

## Imágenes visuales en el aula y rendimiento escolar en Física: un estudio comparativo

Maria Rita Otero<sup>1</sup>, Ileana Maria Greca<sup>2</sup> y Fernando Lang da Silveira<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Formación Docente, Facultad de Ciencias Exactas, UNICEN, Argentina. E-mail: [rotero@exa.unicen.edu.ar](mailto:rotero@exa.unicen.edu.ar). <sup>2</sup>PPGCIEN-ULBRA, Brasil. E-mail: [ilegreca@terra.com.br](mailto:ilegreca@terra.com.br). <sup>3</sup>Instituto de Física, UFRGS, Brasil. E-mail: [lang@if.ufrgs.br](mailto:lang@if.ufrgs.br).

**Resumen:** Este trabajo compara el rendimiento de dos grupos de estudiantes de Física del Nivel Polimodal<sup>1</sup> cuando en uno de ellos se lleva a cabo un tratamiento demostrativo que enfatiza el uso de recursos visuales (como imágenes estáticas, animaciones y applets) y en el otro, un abordaje tradicional. La comparación se realizó en torno a la unidad didáctica Oscilaciones libres, amortiguadas y forzadas. Los estudiantes resolvieron una prueba inicial y una prueba final cuyas actividades solicitaban predecir y explicar. Se realizó un Análisis de Variancia y Co-variancia para comparar las medias de los grupos en la prueba final, empleando como co-variable el puntaje obtenido en la prueba inicial. No se encontraron diferencias significativas entre el rendimiento medio del grupo que trabajó con imágenes externas y el grupo que trabajó de manera tradicional. Se discuten los resultados desde el marco teórico de los modelos mentales, y se formulan nuevas preguntas para la investigación.

**Palabras clave:** enseñanza de la Física, imágenes externas, modelo mental, representación mental, software educativo.

**Title:** Visual images in the classroom and school performance in Physics: A comparative study.

**Abstract:** This work compares the performance of two groups of students level physics when one of them carries out a demonstrative treatment that emphasizes the use of visual resources (static images, animations, applets) and the other a boarding traditional. The comparison was made into the teaching unit Free oscillations, dimmed and enforced. Students resolved one initial test and a final test whose activities requested predict and explain. An analysis of variance and co-variance was conducted to compare the averages of groups in the final test, using the score as co-variable obtained in the initial test. No significant differences were found between the performance of the group who worked with external images and the group worked in traditional manner. Discusses the results from the theoretical framework of the mental models, and new questions for the research.

**Keywords:** teaching physics, external images, mental model, representation mental, courseware.

---

<sup>1</sup>En Argentina la *Educación General Básica* (EGB) se extiende a 9 años, el ciclo superior de la educación media se sustituyó por tres años de escolaridad secundaria, que constituyen el denominado *Nivel Polimodal*.

## **Presentación del problema**

Este trabajo forma parte de una investigación que aborda la relación entre las imágenes externas y la construcción de conocimiento en la enseñanza de la Física. En general, se espera que los estudiantes de física del nivel medio y universitario logren explicar y predecir un fenómeno físico, tomar decisiones cuando resuelven un problema, comprender y expresarse empleando diferentes sistemas de representación, como gráficas, esquemas, expresiones matemáticas vectoriales y escalares y por lo menos, transformar el conocimiento físico, aplicándolo a fenómenos estructural y conceptualmente similares. Para realizar las actividades cognitivas mencionadas, los estudiantes tienen que construir modelos mentales, cuyos productos -descripciones, explicaciones, predicciones- pueden o no, coincidir con los científicamente aceptados.

Nuestro trabajo adopta las concepciones de representación mental y de modelo mental de Johnson-Laird (1983, 1990, 1996). La noción de modelo mental, inicialmente formulada en el ámbito de los estudios de la deducción y el razonamiento silogístico (Johnson-Laird, 1983, Johnson-Laird y Byrne, 1991) se extendió con gran suceso a otros ámbitos de la Psicología Cognitiva (de Vega y Marschark, 1996:11) como la comprensión del lenguaje (Glenberg, Meyer y Lindem, 1987; de Vega, 1994), la resolución de problemas en matemática (Schwartz y Moore, 1998); el imaginamiento físico (Schwartz, 1999; Schwartz y Black, 1996) y la cognición visio-espacial en general (de Vega y Marschark, 1996, Johnson-Laird 1996). Fuera del ámbito específicamente cognitivo, la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird se ha mostrado como un referencial adecuado en el campo de la Enseñanza de las Ciencias (Moreira, 1996; Greca, 1995; Greca y Moreira, 1996 a, 1996 b, 1998, 2000; Lagreca y Moreira, 1999; Rodríguez Palmero, 2000; Otero, 1998 a, 1998 b; Otero y Banks Leite, 1998; Elichiribehety y Otero, 2002).

Lograr que los estudiantes construyan representaciones mentales adecuadas, que les permitan predecir y explicar según los patrones científicamente aceptados, es una tarea muy compleja, en la que intervienen una variedad de factores, entre los que se encuentran las características de las representaciones externas que se emplean para enseñar y comunicar conocimiento y la manera en que dichas representaciones son utilizadas. Enmarcados en una cultura visual que impacta significativamente en la educación (Anijar, 2000; Dalton, 1999, Ellsworth, 1997; Fischman, 2001; Giroux, 1994, 2000; Novoa, 2000; Tobin, 2000) una parte considerable de los materiales que se elaboran para enseñar, asigna un papel relevante al uso de imágenes y representaciones externas de carácter pictórico.

Las investigaciones provenientes de la Psicología Cognitiva muestran que ciertas imágenes externas podrían colaborar en la comprensión y el razonamiento (Barlow, 1990; Duchastel, 1981, 1988; Johnson-Laird, 1983, 1990, 1996; Vezin J. F y Vezin L., 1988; Zimmermann et. Al, 1991; Denis, 1989; Denis M. y de Vega M, 1990; Davis, 1993; Dreyfus, 1992; Shin Sun-Joo, 1994; Bosch i Casabó, 1994, Schwartz y Moore, 1999). Así, las imágenes empleadas en materiales instruccionales como textos, hipertextos y software multimedia, podrían afectar el aprendizaje de las ciencias en

general, y el de la Física en particular. Una pregunta esencial es qué forma de trabajar las representaciones externas imagísticas en situaciones de aprendizaje sería apropiada y beneficiosa (Arnaud, 1988:579; Johsua, 1988:692; Astolfi, 1988:700).

En un estudio anterior (Otero, Moreira y Greca, 2002 a) exploramos las características del uso de imágenes externas en libros de texto de Física y encontramos que enfatizan el uso de imágenes, según el Nivel Educativo. En particular, los libros dirigidos a los primeros años de la enseñanza secundaria utilizan muchas imágenes y no parecen considerar que ellas son objeto de interpretación, procediendo como si las representaciones pictóricas fueran auto-evidentes y beneficiosas de por sí. Evidentemente, la utilización de textos escolares presupone la tarea del profesor, pero a veces, los profesores "siguen" un libro de texto, sin demasiada reflexión acerca del contenido y de las actividades que se proponen. Si el libro "seguido" se limita a colocar las imágenes, como si bastara mirarlas, es posible que sólo esta actividad se realice con ellas en clase. Tal como señala Jacquinet (1988:607) *"Históricamente, se ha estado preocupado de la imagen para aprender, antes que interesarse por la imagen a aprender: toda la pedagogía de la imagen, fundada sobre la hipótesis analógica, reposa de hecho, en la ilusión de la transparencia de los sentidos"*.

La construcción de representaciones mentales adecuadas para aprender física, requiere que el sistema cognitivo seleccione e integre el conocimiento expresado en las representaciones externas con las propias representaciones internas. Al parecer, la manera en que se entiende la relación entre la representación externa y la representación mental orienta el uso pedagógico de las imágenes externas. En la sección siguiente, discutimos dos modos muy diferentes de concebir esa relación: una de ellas emerge de nuestro marco teórico, sustentado en la Psicología Cognitiva, la otra, se nutre de la "psicología popular" y de ciertas concepciones que se fundan en la denominada "metáfora de la figura". Estas dos vertientes dan lugar a predicciones contrarias respecto de qué usos de la imagen externa serían adecuados para aprender. En este trabajo pretendemos testar una de estas predicciones, según explicitaremos a continuación.

### **Relación entre representaciones externas y representaciones internas**

Las representaciones externas -como las utilizadas en Física- expresan conocimiento por medio de símbolos, objetos y dimensiones (por ejemplo: símbolos escritos, cuentas de un ábaco, dimensiones de un gráfico) y también por medio de reglas externas, condiciones o relaciones incorporadas en las configuraciones físicas (relaciones espaciales de posición en los dígitos escritos de un número, trazados visuales y espaciales en un diagrama y condiciones físicas en un sistema). La información contenida en las representaciones externas ingresa a un proceso perceptivo de *abajo hacia arriba*). Según la visión emergente desde la Psicología Cognitiva, el "conocimiento" que se obtiene por esta vía, no es explícito y está encapsulado en las computaciones de los módulos de nivel inferior (Johnson-Laird, 1990:120). Pero cuando los objetos tienen que ser identificados, interviene el conocimiento que cada sujeto ha representado internamente. Tal proceso es de *arriba hacia abajo* y no está guiado por los

datos, sino por las representaciones internas, que hasta pueden facilitar o inhibir el proceso perceptivo (Johnson-Laird, 1990:120).

