

TIC Y ESTRATEGIAS METACOGNITIVAS: EXPERIENCIA DIDÁCTICA SOBRE EL MOVIMIENTO OSCILATORIO ARMÓNICO

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

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

²Universidad Nacional del Comahue. Bariloche, Río Negro, Argentina.
maalvarez@unrn.edu.ar, araviolo@bariloche.com.ar

RESUMEN

Los procesos de reflexión y metacognición son de crucial importancia en la formación inicial del profesorado. 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. Esta secuencia de enseñanza se complementa con una propuesta de seguimiento y evaluación coherente al modelo de enseñanza aprendizaje que se pretende hacer vivenciar a los alumnos futuros docentes. Se describen, fundamentalmente, los resultados de carácter cualitativo. La propuesta está orientada al desarrollo e identificación de procesos metacognitivos puestos en juego.

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

ABSTRACT

In early teacher training the reflection and metacognition processes are very important. 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. Worthy of special note is the development and identification of the metacognitive processes involved.

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

INTRODUCCIÓN

Formación inicial de los profesores y metacognición

La formación inicial de un profesor de física 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. Una buena formación docente requerirá ir más allá de la asimilación acumulativa de esos aportes diferentes y demandará una resignificación de los mismos en una nueva área de trabajo que se ocupe particularmente la enseñanza de física en el contexto de la Didáctica de las Ciencias.

Esta resignificación de conocimientos apunta a la integración permanente de teoría y práctica relacionada con la enseñanza. En los intentos de renovación curricular se verifica la influencia del conjunto de ideas, actitudes y comportamientos sobre la enseñanza que poseen los profesores en actividad, formados especialmente en el período en que fueron alumnos (Furió y otros, 1992). Por ello, para fomentar el deseado cambio didáctico en futuros profesores se requiere de un trabajo colectivo de reflexión sobre el propio aprendizaje y sobre las prácticas asumidas acríticamente.

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 (Sanmartí, Burgoa y Nuño, 2011).

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 (Colussi, 1995). 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.

Sanjurjo (1995) comprueba que los alumnos del profesorado, en sus prácticas docentes, presentan dificultades en darse cuenta de los procesos que planifican o ejecutan en el aula, en describir los procesos realizados, en explicitar argumentos teóricos. Afirma que es importante que puedan integrar teoría y práctica, que las teorías que dicen saber tengan que ver con su accionar en el aula. Esto requiere un trabajo con los modelos sobre el aprender y enseñar que se han internalizado acríticamente por impregnación en las experiencias que han tenido como alumnos.

Por otro lado, y en relación con un proceso de renovación didáctica a través de la incorporación de TIC, el aprendizaje de los estudiantes dependerá de la calidad de las prácticas en las que participen dentro del aula (Coll, y otros, 2008). Para 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 2, 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, que fomenta procesos metacognitivos, 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.

Simulaciones y enseñanza de la física

El empleo de TIC como recurso en la enseñanza de la física ha evolucionado dado que en un primer momento estaba asociado más a la práctica experimental, mientras que en la actualidad se las utiliza fuertemente también en otros espacios de enseñanza como las clases teóricas y en la resolución de problemas (González, Capuano y Zalazar, 2009).

Las simulaciones en computadora son programas que permiten poner en funcionamiento un modelo de un proceso o fenómeno (Esquembre, 2004) 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 (Utges y otros, 2005). 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 aprendizaje al hacer hincapié en lo conceptual y evitar el rechazo que pueden generar en los estudiantes las ecuaciones matemáticas. En este sentido, Ortega, Medellín y Martínez (2010), 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 (2011).

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 y sacar 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, curvas y 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 (Rodríguez y Llovera, 2010).

Pese a todas las posibilidades que ofrecen las simulaciones informáticas, la mayoría de los artículos concuerda de 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 (García y Gil, 2006).

Enseñanza del movimiento oscilatorio armónico con TIC

Como producto de la revisión bibliográfica llevada a cabo, los antecedentes sobre la utilización de animaciones y simulaciones computacionales para la enseñanza del movimiento oscilatorio armónico se pueden clasificar 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 (2006), que presentan una serie de simulaciones enmarcadas en el proyecto PhET (Physics Education Technology) entre las que se encuentra la del oscilador armónico. 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 y Bolívar (2008) 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 permite: 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 (2003), 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

Entre las aplicaciones de las hojas de cálculo para simular el movimiento armónico se encuentra el trabajo de Walter (1989) 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. Frank y Kluk (1990) 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 (1995), 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, Diament y Cleminson (1996) 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 resolver la ecuación de movimiento por incrementos finitos.

