿Qué ventajas y desventajas tiene respecto del experimento real? A su vez, las preguntas respecto del simulador construido por los estudiantes con la hoja de cálculo fueron: ¿Qué posibilidades y limitaciones tiene? ¿Qué ventajas y desventajas tiene respecto del experimento virtual?

Con respecto al experimento virtual los estudiantes valoraron positivamente la “amigabilidad” de la herramienta, la facilidad para realizar las experiencias, la sensación de realidad de las animaciones y la posibilidad de realizar mediciones con mucha precisión. Valoraron negativamente la poca variedad de resortes y masas que se podían elegir y el hecho de que no se pudiera obtener los gráficos de posición y velocidad en función del tiempo: “Las posibilidades de variación son limitadas, no permite cálculo de errores y es muy sensible al error de observación, no hay precisión en los datos, no permite gráficas de variación con el tiempo (x versus t o v versus t)”.

Es de destacar la evaluación negativa en relación a la imposibilidad de conocer cómo funciona el modelo detrás del experimento virtual (PhET). Al respecto, algunas de las frases expresadas fueron: “el modelo que hay detrás está oculto”, “no hay forma de saber cómo se hizo y por lo tanto no hay control del usuario para corregir potenciales errores”, “hay que tener fe en la programación”, “el usuario del experimento virtual puede confundir la simulación con la realidad”. Estas reflexiones tienen su origen en ciertas dificultades o dudas que los estudiantes expresaron durante el trabajo con el experimento virtual. Por ejemplo ante un resultado poco intuitivo que surgía de la experiencia (que el período prácticamente no cambiaba con el rozamiento) se registró el siguiente diálogo:

A1- “¿El mismo tiempo? No se puede creer, ¿y cada oscilación da lo mismo? Pero si se va a amortiguando, cuando hay más fricción se va amortiguando más, tiene menos amplitud”

A2- “¿Pero esto es así o no? ¿O este programa lo hizo mal?”

P (Profesor)- “¿Qué querés preguntar con es así o no?”

A1- “Creo que pregunta si la programación está bien”

A2- “Claro ¿Está bien el programa? ¿No se equivoca en eso?”

A1- “Tendríamos que hacerlo con el resorte en la vida real para probar”.

Cuando los estudiantes compararon el simulador construido por ellos con el experimento virtual (EV) destacaron tres hechos: (a) valoraron que era mucho más flexible para realizar las experiencias, en tanto que tenían libertad para fijar los parámetros y modelos físicos involucrados (por ejemplo la posibilidad de cambiar el tipo de rozamiento): “En nuestro simulador se puede modificar

Raviolo, Andrés, Alvarez, Marcelo

todas las variables libremente, en cambio en el PhET había limitaciones. Por esta razón, en nuestra simulación se puede hacer comparaciones con la realidad y en el PhET no. En nuestro simulador tenemos la posibilidad de extenderlo, es decir, agregar datos y pedirle que calcule otras cosas como velocidad, número de oscilaciones, etc. El PhET no permite esos agregados. En nuestro simulador, se puede ver el gráfico de posición versus tiempo y analizar a qué función corresponde. El diseño del PhET es mejor, pero nuestro simulador es más preciso, sirve más para el estudio del movimiento oscilatorio”, (b) expresaron respecto de la explicitación de los modelos: “En nuestro simulador conocemos los modelos que hay detrás”, “se puede armar el experimento de acuerdo a nuestro propio diseño”, y (c) remarcaron como desventaja principal el hecho de que la planilla de cálculo no permite la animación del movimiento (si solo usamos una programación básica) y esto hace que el laboratorio virtual sea mucho más vistoso: “La vista no es amable y requiere de interpretación de curvas. Hay que saber utilizar el Excel. Para mejorar el diseño hay que saber mucho más”.

Como ya se mencionó un objetivo central de esta experiencia didáctica es el desarrollo de procesos metacognitivos. Al respecto, a continuación se muestran algunos ejemplos de metacognición observados en las clases, clasificados de acuerdo a la distinción hecha por Flavell [24]:

(1) aspectos intraindividuales (convicciones y confianzas propias):

“Claro, yo me estaba imaginando la mitad del proceso cuando el resorte “tira” por el peso, pero claro, después tiene que levantarlo, me estaba imaginando una cosa parcial del trabajo del resorte, por eso me fallaba la intuición”

(2) aspectos interindividuales (la persona se compara con otras):

“Ah, yo soy un zapallo entonces, que no me sale... yo también reconozco que a la tecnología cero bola le doy”