Parecería natural pensar, como de hecho surge de la psicología popular, que las representaciones externas derivan necesariamente en la construcción de representaciones internas. Sin embargo, algunos resultados de investigaciones provenientes de la Psicología Cognitiva son contrarios a esta afirmación. Por ejemplo, cuando las representaciones externas están siempre disponibles, o cuando son excesivamente complejas, puede ocurrir que el sujeto no represente internamente la información (Zhang, 1997: 181). Otras veces, la información contenida en representaciones externas es ambigua, o el individuo no tiene disposición para aprender, y por eso no construye representaciones mentales. Por ejemplo, si un profesor afirma que un alumno: *"no construyó el concepto de fuerza recuperadora elástica"*, desde una visión cognitiva interpretamos que no representó mentalmente, de manera significativa, ciertas informaciones nucleares (centrales, claves) vinculadas al fenómeno oscilaciones, que le permitieran conceptualizar adecuadamente lo que en física convenimos en denominar fuerza elástica. Y esto, suele suceder aún, cuando el estudiante haya participado de una situación de enseñanza, que le suministró una variedad de representaciones externas.

Entonces, la percepción visual de una imagen externa, no necesariamente tiene que reflejarse en la construcción de una imagen interna, e incluso, podría no derivar en ninguna otra forma de representación mental. Sin embargo, como Johnson-Laird (1990:56) analiza refiriéndose a confusiones acerca de la imagen mental, una creencia procedente de la psicología popular es que el ojo, es como una cámara de televisión, se apunta a una escena y el ojo la registra, proyectando una fotografía "en la cabeza". Desde Platón hasta Aristóteles, pasando por los padres de la Psicología como Wilhelm Wundt y Willam James, se consideró (Kosslyn, 1996:1; Ortells, 1996) que las imágenes externas consistían en remanentes, o copias internas de complejos de sensaciones e impresiones visuales. Esta idea, vinculada a lo que posteriormente se dio en llamar la *"metáfora de la figura en la cabeza"* (Kosslyn, 1986, 1996) permanecería arraigada aún en un nivel general de conocimiento común. Más aún, los resultados de una investigación que realizamos acerca del uso de las imágenes en los libros de texto de Física, indican que esta idea parece orientar buena parte del tratamiento dado a las imágenes externas en el ámbito escolar y en los libros de texto de Física (Otero, Moreira y Greca, 2002 a).

En Psicología Cognitiva, la teoría de los modelos mentales establece que para realizar predicciones, por ejemplo acerca de la evolución de un sistema físico, es necesario construir algún modelo mental del sistema, que integra elementos, propiedades y relaciones. Los modelos mentales, pueden originarse por imaginamiento físico, o no. El imaginamiento físico (Shwartz, 1999) ocurre cuando alguien imagina un objeto que está causando un cambio sobre otro, e incorpora las causas, es decir, los aspectos dinámicos de un fenómeno físico, construyendo una representación interna de las acciones mutuas entre un cuerpo y otro, que estaría escasamente vinculada con la visión perceptiva de dichas acciones. Cuando se hacen inferencias a partir del imaginamiento físico, se debe representar información que

coordine las interacciones entre los objetos imaginados, es decir que las inferencias se realizan a partir de "visualizaciones internas de la acción". Otros modelos mentales, que también permiten hacer predicciones acerca del comportamiento del sistema, podrían involucrar información conceptual o perceptiva y no incorporar la representación de los aspectos dinámicos de la situación. Frente a una situación física dada, es difícil identificar con base en qué tipo de modelo, se predice el comportamiento del sistema, y tal identificación está fuera de los alcances de este trabajo.

Por ejemplo, cuando se pregunta a los estudiantes: ¿qué sucederá si se cambia el resorte de un sistema oscilante por otro "más duro"?, se espera que ellos predigan el incremento de la frecuencia de oscilación, y como se ha mencionado, una predicción se interpreta como evidencia indirecta de un modelo mental. La conclusión, también podría obtenerse a partir de una representación mental del tipo: "un resorte más duro tiene mayor constante, y entonces el sistema oscilará más veces por segundo". O bien, alguien podría generar un modelo que representa el incremento de la constante, e imaginar internamente que el sistema oscila más rápido y concluirlo a partir de su representación de la acción de oscilar. En esta última forma, llamada "*imaginamiento dinámico*", son las acciones físicas representadas internamente, las que hacen evidente una conclusión que no estaba formulada explícitamente desde el principio (Schwartz, 1999). Para Shwartz, el imaginamiento dinámico no estaría vinculado a la percepción, entonces poca contribución con la construcción de modelos dinámicos podría esperarse, si los estudiantes sólo miran las imágenes, animaciones y simulaciones externas.

¿Es posible que ciertas representaciones externas como imágenes, animaciones y simulaciones, ayuden a comprender en Física?. La idea de que las imágenes externas pueden afectar la representación interna del conocimiento es un supuesto básico de nuestra investigación; por su parte, Johnson-Laird (1996) aporta evidencia acerca de que ciertas imágenes externas como diagramas, podrían colaborar en el razonamiento. Extendiendo esta idea, nosotros consideramos que la influencia de las imágenes externas en general sería beneficiosa, si ellas intervienen auxiliando el proceso de construcción de modelos mentales adecuados para aprender Física (Otero, Moreira, Greca 2002 b). Por otra parte, esta colaboración parecería requerir de un uso pedagógico de la imagen mucho menos *optimista* que el que se deriva de las concepciones emergentes de la psicología popular.

Las imágenes estáticas, las animaciones (imágenes cinemáticas) y los programas interactivos como *applets*, ofrecen múltiples posibilidades tales como observar a voluntad el desarrollo de ciertos fenómenos físicos, graficar la variación temporal de las magnitudes físicas involucradas, efectuar mediciones, y plantear problemas. Así, las simulaciones, podrían operar como un modelo conceptual -en el sentido de Norman (1983)- que enfatizando aspectos fuertemente visuales y analógicos, colaboraría en la construcción de los significados internos. A partir del software de simulación, el sujeto podría "rodar" su modelo mental y modificarlo cuando detecta desajustes entre sus predicciones y lo que la visualización externa le muestra, hasta obtener un modelo interno que le satisfaga. La ejecución recursiva y la búsqueda de modelos alternativos que falsen la conclusión es

una propiedad esencial de los modelos mentales. La posibilidad de repetir el fenómeno, vía animaciones y simulaciones, tal vez, facilitaría la búsqueda de modelos alternativos.

Debido al software, la representación externa de la situación está disponible y se alivia la carga de la memoria de trabajo, que es clave para chequear las previsiones de un modelo mental, y para sostener simultáneamente más de un modelo interno (Johnson-Laird, 1996). Si los modelos mentales se originan parcialmente en la percepción, sería razonable que las imágenes externas en general colaboren en su construcción, pero también el proceso interpretativo que "extrae" información conceptual contenida en las imágenes tendría importancia en la evolución de los modelos. Ciertas imágenes externas integradas a modelos conceptuales en el sentido de Norman (1983), podrían facilitar la construcción conceptual y la comprensión, es decir la generación de Modelos Mentales, pero no se trataría sólo de proporcionar una imagen y esperar que sea "*fotografiada por los ojos de la mente*". El proceso, que integraría las representaciones internas y las externas, sería enormemente complejo - "*top down*" interpretativo y estratégico (van Dijk, 1992)-.

En síntesis, las relaciones directas entre imágenes internas y externas atribuidas desde la psicología popular -sencillez, simplicidad, auto-evidencia, transparencia, adecuación al desarrollo- que parecen influenciar un uso más sensorial que cognitivo de la imagen externa en los textos de Física (Otero, Moreira y Greca, 2002 a) y su utilización por parte de los profesores, contradicen las predicciones derivadas de la Psicología Cognitiva. En este trabajo intentamos testear una de esas predicciones, preguntándonos si la utilización demostrativa de imágenes, animaciones y simulaciones externas, como parte de un ambiente visual, durante una secuencia de clases, afecta el rendimiento de los estudiantes en Física. El rendimiento se evalúa a partir de los resultados obtenidos en una prueba que contiene actividades para explicar, ejemplificar, resolver y predecir, que se consideran una evidencia indirecta de la construcción interna de modelos mentales. Es decir, según la psicología popular, que como hemos reiterado guiaría el uso de imágenes en el aula, la sobreabundancia de imágenes y un tratamiento demostrativo deberían favorecer el rendimiento de los alumnos, mientras desde nuestro marco teórico, este tipo de tratamiento tendría poco o ningún efecto. Destacamos que en este trabajo sólo se analiza si el tratamiento visual propuesto tiene impacto en el rendimiento medio de los estudiantes, y no en cada una de sus representaciones individuales.

#### *Preguntas de la investigación*

1) ¿Se obtienen diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento medio de los estudiantes de dos cursos de Física, cuando en uno se realiza un tratamiento demostrativo basado en imágenes externas (imágenes estáticas, animaciones, simulaciones y *applets*) y en el otro, se realiza un abordaje tradicional?.

2) ¿Qué implicaciones pueden hacerse para la Enseñanza, y para la Investigación en Enseñanza de las Ciencias?

## **Metodología y diseño del estudio**

### *a) Los grupos que se comparan*

La comparación se realizó entre dos cursos de física del Nivel Polimodal. El grupo de control, está integrado por 24 sujetos de alrededor de 16 años de edad y el grupo experimental, está formado por 26 sujetos. Los estudiantes asisten a la misma institución escolar. El rendimiento escolar de los dos grupos de sujetos es similar en general, y en la disciplina Física también.