Por su parte Buzzo (2007) 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.

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

METODOLOGÍA

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, identificando procesos metacognitivos puestos en juego.

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).

Durante las clases se procuró registrar lo sucedido, buscando 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. Esta carrera 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 disciplina desde primer año.

Secuencia de acciones e instrumentos

En el diseño general de esta investigación, la secuencia de acciones llevada a cabo puede sintetizarse en los siguientes puntos:

- 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.
- Administración como post test del test de actitudes.
- Evaluación sumativa final consistente en un cuestionario. Parte del cuestionario se responde observando una simulación.
- Entrega de informe grupales.

Los resultados cuantitativos obtenidos en el test de actitudes y el test conceptual se están procesando, por ello no son incluidos en esta presentación. En este trabajo se muestran los resultados cualitativos que surgen del seguimiento de la unidad didáctica realizada y de la evaluación final.

.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 (2006), 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 Figura 1.

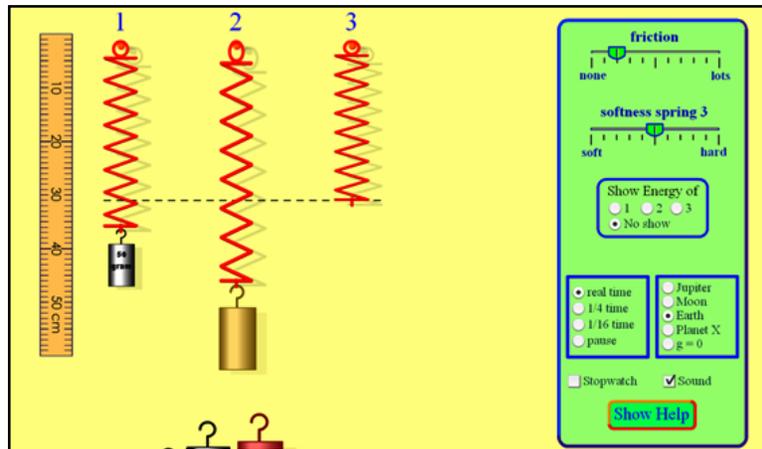


FIGURA 1. Ejemplo de simulación PhET sobre movimiento oscilatorio armónico.

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, los estudiantes construyeron una simulación del movimiento oscilatorio armónico. Se repitieron los análisis de las experiencias anteriores agregándole la posibilidad de variar el tipo de rozamiento y el estudio del 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 detalle de dicho algoritmo se puede ver en la Figura 2 y un ejemplo de la simulación resultante se observa en la Figura 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 utilizado para construir la simulación.

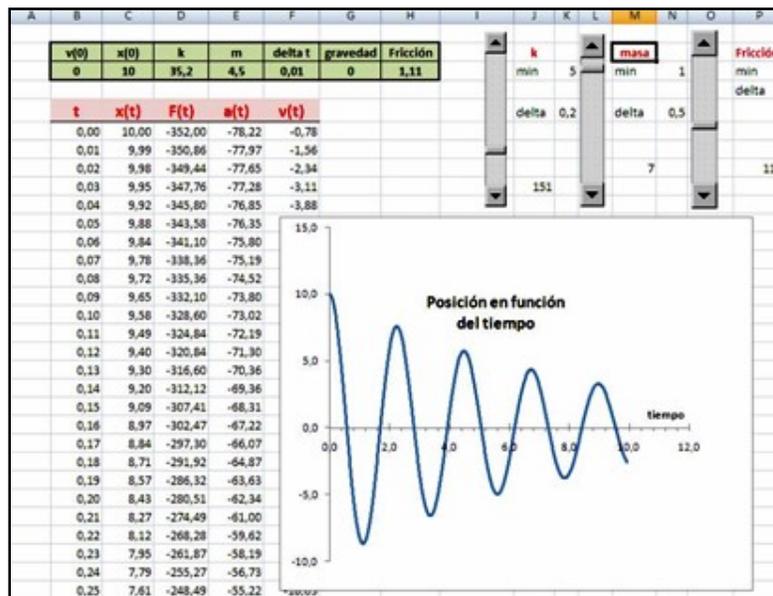


FIGURA 3. Ejemplo de simulación realizada con la hoja de cálculo.