(3) el saber universal (las ideas de lo que es saber dentro de una cultura o de las creencias epistemológicas compartidas), al respecto es frecuente que los modelos sean confundidos con la realidad a la que se refieren:

“Como que tomás esto como que es la realidad misma, bueno, ponelo... puede traer como consecuencia la confusión con la realidad”

Durante la construcción de la planilla de cálculo se hicieron explícitas otras reflexiones metacognitivas en cuanto a la comprensión del fenómeno. Ante el resultado sorprendente de que el movimiento graficado coincidía, en términos generales, con lo observado, un estudiante expresó: *“da espectacular, yo no sabía, hasta hoy, que este movimiento es completamente newtoniano”*. En este caso, la sorpresa se debe al hecho de que “sólo” incorporando la segunda ley de Newton y la ley de Hooke en la planilla era posible simular el problema. En este mismo sentido, otros estudiantes expresaron: *“Lo mejor de nuestro simulador es que pudimos entender cómo se hace este movimiento paso por paso partiendo de dos leyes sencillas, esa es la magia*

que tiene”, “...está maravilloso, increíble que se pueda haciendo un diferencial y aplicando las leyes que ya conocemos, diría como deducir el movimiento que tienen que dar”.

d2) Reflexiones sobre cómo los estudiantes futuros profesores enseñarían la temática

En la etapa final de la experiencia se propuso una discusión grupal en base a la siguiente consigna: ¿Cómo propondrían una secuencia didáctica sobre el movimiento oscilatorio armónico usando los experimentos, el laboratorio virtual y el simulador construido con la hoja de cálculo? Cabe aclarar que estos estudiantes no han cursado asignaturas relacionadas con la didáctica general ni con la didáctica de la física.

La discusión de los grupos estuvo centrada en dos temas relacionados entre sí: por un lado, qué aspectos del aprendizaje se potencian con cada una de las herramientas (experimento, laboratorio virtual y simulador propio) y, por otro lado, teniendo en cuenta estos aspectos, cuál sería el orden ideal para la secuencia de enseñanza.

Respecto al primer tema, hubo acuerdo en que el laboratorio virtual sirve como motivador ya que *“Tiene colores, usan la computadora y es cómo un juego”* y permite experimentar sin sufrir las dificultades ni los errores inherentes a la manipulación y medición con objetos reales. A su vez, los estudiantes acordaron en que el trabajo con el experimento virtual es motivador en un sentido diferente al anterior, sirve como “puente” hacia la construcción del propio simulador con la hoja de cálculo, ya que puede conducir a preguntarse sobre los modelos matemáticos que subyacen en dicho laboratorio virtual y cuestionar la validez de los resultados: *“Capaz que no le interesa ver un resorte colgando, entonces se lo mostrás en el EV, le llama más la atención, si lo hacen primero en la computadora después le puede llegar a interesar, que se pregunten ¿cómo se hace para que el simulador esté así: bien hecho? y por último lo hacen ellos”*.

Respecto al orden de la secuencia de enseñanza, hubo acuerdo, entre los dos grupos que analizaron el problema, respecto de que ninguna de estas dos herramientas (el EV y el simulador hecho en hoja de cálculo) reemplazan al experimento real: *“En el real sos vos el que experimentás, manipulás, esas habilidades no se logran con el EV”*. Un aspecto en el que no hubo consenso, es en el orden de la secuencia para producir un mejor aprendizaje, al respecto se plantearon dos alternativas: empezar por el experimento real y luego pasar al virtual o viceversa. Un estudiante planteó: *“Yo creo que va primero el experimento real por el hecho de entender lo que estás haciendo, si lo ves directamente entendés de qué se trata el problema, primero lo tienen que ver, verlo al resorte colgando, si no lo ves primero, cuando lo ves en el EV no tiene mucho significado, no saben lo que están haciendo”*. La otra opción, es decir empezar con el EV y luego el experimento real, queda ejemplificada en la frase: *“Me da la sensación que para tener una primera idea, me parece que con el EV*

Uso y creación de simulaciones en la formación del profesorado: Unidad didáctica sobre el movimiento oscilatorio armónico no vas a tener gruesos errores por el tema de experimentar mal”.

IV. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta experiencia didáctica muestran que los alumnos han logrado un adecuado aprendizaje conceptual, superando concepciones alternativas frecuentes e integrando los distintos aspectos de la temática. Además han desarrollado y puesto en juego un conjunto de procedimientos complejos y variados solicitados en las distintas etapas de la propuesta. Han evidenciado también un alto puntaje en actitudes hacia la física y hacia el aprendizaje de la física con TIC, aspectos deseables en futuros profesores.