La selección del tema: Oscilaciones libres, forzadas, amortiguadas y sus aplicaciones, obedece a varios factores. En primer lugar, es relevante dentro de la física y tiene entidad propia, así, en los textos universitarios de Física básica, el capítulo Oscilaciones recibe un tratamiento diferenciado de aquellos que abordan los fenómenos ondulatorios. Si bien es infrecuente que el tratamiento escolar lo constituya en una unidad didáctica, el tema integra los contenidos básicos de Física propuestos para del Nivel Polimodal. Usualmente, algunos pocos conceptos y tópicos se incorporan a una unidad denominada "ondas y sonido" u "ondas y luz". Debido a la dificultad matemática que plantea, el tema se presta para intentar comunicarlo a partir de otros lenguajes, como el visual y de otros sistemas de representación, como gráficos y vectores, evitando el tratamiento con ecuaciones diferenciales. En segundo lugar, existe software disponible y de buena calidad, que aborda con distintos niveles de profundidad, los aspectos visuales y matemáticos referidos a oscilaciones y sistemas oscilantes (ecuaciones diferenciales, álgebra vectorial, representación temporal de las magnitudes). En este trabajo, usamos las herramientas privilegiando la visualización y minimizando la matemática. En tercer lugar, es un tema "nuevo" para los estudiantes, cuya comprensión requeriría la construcción de representaciones complejas, integrando y resignificando un conjunto considerable de conocimientos anteriores de una manera nueva. Esto, otorga cierta confiabilidad adicional, a la hora de vincular e interpretar las producciones de los estudiantes con sus representaciones internas, originadas a partir del tratamiento llevado a cabo.

Con el objetivo de que ambos grupos trabajaran los mismos contenidos, en el mismo tiempo y con la misma secuencia, se elaboró un material escrito común, que unificó todas las tareas a desarrollar en las clases. El material, básicamente textual, incluyó pocas imágenes y proporcionó definiciones, explicaciones, expresiones matemáticas, representaciones vectoriales y gráficas. Podría decirse que el texto escrito, estuvo más próximo al estilo de un texto universitario, pero el discurso se adaptó a los estudiantes del nivel medio y a una secuencia de trabajo áulico particular y controlada. Los alumnos sabían que se estaba realizando una investigación, aunque no se precisó su contenido. Las obligaciones y responsabilidades de los alumnos no fueron afectadas por la investigación. No se pretendió que un grupo no usara ninguna imagen y el otro muchas; en el grupo de control se trabajó de manera tradicional, fundamentalmente con algunos esquemas y gráficas, según fuera necesario. En el grupo experimental, por el contrario, se trató de crear un ambiente visual, en el que sobreabundaron

diversas clases de imágenes, como parte del trabajo del grupo de clase y del profesor, aunque dentro de un uso demostrativo de las imágenes.

Para desarrollar la secuencia didáctica, los grupos sostuvieron encuentros que totalizaron 10 horas; el profesor fue el mismo en los dos casos y el investigador, actuó como observador no participante. Además de este tiempo, se utilizaron cuatro horas para la aplicación de las pruebas inicial y final respectivamente. Así, la secuencia total se extendió por un lapso de aproximadamente cuatro semanas ya que el curriculum establece una carga horaria de 3 horas reloj semanales para la disciplina Física.

*b) El tratamiento visual*

Para generar el "ambiente visual", durante cada encuentro del profesor con los estudiantes, se utilizó un cañón electrónico que permitía trabajar con luz natural, conectado a un ordenador. Las imágenes se proyectaron en una pantalla de dimensiones considerables, ubicada en una de las paredes del laboratorio de Física de la escuela. Además de la pantalla, el aula tenía en otra pared la pizarra tradicional, y los alumnos permanecían sentados o de pie, según fuera necesario, alrededor de sus mesas de laboratorio. Durante toda la clase, las imágenes cinemáticas como animaciones, las simulaciones y los *applets*, fueron utilizadas por el docente de manera demostrativa. Los alumnos podían solicitar interrupciones, repeticiones de animaciones, modificación de parámetros en las simulaciones y aclaraciones. Cuando se estudiaron relaciones entre magnitudes físicas, estas se predecían, luego se realizaban los experimentos simulados y se chequeaban las predicciones. El software utilizado, permitió "tomar" datos, graficarlos y modificar los parámetros del sistema.

Cada estudiante dispuso del material escrito, que sirvió como soporte. Para resolver un problema, los alumnos del grupo experimental lo hacían en sus cuadernos y luego, se ejecutaba la simulación para comparar. Si los alumnos manifestaban dificultades para resolver una actividad indicada como tarea, ésta se visualizaba con la simulación y si era necesario, también se resolvía en la pizarra. Los estudiantes del grupo de control, sólo trabajaron con las pocas imágenes que contenía el material escrito y con los esquemas y gráficas trazados por el profesor. El software utilizado en las clases del grupo experimental, fue obtenido gratuitamente en Internet. Los recursos empleados fueron los siguientes:

- *Física con ordenador Curso Interactivo de Física en Internet (Física)*<sup>2</sup>

Se trata de un curso muy interesante y completo de Física por Internet, creado por Angel Franco García. El curso contiene la definición de conceptos, la posibilidad de simular experimentos de laboratorio, la resolución de problemas y problemas juego. Su interactividad reside en la posibilidad de ejecutar una gran variedad de *applets*, que son pequeños programas escritos en lenguaje Java. El usuario interactúa con un *applet* del mismo modo que lo hace con cualquier otro programa de los denominados "amigables". Se introducen los valores iniciales, y se observa la evolución del sistema físico programado. Los *applets* a diferencia de los

---

<sup>2</sup>Física con Ordenador Curso Interactivo de Física en Internet. Angel Franco García. Escuela Técnica Universitaria de Energía Industrial de Eibar. <http://www.sc.ehu.es/sbweb/index.htm>



programas, tienen un interfaz de usuario muy simple y requieren muy pocas instrucciones de manejo.

En nuestro trabajo se utilizaron ciertos *applets* del Curso Física Interactiva, pertenecientes al capítulo Oscilaciones. Como este curso ha sido pensado para estudiantes universitarios de física básica, su nivel resulta elevado para estudiantes de Polimodal. Esta investigación no está analizando los beneficios que reporta un curso completo como el mencionado. Sólo se emplearon los *applets* adecuados para la secuencia didáctica propuesta, en este tema en particular.

Dentro del Curso de Física Interactiva, merece destacarse un *applet* que permite estudiar las oscilaciones forzadas. Se puede introducir la constante de amortiguamiento, la frecuencia de la oscilación forzada y las condiciones iniciales. La ejecución muestra el movimiento del oscilador, los gráficos de la posición del móvil en función del tiempo, la energía del oscilador en función del tiempo, y la trayectoria del móvil en el espacio de las fases. Se puede distinguir entre estado transitorio y estacionario, tomar datos de la amplitud del oscilador en el estado estacionario y trazar un gráfico de la respuesta en amplitud del oscilador forzado. Finalmente, se observa la diferencia de fase entre la fuerza impulsora y la velocidad del móvil a fin de reconocer la condición de resonancia. Se representan "on-line" los vectores fuerza y velocidad sobre la trayectoria, esto resulta fundamental en la conceptualización del fenómeno de resonancia.

- *Java Cyber Physics*<sup>3</sup>

Se trata de un conjunto de *applets* referidos a diversos temas. En particular utilizamos el conjunto denominado *pendulum*, porque permitían comprobar las leyes del péndulo y mostrar las relaciones entre las magnitudes, además de poner en evidencia el control y la separación de las variables, que a los estudiantes les resulta compleja. Si bien estos *applets* no poseen gran atractivo visual, permitieron presentar una opción adicional para el mismo tema durante la clase.

- *Modellus (Interactive Modeling with Mathematics)*<sup>4</sup>

Se trata de un programa creado por Vitor Duarte Teodoro y Joao Paulo Duque Vieira. Este software permite la creación sencilla de animaciones de fenómenos físicos, cuando se conoce el modelo matemático subyacente y tiene una interfaz muy atractiva para el usuario, permitiendo la visualización simultánea de gráficos de diversas magnitudes. Los estudiantes podrían programar las animaciones y generar sus propios materiales y demostraciones, evaluando qué sucede si se modifican las condiciones en el modelo. Si la opción de programación no es accesible al estudiante, se pueden usar las animaciones prediseñadas, por ejemplo por el profesor.

---

<sup>3</sup>Java Cyber Physics Autor : Jong Heon Kim

<sup>4</sup>*Modellus Interactive Modeling with Mathematics*. Autores Vitor Duarte Teodoro, Joao Paulo Duque Vieira. Filipe Costa Clérigo. Facultad de Ciencia y Tecnología. Nueva Universidad de Lisboa. Portugal. Versión 1.0 Copyright 1997. FCTUNL Knowledge Revolution. Help File by Guide Works, LLC. Knowledge Revolution. 66 Bovet Road, Suite 200. San Mateo, CA 94402, [www.krev.com](http://www.krev.com).

En este trabajo hicimos uso de animaciones que generamos para las actividades que nos interesó visualizar. La posibilidad de introducir el modelo matemático resultó interesante porque nos permitía resolver "visualmente" los mismos problemas que habíamos colocado en los materiales. Como en los casos anteriores, hicimos un uso muy restringido de este instrumento, orientado exclusivamente al tratamiento de la imagen que nos proponíamos realizar.