Etapas 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.

• 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 la reflexión sobre los propios aprendizajes y sensaciones percibidas, así también como 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.

• Evaluación final

La evaluación conceptual final (ver Anexo) 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 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.

. 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.

RESULTADOS

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

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 por los 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? Cosa de mandinga, ¿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 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, ponele... 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”*.

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 a esta altura de la carrera didáctica general ni 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 que 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 no vas a tener gruesos errores por el tema de experimentar mal"*.

CONCLUSIONES

Las estrategias metacognitivas son esenciales en el aprendizaje de contenidos procedimentales. 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 (Pozo y Gómez, 1998).

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 la posición no varía linealmente con el tiempo? 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 (Pozo y Gómez, 1998). 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.

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 (Rodríguez y Llovera, 2010). 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 (1995) 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

- Buzzo Garrao, R. (2007). Estrategia EE (Excel-Euler) en la enseñanza de la Física, *Latin-American Journal of Physics Education*, 1, 19-23
- Carson, S. (1995). Spreadsheets as dynamical modelling tools in investigations at GCSE and beyond, *Physics Education*, 30, 89-94.
- Coll, C., Mauri, T. y Onrubia, J. (2008). Análisis de los usos reales de las TIC en contextos educativos formales: una aproximación sociocultural, *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 10(1)
- Coll, C. y Valls, E. (1992). El aprendizaje y enseñanza de los procedimientos, en *Los contenidos en la reforma*. Coll, C, Pozo, J. I., Sarabia, B. y Valls, E., Madrid: Santillana.
- Colussi, G. (1995). Las investigaciones en metacognición. Reconsideraciones teóricas. En *Fundamentos psicológicos de una didáctica operativa*. Aebli, H., Colussi, G. y Sanjurjo, L. Cap. III, 77-93. Buenos Aires: Homo Sapiens.
- Diament, A. y Cleminson, A. (1996). Spreadsheet simulations of physical phenomena, *School Science Review*, 78(283), 29-35
- Gómez-Chacón, I. (2010). Actitudes de los estudiantes en el aprendizaje de la matemática con tecnología, *Enseñanza de las Ciencias*, 28, 227-244.
- González, M., Capuano, V., Zalazar, J. (2009). 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*.
- Esquembre, F. (2004). *Creación de simulaciones interactivas en Java: aplicación a la enseñanza de la Física*. Pearson, Madrid.
- Flavell, J. H. (1979). Metacognition y cognitive monitoring: a new area of cognitive-development inquiry, *American Psychologist*, 34, 906-911.
- Frank, M. y Kluk, E. (1990). Equations of motion on a computer spreadsheet: the damped harmonic oscillator and more, *The Physics Teacher*, 28, 308-311.
- Furió, C., Gil, D., Pessoa, A. y Salcedo, L. (1992). La formación inicial del profesorado de educación secundaria: papel de las didácticas específicas, *Investigación en la Escuela*, 16, 7-21.
- García Barneto, A. y Gil Martín, M. R. (2006). Entornos constructivistas de aprendizaje basados en simulaciones informáticas, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 5, 304-322.
- García Barneto y Bolívar Raya (2008). 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.
- Guglielmino, R. (1989). Using Spreadsheets in a Introductory Physics Lab, *The Physics Teacher*, 27, 175-178.
- McDermott, L. (1990). 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.
- Ortega Zaragosa, Medellín Anaya y Martínez, J. R. (2010). Influencia en el aprendizaje de los alumnos usando simuladores de física, *Latin-American Journal of Physics Education*, 4, 953-956.
- Otero, M., Greca, I. Lang da Silveira, M. (2003). Imágenes visuales en el aula y rendimiento escolar en Física: un estudio comparativo, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2, 1-30.
- Perkins, K. Adams, W., Dubson, M., Finkelstein, N., Reid, S., y Wieman, R. (2006). PhET: Interactive Simulations for Teaching and Learning Physics, *The Physics Teacher*, 44, 18-23.
- Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Ed. Morata.
- Raviolo, A., Alvarez, M. y Aguilar, A. (2011). La hoja de cálculo en la enseñanza de la Física: re-creando simulaciones. *Revista Enseñanza de la Física*, 24, 97-107.
- Rodríguez-Llerena, D., Llovera-González, J. (2010). 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, *Latin-American Journal of Physics Education*, 4, 181-187.