Los procedimientos científicos incluyen desde técnicas o destrezas simples hasta estrategias más complejas de aprendizaje y razonamiento. Estas estrategias requieren de una actividad metacognitiva porque implicarían una planificación y toma de decisiones de los pasos a seguir. Un ejemplo de estrategia fue formular y comprobar una hipótesis sobre la influencia de la masa en el período del péndulo. El escaso uso de procesos metacognitivos convertiría a la resolución de problemas en una resolución de ejercicios, a las estrategias en rutinas técnicas y al saber hacer en un saber repetir [25]. Por otro lado, en el aprendizaje conceptual también son necesarios procesos metacognitivos. Dado que las concepciones alternativas se basan en supuestos o teorías implícitas, es importante promover la explicitación, la comunicación de las propias concepciones, es decir fomentar un proceso metaconceptual. Preguntarse, por ejemplo, ¿por qué creemos que el período del péndulo dependerá de la masa del objeto? ¿Por qué el movimiento oscilatorio no es lineal? En este sentido, la tarea metacognitiva consistiría en un proceso de hacer explícitos en forma progresiva los supuestos, para ello es necesario promover en la clase la comunicación y debate grupal por sobre el monólogo del profesor [25]. En la perspectiva de aprender a aprender, el hecho de lograr autonomía se traduciría en poder autoevaluarse, comprender las causas de las dificultades, y regularlas; por ejemplo, identificar y revisar las concepciones propias sobre un fenómeno.

Para Rodríguez Llerena y Llovera González [11] la combinación de estrategias complementarias entre el experimento real y el experimento virtual, logra una mayor comprensión de los principios físicos, dado que los estudiantes trascienden a la vivencia del experimento y recuerdan más que los aspectos meramente formales. En nuestra experiencia didáctica se fortalece esta hipótesis de complementariedad entre los recursos didácticos empleados, ampliando su diversidad con la inclusión, además del experimento real y el virtual, de dos aplicaciones de los conceptos involucrados, a través del desarrollo de una simulación con la hoja del cálculo y a través de la resolución de problemas de lápiz y papel.

La experiencia didáctica llevada a cabo toma como referencia a investigaciones anteriores publicadas y se propuso avanzar en la aplicación e integración de éstas en un caso concreto. También se es consciente de que si bien constituye un experiencia ambiciosa, y que no es posible desarrollar todos los temas de la asignatura dedicándole el tiempo que se asignó a esta unidad, se considera que es importante que los alumnos vivencien una experiencia didáctica integrada y completa que movilice las formas tradicionales de pensar y actuar.

La metacognición fue un eje primordial que estuvo presente en toda la propuesta. Se fomentó la reflexión sobre los distintos recursos didácticos, alentando a la explicitación de las ventajas y desventajas de los mismos, de las ayudas y dificultades percibidas durante su empleo. Así también se intentó poner a los alumnos en posición de docentes para que reflexionen, a partir de su experiencia como alumnos, sobre aspectos relacionados con la enseñanza del tema. En definitiva, se ha procurado cumplir la premisa de que la formación inicial del profesorado debe incluir estrategias de enseñanza en las que los futuros docentes atraviesen situaciones análogas a las que se espera que construyan en sus aulas cuando ejerzan.

Para Sanjurjo [26] la metacognición debería ser un eje en la formación docente: “Es difícil que un docente que tenga dificultades para realizar procesos de reflexión, de resolución autónoma de problemas, de metacognición, pueda guiar y estimular estos procesos en sus alumnos”.

REFERENCIAS

- [1] McDermott, L., *A perspective on teacher preparation in physics- and other sciences: The need for special science courses for teachers*, American Journal of Physics **58**, 734-742 (1990).
- [2] Furió, C., Gil, D., Pessoa, A. y Salcedo, L., *La formación inicial del profesorado de educación secundaria: Papel de las didácticas específicas*, Investigación en la Escuela **16**, 7-21 (1992).
- [3] Colussi, G., Las investigaciones en metacognición. Reconsideraciones teóricas. En *Fundamentos psicológicos de una didáctica operativa*. Aebli, H., Colussi, G. y Sanjurjo, L. (Homo Sapiens, Buenos Aires, 1995). Cap. III, pp. 77-93.
- [4] Sanmartí, N., Burgoa, B. y Nuño, T., *¿Por qué el alumnado tiene dificultad para utilizar sus conocimientos científicos escolares en situaciones cotidianas?*, Alambique **67**, 62-69 (2011).
- [5] Coll, C., Mauri, T. y Onrubia, J., *Análisis de los usos reales de las TIC en contextos educativos formales: Una aproximación sociocultural*, Revista Electrónica de Investigación Educativa **10**(1), (2008).
- [6] González, M., Capuano, V., Zalazar, J., *Sobre cómo evoluciona el uso de las TICs en la enseñanza de la Física, en los últimos 10 años*, Memorias Decimosexta Reunión Nacional de Educación en Física (2009).