- *Applets Java de la Física*<sup>5</sup> (Phs)

Es un conjunto de *applets* sobre mecánica creados por Walter Fendt. El sitio original tiene mirrors en diversas universidades del mundo. Se seleccionó la versión en español, que contiene 25 *applets*. Los utilizados en este trabajo fueron únicamente Péndulo, Muelle Oscilante y Oscilaciones Forzadas (resonancia). Los *applets* son muy coloridos y tienen una interfaz bastante sencilla. Cuando se introducen los valores en el sistema, las pantallas muestran las unidades en las que las magnitudes físicas se expresan. El área de la simulación tal vez resulta pequeña, comparada con la totalidad del área de trabajo. El *applet* representa el fenómeno físico y gráficos de variación temporal, activando distintas opciones como, aceleración, o fuerza o energía. Si corresponde, se representan los vectores y se observa su variación temporal.

- *The Pendulum Lab (Pendulum)*<sup>6</sup>

Se trata de un sitio completo sobre el péndulo creado por Franz-Josef Elmer. Contiene una parte de teoría, denominada sala de lectura y otra de simulaciones para cada uno de los casos tratados en la sala de lectura. La teoría incluye una resolución completa de las ecuaciones diferenciales en los casos de linealidad y de no linealidad, con diferentes condicionamientos para la fuerza impulsora, que llegan hasta dinámica no lineal y caos determinístico. Se incluyen algunos tópicos especiales como fractales.

El nivel matemático de la *Sala de Lectura*, excede completamente los conocimientos del grupo de estudiantes con el que trabajamos. En consecuencia nos circunscribimos sólo a la sección de simulaciones, en lo que respecta al péndulo como un oscilador armónico ideal y a los casos de amortiguamiento y oscilaciones forzadas con fuerzas impulsoras armónicas. Este programa incorpora la pantalla de un osciloscopio como parte del área de trabajo, aspecto que lo vuelve muy interesante a nivel escolar, donde tener acceso a un osciloscopio es casi imposible.

Si bien las posibilidades que ofrece "*The Pendulum Lab*" son enormes, en nuestro caso sólo consideramos el fenómeno de resonancia en condiciones de linealidad. El programa muestra cómo y bajo qué condiciones, una fuerza horizontal armónica aplicada en el punto de suspensión del péndulo, puede hacer entrar al sistema en resonancia. Este "experimento simulado" fue muy importante en la conceptualización del fenómeno de resonancia, porque completó una experiencia real que realizaron los estudiantes. Ellos

---

<sup>5</sup>Applets Java de la Física. Walter Fendt. Traducción: Prof. Ernesto Martin Rodriguez, Juan Muñoz. Versión español. <http://home.a-city.de/walter.fendt/phs/phs.htm>.

<sup>6</sup>The Pendulum Lab. Franz-Josef Elmer, University of Basel, Switzerland. <http://monet.physik.unibas.ch/~elmer/publications/pendulum.zip>

trabajaron con péndulos reales, experimentando cualitativamente estos fenómenos. La simulación permitió que los experimentos reales, pudieran ser objeto de alguna cuantificación. Por ejemplo, identificar la frecuencia a la que se producía la resonancia y calcularla en función de la masa y la longitud del hilo correspondientes al péndulo real.

*c) La secuencia didáctica desarrollada con ambos grupos*

Para el desarrollo de la secuencia, se requiere familiaridad con nociones matemáticas como las funciones armónicas seno y coseno, noción de amplitud, período, pulsación y fase. También fue necesario poder reconocer gráficas, identificar los parámetros y trazarlas en forma aproximada a partir de ellos. Estos conocimientos y nociones de álgebra vectorial se trataron durante los meses previos al estudio. Ambos grupos estudiaron los contenidos mencionados en las clases de Matemática. Se intentó que los contenidos matemáticos, no fueran objeto especial de tratamiento en la clase de Física, pero fueron integrados y resignificados, tratando de evitar fragmentaciones.

La relación entre los diferentes sistemas de representación, como dibujos, esquemas, gráficos de funciones, vectores, ecuaciones escalares y ecuaciones vectoriales, resultó difícil para los estudiantes de ambos grupos. Esta dificultad se evidencia en las respuestas a la actividad 4 de la prueba inicial, en la actividad 3 de la prueba final, y más detalladamente en el análisis cualitativo de las respuestas para cada actividad y de las notas de campo originadas en la observación de las clases, que no se presentan en este trabajo (Otero, en preparación). En el caso del grupo experimental, el software incorporaba la representación vectorial, junto con las demás. Sin embargo y aún cuando estas representaciones fueron siempre discutidas y relacionadas entre sí, ambos grupos de estudiantes, tuvieron dificultades importantes para interpretar y para producir notaciones vectoriales vinculadas a dibujos, esquemas y gráficos, según se refleja en las respuestas a la actividad tres.

Antes de la secuencia, el grupo experimental utilizó *applets* referidos a algunos temas del curriculum de Física. El trabajo se realizó por parejas, en el aula de computación de la escuela junto con el profesor de Informática. Como el aula de informática sólo puede ser usada en clases de esa disciplina, el profesor de Física tenía que concurrir a la clase de Informática de sus alumnos y el profesor de Informática, ceder el espacio. Esta restricción, hizo que el trabajo con el software antes del experimento fuese limitada, aunque suficiente para que los estudiantes del grupo Experimental, tuvieran familiaridad con los productos a tecnológicos que se incorporaron a la clase (software, cañón, pantalla).

*d) La prueba inicial y la prueba final*

Durante las clases del grupo experimental, se emplearon imágenes estáticas, cinemáticas (animaciones), e imágenes dinámicas (simulaciones y *applets*). Se pretendió analizar, si esto se reflejaba en el rendimiento de los estudiantes, entendiendo que, si ocurría una mejora en la comprensión del fenómeno físico estudiado, tenían que detectarse diferencias estadísticamente significativas en los resultados de una evaluación, cuyas

actividades consistieran fundamentalmente, en interpretar, explicar, predecir y aplicar el conocimiento en una situación nueva. En particular la actividad 4 abordó la relación entre diferentes sistemas de representación.

La prueba inicial y la clave de asignación de puntajes se encuentran en el Anexo I. La prueba inicial se refirió a los contenidos previos que consideramos necesarios para abordar el contenido a ser desarrollado: energía mecánica, cinética y potencial, velocidad, aceleración y fuerza, representación, e interpretación de magnitudes vectoriales. También a la interpretación de gráficas de posición, velocidad, y aceleración con respecto al tiempo. Las actividades son preguntas semi-estructuradas para explicar, resolver, interpretar y dibujar. Se formularon 8 ítems que generaron un puntaje total de 35 puntos.

La prueba final privilegió los aspectos dinámicos y características del movimiento oscilatorio, las actividades solicitadas fueron planteadas fundamentalmente para predecir explicar el comportamiento de distintos sistemas, asumiendo ambas respuestas como evidencia indirecta de modelos mentales. En estas actividades se destacó el uso de diferentes representaciones y se permitió a los estudiantes que en las explicaciones solicitadas adoptasen el tipo de representación preferida por ellos -dibujos, gráficos, palabras o fórmulas-. Si bien las "fórmulas" no eran necesarias, estuvieron a disposición de los estudiantes cuando las solicitaron. Cabe destacar que las observaciones de clases mostraron que los estudiantes tuvieron dificultad para relacionar un sistema oscilante y su movimiento, con diferentes representaciones del mismo.

La actividad 1, se presentó a partir de dos dibujos -esquemas que representaban un sistema oscilante con dos amplitudes diferentes-. Se solicitó indicar cuáles magnitudes físicas se consideraban relevantes en la explicación del funcionamiento del sistema y cómo variarían en función de un incremento de la amplitud. La actividad 2 se refirió a los mismos contenidos que la actividad 1, pero sin utilizar dibujos, preguntó directamente por las relaciones entre la amplitud y las restantes magnitudes. Se pretendía detectar si existían, diferencias entre las respuestas originadas por una situación formulada con base en representaciones verbales, o imagísticas. Destacamos que para ambos grupos, la actividad 2 presentó mejores resultados. Esto podría deberse a que es mayor la carga interpretativa de la actividad 1, tanto por las imágenes, como por el hecho de que los sujetos tenían que decidir, qué magnitudes seleccionar y su relación con los dibujos (véase el Anexo I).

La actividad 3 evaluó la relación entre los diferentes sistemas de representación, se estudió la interpretación de gráficos, si se los relacionaba con una situación real y si el estudiante podía exteriorizar correctamente un dibujo seriado en el tiempo, que representara una situación física vinculada con los gráficos. Además, se pedía dibujar los vectores posición, velocidad y aceleración, en ciertos instantes particulares de la trayectoria. Si los estudiantes no construían un modelo mental del sistema físico propuesto por ellos mismos, difícilmente conseguirían representar los vectores para diferentes instantes de la trayectoria. Es decir consideramos que la necesidad de interrelacionar los sistemas, evitaría una respuesta reproductiva. Si el uso de imágenes externas favorecía la comprensión del

fenómeno real, de las relaciones entre el sistema que oscilaba y los distintos sistemas de representación, las respuestas de cada grupo a los diversos ítems de esta actividad, tenían que presentar diferencias que indicaban modelos mentales más adecuados. Durante la clase, el profesor trabajó en ambos grupos con los distintos marcos representacionales y con el "pasaje" entre uno y otro, pero a partir de instrumentos distintos. El grupo de control sólo tenía la pizarra y los gráficos y esquemas del texto de base, mientras el grupo experimental fue expuesto a un tratamiento visual intenso en todas las clases. Además de mirar lo que se expresaba en la pizarra, estos estudiantes "vieron", discutieron y analizaron gráficos coloridos y animados, así como vectores que se modificaban en tiempo real, con relación a la variación de las magnitudes características del sistema que se visualizaba. La actividad 3 que también se formuló para detectar diferencias con relación al tratamiento antes mencionado, diferencias que no fueron encontradas ni en este análisis ni en el cualitativo.