Sanjurjo, L. O. (1995). La metacognición: un concepto estructurante para la didáctica. En *Fundamentos psicológicos de una didáctica operativa*. Aebli, H., Colussi, G. y Sanjurjo, L. Cap. III, 77-93. Buenos Aires: Homo Sapiens.

Sanmartí, N., Burgoa, B. y Nuño, T. (2011). ¿Por qué el alumnado tiene dificultad para utilizar sus conocimientos científicos escolares en situaciones cotidianas? *Alambique*, 67.

Utges, G., Fernández P. y Jardon A. (2003). Simulaciones en la enseñanza de la Física. Nuevas prácticas, nuevos contenidos, *Memorias Decimotercera Reunión Nacional de Educación en Física*, Río Cuarto.

Walter, K. (1989). Simulating physics problems with computer spreadsheets, *The Physics Teacher*, 27, 173-175.

ANEXO

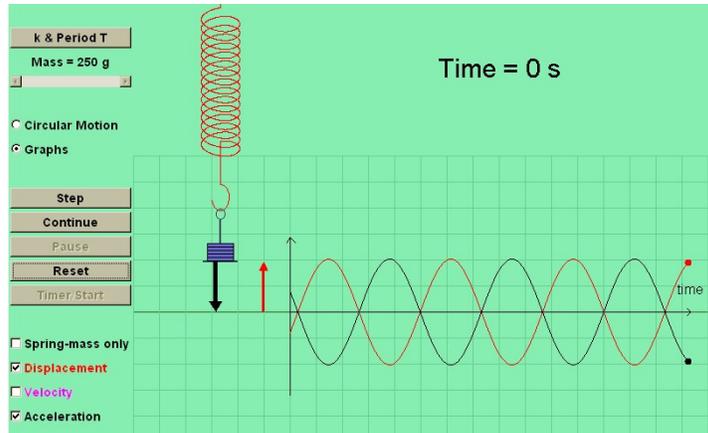
(Empleando la simulación: <http://ngsir.netfirms.com/englishhtm/SpringSHM.htm>)

1- A partir de la medición del período del oscilador armónico, al dejar libre el objeto con una amplitud de dos unidades (cuadraditos) y una masa de 250g contestar las siguientes preguntas:)

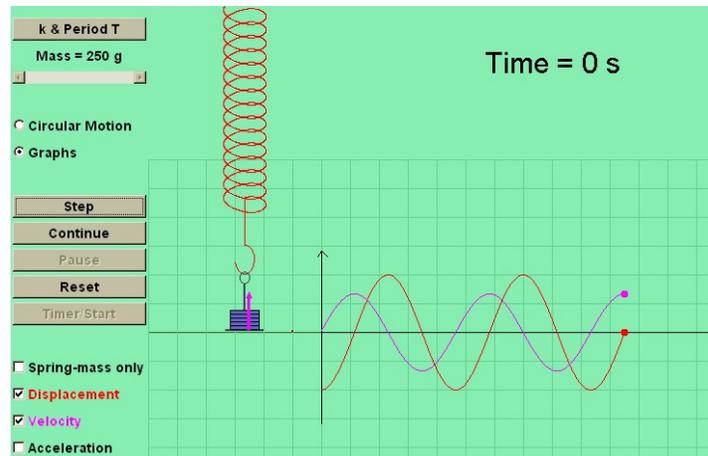
1a- ¿Qué va a pasar con el periodo si dejamos todo igual salvo que la posición inicial es de 4 unidades en vez de 2? Justificar.

1b- ¿Qué va a pasar con el periodo si dejamos todo igual salvo la masa que la cambiamos al doble (o sea, 500g)? Responder cualitativamente (más, menos o igual periodo) y cuantitativamente (¿cuál va a ser el periodo?)

2- En la figura se ve el gráfico de posición vs t superpuesto al de aceleración vs. t. ¿Cómo lo explicarías? En particular, interpretar el último instante graficado.



3- En la figura se ven superpuestos los gráficos de posición vs. t y de velocidad vs t. ¿Cómo se pueden interpretar? En particular explicar el último instante graficado.



4- Si se aumenta la amplitud a 3 unidades (3 cuadraditos) en vez de dos ¿cómo sería el gráfico de velocidad vs. t respecto del punto anterior? Justificar.