Raviolo, Andrés, Alvarez, Marcelo

- [7] Esquembre, F., *Creación de simulaciones interactivas en Java: Aplicación a la enseñanza de la Física*, (Pearson, Madrid, 2004).
- [8] Utges, G., Fernández, P. y Jardon, A., *Simulaciones en la enseñanza de la Física. Nuevas prácticas, nuevos contenidos*, Memorias Decimotercera Reunión Nacional de Educación en Física, Río Cuarto (2003).
- [9] Ortega, Z., Medellín, A. y Martínez, J. R., *Influencia en el aprendizaje de los alumnos usando simuladores de física*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **4**, 953-956 (2010).
- [10] Raviolo, A., Alvarez, M. y Aguilar, A., *La hoja de cálculo en la enseñanza de la Física: Re-creando simulaciones*, Revista Enseñanza de la Física **24**, 97-107 (2011).
- [11] Rodríguez-Llerena, D., Llovera-González, J., *Estudio comparativo de las potencialidades didácticas de las simulaciones virtuales y de los experimentos reales en la enseñanza de la Física General para estudiantes universitarios de ciencias técnicas*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **4**, 181-187 (2010).
- [12] García, B. A., y Gil, M. M. R., *Entornos constructivistas de aprendizaje basados en simulaciones informáticas*, Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias **5**, 304-322 (2006).
- [13] Perkins, K., Adams, W., Dubson, M., Finkelstein, N., Reid, S. y Wieman, R., *PhET: Interactive Simulations for Teaching and Learning Physics*, The Physics Teacher **44**, 18-23 (2006).
- [14] García, B. y Bolívar, R., *Efecto de las simulaciones interactivas sobre las concepciones de los alumnos en relación con el movimiento armónico simple*, Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias **7**, 681-703 (2008).
- [15] Otero, M., Greca, I., Lang da, S. M., *Imágenes visuales en el aula y rendimiento escolar en Física: Un estudio comparativo*, Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias **2**, 1-30 (2003).
- [16] Guglielmino, R., *Using Spreadsheets in a Introductory Physics Lab*, The Physics Teacher **27**, 175-178 (1989).
- [17] Walter, K., *Simulating physics problems with computer spreadsheets*, The Physics Teacher **27**, 173-175 (1989).
- [18] Frank, M. y Kluk, E., *Equations of motion on a computer spreadsheet: the damped harmonic oscillator and more*, The Physics Teacher **28**, 308-311 (1990).
- [19] Carson, S., *Spreadsheets as dynamical modelling tools in investigations at GCSE and beyond*, Physics Education **30**, 89-94 (1995).
- [20] Diament, A. y Cleminson, A., *Spreadsheet simulations of physical phenomena*, School Science Review **78** (283), 29-35 (1996).
- [21] Buzzo, G. R., *Estrategia EE (Excel-Euler) en la enseñanza de la Física*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **1**, 19-23 (2007).
- [22] Gómez-Chacón, I., *Actitudes de los estudiantes en el aprendizaje de la matemática con tecnología*, Enseñanza de las Ciencias **28**, 227-244 (2010).
- [23] Coll, C. y Valls, E., *El aprendizaje y enseñanza de los procedimientos en los contenidos en la reforma*, Coll, C., Pozo, J. I., Sarabia, B. y Valls, E., (Santillana, Madrid, 1992).
- [24] Flavell, J. H., *Metacognition y cognitive monitoring: A new area of cognitive-development inquiry*, American Psychologist **34**, 906-911 (1979).
- [25] Pozo, J. I. y Gómez, C. M. A., *Aprender y enseñar ciencia*, (Ed. Morata, Madrid, 1998).
- [26] Sanjurjo, L. O., *La metacognición: Un concepto estructurante para la didáctica. En Fundamentos psicológicos de una didáctica operativa*, Aebli, H., Colussi, G. y Sanjurjo, L., (Homo Sapiens, Buenos Aires, 1995). Cap. III, pp. 77-93.