La actividad 4 de la prueba final se refiere a Oscilaciones Amortiguadas. Se pretendía medir si los estudiantes podían dar ejemplos y explicar a partir de ellos las características claves de un sistema amortiguado, en el marco representacional que ellos seleccionaran. Identificar y caracterizar estos sistemas es importante para entender los sistemas forzados. La actividad 5, es la más compleja de la prueba y constituye el 39% del puntaje total. Se planteó una situación "nueva" a los estudiantes, así, deliberadamente el ejemplo de una hamaca nunca fue discutido en clase, ni se encuentra en el material escrito. Esta actividad requiere mucha transformación del conocimiento, evalúa si los estudiantes pueden predecir, si utilizan conceptos físicos relacionados con los sistemas forzados y si comprenden la idea de resonancia, además de diferenciar los sistemas libres de los amortiguados.

En correspondencia con nuestro marco teórico, las predicciones indican que los estudiantes han construido un modelo metal. En la evaluación usamos la expresión "*explica que sucede si...*" en lugar de "*predice que...*", porque para los estudiantes, explicar significaría argumentar, dar detalles y explayarse. Así, las "*explicaciones*" de lo que sucederá en situaciones y cuestiones nuevas para el sujeto, como en el caso de la hamaca, también indicarían la construcción de modelos, y revelarían comprensión, aún cuando ésta no sea plenamente correcta en términos científicos. La puntuación de las pruebas, considera una escala de respuestas menos aproximadas hasta las correctas, según se detalla en la asignación de puntajes, que se encuentra en el Anexo I. Se generaron 17 situaciones de respuesta, que totalizaron 70 puntos. El tiempo máximo otorgado para las evaluaciones, fue de 2 horas en cada caso.

### **Análisis de resultados**

En todos los procedimientos descritos a continuación, se utilizó el paquete estadístico *SPSS for Windows – Release 11.0*.

#### *a) Análisis de confiabilidad de los puntajes totales en las dos pruebas*

Con el objetivo de investigar la calidad de los puntajes totales en la prueba inicial y en la prueba final, se realizó un Análisis de Consistencia Interna – ACI – (Silveira, 1993, 1996 e 1997) de los mismos. La variancia

del puntaje total, tal como demostró Cronbach (1967), puede ser descompuesta en una parte atribuida a lo que hay de común entre los puntajes parciales (puntajes en los ítems o preguntas de las pruebas) y la otra parte al error de la medida. La estimación de esta parte estable, confiable, común a los ítems de cada prueba, es cuantificada en el coeficiente alfa de Cronbach (Cronbach, 1967; Lord e Novick, 1968; Silveira, 1993; Thorndike e Thorndike, 1997).

También forma parte del ACI el cálculo del coeficiente de correlación entre el puntaje de cada ítem (o pregunta) y el puntaje total, y el coeficiente alfa del puntaje total para el caso en que se eliminara de la prueba el ítem. Estas estadísticas permiten investigar la necesidad de eliminar ítems de la prueba para mejorar el coeficiente alfa. La tabla 1 sintetiza los resultados del ACI para las dos pruebas, realizada con los puntajes obtenidos por los 50 sujetos que participaron de esta investigación.

Las demás estadísticas utilizadas en el ACI mostraron que la eliminación de cualquier ítem en cualquiera de las dos pruebas, generaría una disminución del coeficiente alfa. Los coeficientes alfa son elevados, principalmente en el caso de la prueba final, indicando que los puntajes generados en ambas pruebas son confiables.

	Media del puntaje total	Desviación típica del puntaje total	Número de ítems	Coeficiente alfa
prueba inicial	18,90	5,03	8	0,75
prueba final	40,76	12,37	17	0,90

Tabla 1.- Síntesis del Análisis de Consistencia Interna de la prueba inicial y de la prueba final.

*b) Comparación entre el grupo experimental y el grupo de control*

Según lo expuesto con anterioridad, la prueba inicial tuvo como objetivo investigar el dominio de los pre-requisitos para los estudiantes de los dos grupos. La Figura 1 presenta un diagrama de dispersión entre los puntajes totales de la prueba inicial y de la prueba final para los dos grupos.

La figura 1 también presenta las rectas de regresión del puntaje en la prueba final versus el puntaje en la prueba inicial. Según se observa, hay relación entre los dos puntajes, siendo la inclinación de la recta de regresión del grupo Experimental igual a 1,7 (estadísticamente significativa en un nivel inferior a 0,01) y en el grupo de Control igual a 1,6 (estadísticamente significativa en un nivel inferior a 0,01). Esto significa que una diferencia de 1 punto en el puntaje total de la prueba inicial implica una diferencia de casi 2 puntos en la prueba final. La existencia de relación entre las dos pruebas corrobora la importancia de los pre-requisitos para el aprendizaje subsiguiente, constituyéndose también en una evidencia de la validez de ambos puntajes (Silveira, 1993).

En la figura 1 se puede observar las medias de los dos grupos en la prueba inicial y en la prueba final. En la prueba inicial el grupo experimental

tenía una media (19,5) un poco superior a la media del grupo de control (18,3); esta pequeña diferencia no es estadísticamente significativa (el nivel de significancia estadística de la diferencia entre las dos medias es superior a 0,30). Mientras que por haber relación (véanse las rectas de regresión de la Figura 1) entre los puntajes de la prueba inicial y la prueba final, la comparación entre los dos grupos debe ser realizada por un Análisis de Variancia y Co-variancia – ANOVA/ANCOVA – (Cook e Campbell, 1979; Finn, 1997). Ese procedimiento corrige (ajusta por regresión) los puntajes de la prueba final, equiparando los sujetos entre si en los puntajes de la prueba inicial. En otras palabras, calcula por regresión cuales serían los Puntajes en la prueba final en el caso de que no hubiese diferencias entre los individuos (consecuentemente si no hubiese tampoco diferencia en media entre los dos grupos) en la prueba inicial. El ANOVA / ANCOVA se puede generalizar para mas de una variable independiente (inclusive para variables independientes cualitativas o nominales) y para mas de una variable dependiente, constituyéndose en un procedimiento multivariado capaz de ser aplicado en situaciones experimentales mas complejas que la nuestra.

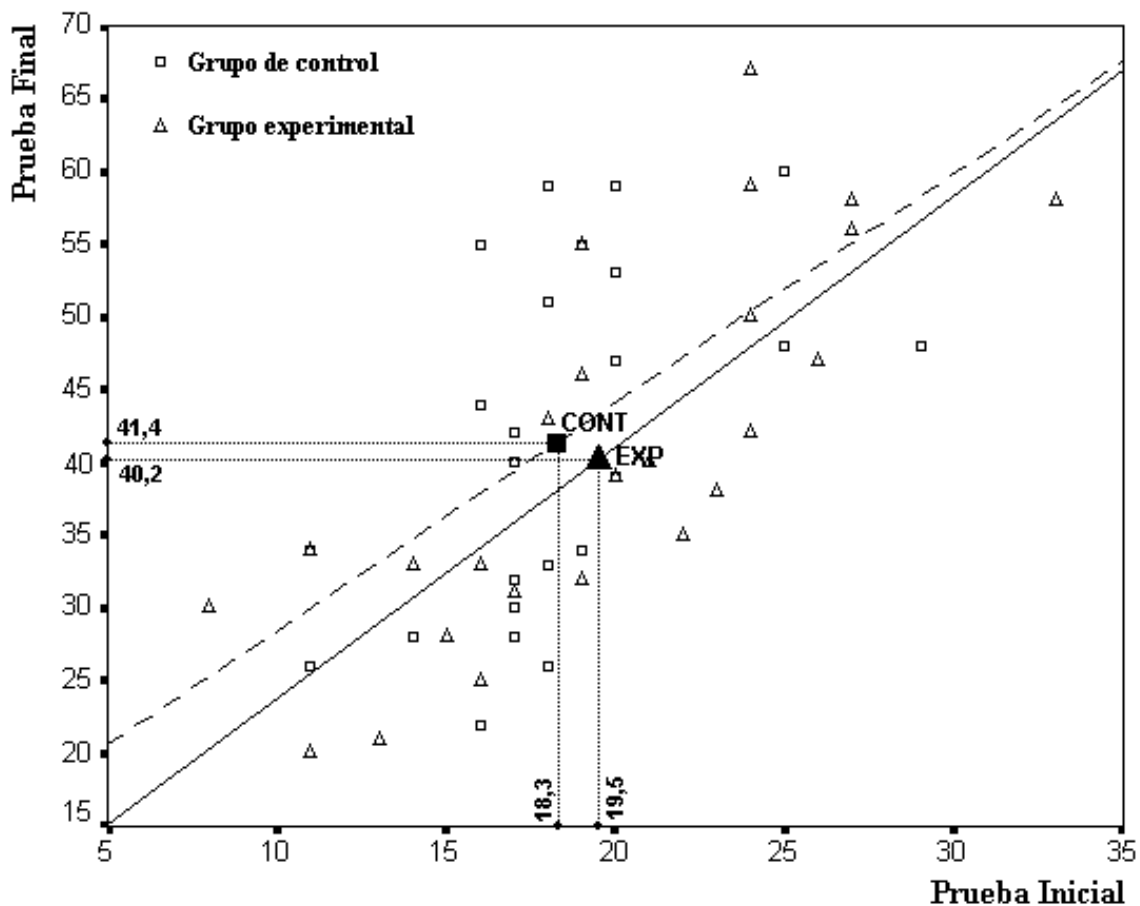


Figura 1.- Diagrama de dispersión de los puntajes en la prueba inicial y en la prueba final en los grupos experimental y de control.

La tabla 2, presenta las medias ajustadas en la prueba final en los dos grupos, como la razón F de Snedecor (a través de la cual se obtiene el nivel

de significancia) para la diferencia entre las dos medias y el nivel de significatividad estadística de esta diferencia

grupo	Media ajustada en la prueba final	F	Nível de significancia estadística
Experimental	39,2	1,54	0,22
Controle	42,5		

Tabla 2.- Comparación entre el grupo experimental y el grupo de control de las medias ajustadas en la prueba final

Se observa en la tabla 2 que el grupo experimental posee una media un poco inferior a la del grupo de control. Sin embargo, la diferencia entre las dos medias no posee significatividad estadística pues el nivel de significatividad estadística entre la diferencia entre las medias es alto (0,22). O sea, estos resultados no permiten afirmar que uno de los grupos tenga rendimiento superior al otro en la prueba final.

### Discusión

El análisis indica que no se detectaron en este experimento, diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los puntajes obtenidos por los sujetos del grupo de control y del grupo experimental en la prueba final. El uso intensivo y básicamente demostrativo de imágenes, animaciones y simulaciones externas, durante el desarrollo de estas clases de Física, no parece haber afectado las calificaciones finales medias de estos estudiantes. Podríamos preguntarnos si este resultado es producto efectivo del tipo de tratamiento de las imágenes realizado en el grupo experimental, o si existen variables ocultas cuyos efectos se estarían compensando.

Nuestro marco teórico permite realizar la predicción de que un tratamiento visual tradicional, no produciría diferencias y eso es lo que se ha obtenido. Desde este referencial, si el rendimiento y la comprensión mejoran cuando se emplean imágenes externas, es condición necesaria (aunque no suficiente), que se propicien y tengan lugar los procesos interpretativos que permitan derivar el conocimiento contenido en las imágenes, ya que por tratarse de un proceso estratégico no existe garantía de que se construyan las representaciones adecuadas. En este trabajo, el tratamiento realizado en las clases con las imágenes y los materiales fuertemente visuales como simulaciones, consideró la interpretación de un modo general, tradicional, es decir que el profesor discutió con el grupo de alumnos acerca de lo que "decían las imágenes", pero no de una forma que tomara especialmente en cuenta, las dificultades de la representación interna del conocimiento contenido en las imágenes externas.

Según las concepciones emergentes de la psicología popular discutidas en las secciones iniciales, la cantidad, colorido, variedad y atractivo visual de las imágenes externas utilizadas, tendría que haber producido mejoras en el rendimiento, que no fueron detectadas, siendo este hecho coherente con los resultados provenientes de la Psicología Cognitiva. Asimismo, no parece que hubiesen existido "mejoras" que resultaran compensadas por otros efectos negativos, ya que ambos grupos trabajaron con el mismo profesor, los



mismos materiales escritos, la misma cantidad de tiempo y en condiciones de partida muy similares, tal como surge de los resultados de la prueba inicial, entonces parece razonable que las posibles diferencias o no, se relacionen con las imágenes y con la forma en que ellas fueron utilizadas. El diseño de la prueba final, recoge un espectro amplio de aspectos vinculados con la representación interna, que el tratamiento con las imágenes podría haber influenciado: predicción, identificación de magnitudes físicas relevantes de un sistema, lectura de gráficos, producción de dibujos y esquemas, ejemplificación, transformación del conocimiento para aplicarlo a situaciones nuevas.

Nuestras observaciones del trabajo en la clase, indican que los sujetos del grupo experimental tenían demasiada información que considerar y que la presencia de las imágenes les habría demandado un gran esfuerzo, porque ellos querían hacer anotaciones acerca de lo que veían, mirar, escuchar las explicaciones del profesor y participar en las discusiones. Si bien el software se ejecutaba varias veces, la cantidad de información es mucho mayor que la que resulta si sólo se interactúa con el profesor y el material escrito. Sin embargo, la sobrecarga de imágenes tampoco habría afectado negativamente el rendimiento de los sujetos del grupo experimental en la prueba final puesto que no se obtienen diferencias significativas entre ambos grupos. Para los dos grupos, los puntajes que los estudiantes obtuvieron en la prueba inicial y en la prueba final, correlacionan aceptablemente con su promedio general y con el promedio en Física también. Es decir, que a pesar de la mayor demanda generada por las imágenes, el grupo experimental no habría modificado su desempeño, obteniendo puntuaciones acordes con su rendimiento habitual y muy similares a las del grupo que no utilizó imágenes. Este es un punto que debe aún estudiarse.

¿A que podría deberse que las imágenes externas no afectaran significativamente el rendimiento medio?. Según nuestro marco teórico, el sistema cognitivo tiene una tendencia a la economía, y desecha las informaciones que son muy complejas o las que no le resultan relevantes, entonces podría haber sucedido que las representaciones construidas por los sujetos de ambos grupos se haya basado en los materiales escritos, la resolución de problemas y en las discusiones con el profesor y que las imágenes poco diferenciadas y tradicionalmente tratadas, no generaran efectos apreciables en la representación interna. Como en el grupo experimental las imágenes se usaron de modo "demostrativo" en correspondencia con la propuesta de evaluar en qué medida la simple creación de un ambiente visual podía mejorar comparativamente el rendimiento de los estudiantes, en términos de mejores descripciones, explicaciones (verbales y/o gráficas) y predicciones, los resultados que obtuvimos parecerían indicar que este tratamiento para estos objetivos es insuficiente.

Contrariamente a las creencias emergentes de la psicología popular, las imágenes externas, las animaciones y las simulaciones como *applets* no son "sencillos" porque muestran visualmente una situación física, ni tienen la transparencia (Kuhn, 1996, citado por Fischam, 2001) que suele atribuírseles. Interpretar tales imágenes supondría atención selectiva, tiempo, mucha interacción y el desarrollo de habilidades comunicativas que

tomen en cuenta las particularidades del discurso visual y de la cultura visual (Fischman, 2001:31). Los *applets* que se utilizaron en este trabajo integran gráficas, esquemas, vectores, y más de un sistema de representación. Si esas notaciones se presentan combinadas, esquematizadas, como por ejemplo en algunos *applets* que presentan el juego de la energía en un Oscilador, la demanda cognitiva puede ser muy alta. Nuestras observaciones de clases indican que este esquema-gráfico animado, les resultó muy complejo a los estudiantes del grupo experimental y que posiblemente se requeriría un tratamiento diferente del discurso visual que el implementado en el trabajo, que como hemos señalado, se dirigió a contrastar las predicciones realizadas desde la psicología popular acerca del uso de imágenes externas.

### **Conclusiones**

Los resultados de este estudio parecen indicar que el tratamiento clásico dado a las imágenes externas (estáticas, animaciones y simulaciones) no habría originado en este experimento, diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento medio de los estudiantes del grupo experimental, cuando el rendimiento es medido a partir de las descripciones, explicaciones y predicciones producidas por los estudiantes. Este resultado es contrario a las concepciones del conocimiento común, concepciones estas que parecen sustentar el uso de las imágenes que es dado (o propuesto a partir de los materiales didácticos) en el ámbito escolar. Por diversas que sean las razones que causaron la ausencia de efectos atribuibles a la imagen, el trabajo proporciona evidencia contra la arraigada idea de sentido común, vinculada a las derivaciones que se hacen de la "metáfora de la figura en la cabeza, que asigna a la imagen externa beneficios "per se", transparencia y "verdad".

Un resultado que surgió del análisis cualitativo -que no se presenta aquí- y merece ser considerado e investigado, es el efecto motivador y hasta placentero que parecen tener ciertas imágenes externas en los estudiantes. Los sujetos del grupo experimental manifestaron en las evaluaciones escritas que tuvieron que responder al final del experimento, que había sido necesario realizar un esfuerzo adicional durante las clases, cuando trabajaron predominantemente con imágenes y en comparación con las clases habituales, pero que les había resultado agradable utilizar imágenes, animaciones y simulaciones. Nuestro trabajo no midió el efecto de esta componente de placer, vinculada a las imágenes externas a la hora de aprender, siendo un aspecto que también habría que considerar en futuras investigaciones.

Según nuestra postura teórica, si las representaciones imagísticas como animaciones y simulaciones colaboran con la construcción de conocimiento en Física, no se debería a razones fundamentadas en la metáfora de la figura, sino en la posibilidad de generar, propiciar y ayudar la construcción de representaciones internas complejas como modelos mentales, que permiten explicar y predecir. Tal como señalan los resultados provenientes de la Psicología Cognitiva, los procesos de significación y las creencias del sujeto, afectarían la visualización mental y el imaginamiento físico (Schwartz, 1999). Para hacer inferencias en torno a un fenómeno físico, la

construcción de un modelo mental es indispensable, independientemente de que las inferencias se hagan desde modelos surgidos a partir del imaginamiento físico, o no. En todos los casos los modelos mentales tienen una papel central. ¿Cómo se relacionan con lo anterior, las imágenes externas suministradas en un entorno de enseñanza- aprendizaje?, ¿Qué complejidades adicionales aparecen si las imágenes se proporcionan en un entorno computacional?. Estas cuestiones señalan la complejidad y relevancia del problema de estudiar la relación entre las imágenes externas y la construcción de conocimiento físico, al mismo tiempo que ofrecen al investigador caminos "que se harán al andar".

### **Agradecimientos**

Trabajo realizado con subsidio de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la UNICEN en el marco del Doctorado Internacional en Enseñanza de las Ciencias de la Universidad de Burgos (España) y de la UFRGS (Brasil).

### **Referencias bibliográficas**

Anijar, K. (2000). *Teaching toward the 24 th century: Star Trek as social curriculum*. New York: Falmer Press.

Arnaud, P. (1988). Forme et fonction des elements figuratifs dans la littérature didactique en chimie. *Bulletin de Psychologie*, XLI, 386, 577-582.

Astolfi, J.P.; Ginsburger-Vogel, Y. y V. Peterfalvi (1988). Aspects de la schématisation en didactique des sciences. *Bulletin de Psychologie*, XLI, 386, 694-700.

Barlow, H. (1990). *Images and Understanding*. Cambridge: Cambridge University Press.

Bosch i Casabó, M. (1994). *La dimensión ostensiva en la actividad matemática. El caso de la proporcionalidad*. Tesis Doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona.

Cronbach, L.J. (1967). Coefficient alpha and the internal structure of tests. En: W.A. Mehrens y R.L. Lebel (Org.) *Principles of educational and psychological measurement*. Chicago: Rand McNally.

Cook, T.D. y D.T. Campbell (1979). *Quasi-experimentation*. Chicago: Rand McNally.

Dalton, M. (1999). *Hollywood curriculum: Teachers and teaching in the movies*. New York: Peter Lang.

Davis, P.J. (1993). Visual theorems. *Educational Studies in Mathematics*, 24, 333-344.

De Guzmán, M. (1996). *El Rincón de la Pizarra. Ensayos de Visualización en Análisis Matemático Elementos del Análisis*. España: Editorial Pirámide.

De Vega, M. ; Intons Peterson, M.J. ; Johnson-Laird, P. ; Denis, M. y M. Marschark (1996). *Models of Visuospatial Cognition*. New York, Oxford: Oxford University Press.

De Vega, M. y M. Marschark (1996). Visuospatial Cognition: An Historical and Theoretical Introduction. En M. de Vega, Intons Peterson M. J, Johnson-

Laird P., Denis M., Marschark, M. (Eds.), *Models Of Visuospatial Cognition* (pp 3-19). New York, Oxford: Oxford University Press.

Denis, M. y M. De Vega (1990). Modèles mentaux et imagerie mentale. En Ehrlich M. F. et al (Ed.), *Les modèles mentaux: Approches cognitives des représentations* (pp 79-100). Paris: Masson.

Denis, M. (1989). *Image et cognition*. Paris: PUF.

Dreyfus, H.L. (1979). *What 's computers can' t do?*. New York: Harper Colophon.

Dreyfus, T. (1992). Imagery and reasoning in mathematics and mathematics education, ICME-7, *Selected lectures* (pp. 7-123). Les Presses de l' Université Laval.

Duchastel, P.C (1988). Roles cognitifs de l' image dans l'apprentissage scolaire. *Bulletin de Psychologie, XLI*, 386, 668-671.

Duchastel, P.C. (1981). Illustrations in text: a retentional role. *Programmed Learning and Educational Technology, 18 (1)*, 11-15.

Elichiribehety, I. y M.R. Otero (2002) La relación entre los marcos de resolución y los modelos mentales en la enseñanza de álgebra. *Revista Educación Matemática* (en prensa).

Ellsworth, E. (1997). *Teaching positions: Dif-ference, pedagogy, and the power of address*. New York: Teachers College Press. Stanford University Press.

Finn, J.D. (1997). Analysis of variance and covariance. En: J.P. Keeves (Org.), *Educational research, methodology, and measurement: an international handbook* (pp. 215-226). Cambridge: Pergamon.

Fischam, G. (2001). Reflections About Images, Visual Culture, and Educational Research. *Educational Researcher* 30 (6), 29-33.

Giordan, A. (1988). Les enzymes de l' estomac concassent, pétrissent, malaxent la nourriture ou préalables pour une didactique de l' image. *Bulletin de Psychologie, XLI*, 386, 672-686.

Giroux, H. (1994). *Disturbing pleasures: Learning popular culture*. New York: Routledge.

Giroux, H. (2000). *The mouse that roared*. Lanham, MD: Rowman and Littlefield.

Glenberg, A., Meyer, M. y K. Lindem (1987). Mentals Models contribute to foregrounding during text comprehension. *Journal of Memory and Language, 26*, 69-83.

Greca, I. (1999). Representaciones Mentales. En M. Moreira (Org.), *Bases Teóricas Epistemológicas y Metodológicas para la Investigación en Enseñanza de las Ciencias* (pp. 254-295). Programa de Doctorado Internacional de la UBU, España.

Greca, I.M. (1995). Tipos de representações mentais -modelos, proposições e imagens- utilizadas por estudantes de física geral sobre o conceito de campo eletromagnético. *Disertacao de Mestrado em Física*. Instituto de Física, UFRGS, Porto Alegre, Brasil.

Greca, I. y M.A. Moreira (1996a). Un estudio piloto sobre representaciones mentales, imágenes y proposiciones y modelos mentales respecto al concepto de campo electromagnético en alumnos de Física General, estudiantes de posgrado y físicos profesionales. *Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias*, 1 (1), 95-108.

Greca, I. y M.A. Moreira (1996b). The kinds of mental representations-models, propositions and images- used by college physics students regarding the concept of electromagnetic field. *International Journal of Science Education*, 19 (6), 711-724.

Greca, I. y M.A. Moreira (1988). Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 289-303.

Greca, I. y M.A. Moreira (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education, London*, (22)1, 1-11.

Jacquinet, G. (1988). Passe sage comme une image ou de l' utilization des images en pédagogie. *Bulletin de Psychologie*, XLI, 386, 694-700.

Jacobi, C. (1988). Les images et la vulgarisation scientifique. *Bulletin de Psychologie*, XLI, 386, 559-570.

Johnson-Laird, P. (1990). *El ordenador y la mente*. Barcelona : Paidós.

Johnson-Laird, P. (1996). Images, Models, and Propositional Representations. En M. de Vega, M. Intons Peterson, P. Johnson-Laird, M. Denis y M. Marschark (Ed.), *Models of Visuospatial Cognition* (pp. 90-126). New York, Oxford: Oxford University Press.

Johnson-Laird, P. (1990). Mental Models. En M. Posner (Ed.), *Foundations of Cognitive Science* (pp. 469-499). Cambridge: MIT Press.

Johnson-Laird, P. (1983). *Mental models*. Cambridge: Cambridge University Press.

Johnson-Laird, P. y R. Byrne (1991). *Deduction*. Hillsdale, NY: Erlbaum.

Joshua, S. (1988). Le schéma électrique: aspects perceptifs, aspects conceptuels. *Bulletin de Psychologie*, XLI, 386, 694-700.

Karmiloff-Smith, A. (1994). *Más allá de la Modularidad*. Madrid: Alianza.

Lagreca, M. do C.B. y M.A. Moreira (1999). Tipos de representações mentais utilizadas por estudantes de física geral na área de mecânica clássica e possíveis modelos mentais nessa área. *Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo*, 21(1), 202-215.

Lord, F.M. y M.R. Novick (1968). *Statistical theories of mental test scores*. Menlo Park: Addison-Wesley.

Moreira, M. (1996). Modelos Mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1, 1. En <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>

Moreira, M.A. (2000). Subversive meaningful learning. *Actas del III Encuentro Internacional sobre Aprendizaje Significativo*, Lisboa, Peniche.

Moreira, M.A. y M. do C.B. Lagreca (1998). Representações mentais dos alunos em mecânica clássica: três casos. *Investigações em Ensino de Ciências*, 3, 2. En <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>

Norman, D.A. (1983). Some observations on mental models. En D. Getner y A.L. Stevens (Ed.), *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Novak, J.D. y B.D. Gowin (1988). *Aprendiendo a aprender*. Barcelona: Martinez Roca.

Novoa, A. (2000). Ways of saying, ways of seeing: Public images of teachers (19–20th centuries). *Paedagogica Historica*, 36(1), 21–52.

Otero, M.R.; Papini, M.C. y Elichiribehety, I. (1988 a). Las representaciones mentales y la Enseñanza de la Matemática. *Revista de Educación Matemática*, 10 (3), 90-102.

Otero, M.R.; Papini, M.C. y I. Elichiribehety (1998). Las representaciones mentales y la resolución de un problema: un estudio exploratorio. *Investigacoes em Ensino de Ciencias*, 3, 1. En <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>

Otero, M.R y L. Banks Leite (1998). *Buscando Modelos Mentales*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional del Centro, Tandil, Argentina.

Otero, M.R.; Moreira, M.A. y I. Greca (2002a). El Uso de Imágenes en Textos de Física para la Enseñanza Secundaria y Universitaria. *Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias*, Porto Alegre, Brasil.

Rodríguez Palmero, M.L. (2000). *Modelos mentales de célula: una aproximación a su tipificación con estudiantes de COU*. Tesis Doctoral. Universidad de La Laguna, España.

Shin, S.J. (1994). *The Logical Status of Diagrams*. Cambridge University Press.

Silveira, F.L. (1993). Validação de testes de papel e lápis. En M. Moreira y F.L. Silveira (Ed.), *Instrumentos de pesquisa em ensino e aprendizagem* (pp.67-95). Porto Alegre: EDIPUCRS.

Silveira, F.L. (1996). Relação do desempenho no concurso vestibular da Universidade Federal do Rio Grande do Sul com diversas variáveis. *Estudos em Avaliação Educacional, São Paulo*, 14, 83-103.

Silveira, F.L. (1997). Comparação entre três argumentos de concorrência para o concurso vestibular da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. *Estudos em Avaliação Educacional, São Paulo*, 16, 43–57.

Schwartz, D. y J. Black (1996). Shutling Between Depictive Models and Abstract Rules: Induction and Fallback. *Cognitive Science*, 20 (2), 457-497.

Schwartz, D. y J. Moore (1988). On the role of Mathematics in Explaining Material World: Mentals Models for Proportional Reasoning. *Cognitive Science*, 22 (4), 441-516.

Schwartz, D. (1999). Physical Imagery: Kinematic versus Dinamic Models. *Cognitive Psychology*, 38, 433- 464.

Thorndike, R.L. y R.M. Thorndike (1999). Reliability. En: J.P. Keeves (Org.), *Educational research, methodology, and measurement: an international handbook* (pp. 150-200). Cambridge: Pergamon.

Tobin, J. (2000). *Good guys don't wear hats*. New York: Teachers College Press.

Van Dijk, T.A. (1992). *Cognição, Discurso e Interação*. S. Paulo: Editora Contexto.

Veizin, J.F. y L. Veizin (1988). Illustration, schématisation et activité interprétative. *Bulletin de Psychologie*, *XLI*, 386, 655-666.

Zhang Jiajie (1997). The Nature of External Representations in Problem Solving. *Cognitive Science*, *21*(2), 179-217.

Zimmermann, W., y S. Cunningham (1991). *Visualization in Teaching and Learning Mathematics*. Washington: Mathematical Association of America.

**Anexo 1: PRUEBA INICIAL**

1- Las "jorobas" de la montaña rusa que se muestra en el dibujo tienen la misma altura. ¿Está bien diseñada para funcionar, en términos de conservación de la Energía?. Supongan que el carrito está en la posición de partida. Digan si cambiarían algo del diseño o no, y en cualquiera de los casos expliquen porqué.

2- Una piedra de 0,2 kg de masa se deja caer desde una ventana situada a 10 metros sobre el nivel del suelo. La piedra llega al suelo con una rapidez de 10 m/s.

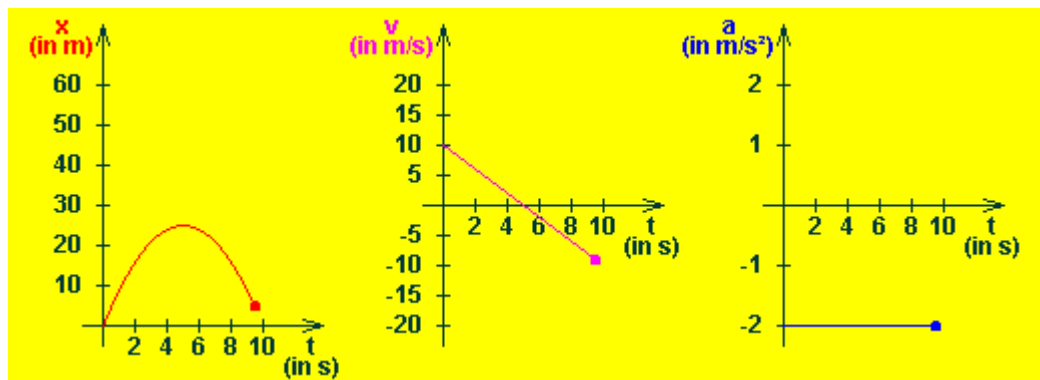
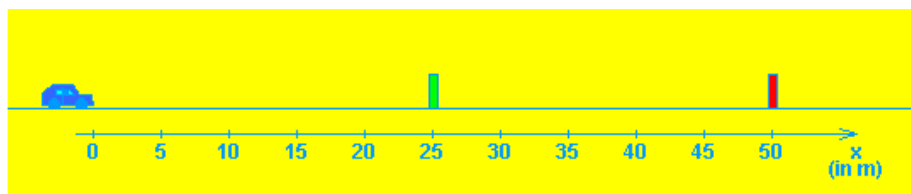
2.1 ¿Cuánta Energía "perdió" en el trayecto?.

2.2 ¿Qué sucedió con esa energía?.

2.3 Si la energía mecánica se hubiese conservado: ¿Expliquen cómo se habrían comportado la Energía potencial y cinética durante el descenso?.

Resuelvan y expliquen lo más detalladamente posible y de la manera que consideren más apropiada.

3- Un auto incrementa su rapidez de 60 a 65 km/h, mientras que una "bici" que está inicialmente en reposo alcanza los 5 km/h. Si ambos móviles lo hacen en 2,5 segundos. ¿Cuál experimenta mayor aceleración y porqué?.



4- Las gráficas representan la componente x de los vectores posición, velocidad y aceleración en función del tiempo, para el móvil que se observa en el origen y se mueve en la dirección x, sobre una trayectoria rectilínea.

4.1 Expliquen cómo fue el movimiento del automóvil entre 0 y 10 segundos.

4.2 Expliquen cómo pudo producirse ese movimiento entre 0 y 10 segundos.

4.3 Dibujen los vectores velocidad, aceleración y fuerza, para t= 2s y t= 8s.

**ASIGNACIÓN DE PUNTAJES PARA LA PRUEBA INICIAL**

**ACTIVIDAD 1 (1-6)**

1- No sabe porqué hacer o no, modificaciones en el diseño, o responde incorrectamente.

2- Considera que hay que modificar el diseño, pero no sabe como.

3- Si considera que debe hacer la primera joroba más alta que las demás y no sabe justificar porqué, o lo hace de manera incompleta.



4- Si realiza consideraciones de conservación de manera correcta, sin discutir el caso límite que se dibuja y propone o no modificaciones al diseño en coherencia con su postura.

5- Si también discute que en el caso del dibujo, si no hay ninguna pérdida por ninguna causa, el móvil llegaría hasta la segunda joroba y podría regresar o detenerse. Entonces sería necesario que le "sobrara" energía cinética, para asegurar que no retrocede.

6- Si además de resolver bien lo que se plantea, considera el caso límite y sugiere hacer la primera joroba más alta.

#### ACTIVIDAD 2 (1-11)

##### 2.1 (1-5)

1- Si no puede establecer cuánta energía perdió o no evidencia conocimiento al resolver.

2- Si calcula la Energía cinética con el "dato", y no la compara con la E inicial.

3- Si responde a la pregunta pero no explica ni justifica.

4- Si responde y explica de manera incompleta.

5- Si responde y explica adecuadamente.

##### 2.2 (1-3)

1. Si contesta incorrectamente o de manera incompleta.

2. Si contesta correctamente pero explica de manera incompleta.

3. Si contesta correctamente y explica completamente.

##### 2.3 (1-3)

1. Si contesta incorrectamente o de manera incompleta.

2. Si contesta correctamente.

3. Si contesta correctamente y explica completamente.

#### ACTIVIDAD 3 (1-4)

1- Si responde por mayor o no responde.

2- Si responde por mayor y realiza alguna explicación aunque sea incorrecta.

3- Si responde que igual sin decir porqué o explica mal porqué.

4- Si responde igual y dice porqué.

#### ACTIVIDAD 4 (1-14)

##### 4.1 (1-5)

1- Si no puede explicar.

2- Si explica el primer tramo como uniformemente variado, con rapidez decreciente.

3- Si explica el primer tramo con rapidez decreciente hasta cero.

4- Si además de 3, se da cuenta de la inversión.

5- Si además de 4 explica el segundo tramo como uniformemente variado con rapidez creciente.

##### 4.2 (1-3)

1- No puede explicar.

- 2- Si explica cómo pudo producirse la desaceleración.
- 3- Si además de 2, explica cómo pudo producirse la aceleración.

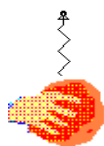
4.3 (1-6)

- 1- No puede representar vectorialmente en ningún caso.
- 2- Representa correctamente el vector velocidad en algún caso.
- 3- Representa correctamente el vector velocidad y el vector aceleración o fuerza, correspondiente en algún caso.
- 4- Representa correctamente ambos vectores en ambos casos.
- 5- Representa correctamente los tres vectores en algún caso.
- 6- Representa correctamente los tres vectores en ambos casos.

	ACT 1	ACT 2	ACT 3	ACT 4	TOT
<b>PUNTAJE</b>	6	11	4	14	35
<b>%</b>	17	31	11	40	100

PRUEBA FINAL

1- Imagina que un cuerpo se hace oscilar sin rozamiento, separándolo de la posición de equilibrio como se muestra en las dos figuras siguientes. Explica como variarán las magnitudes físicas que consideres características del sistema, en cada caso.

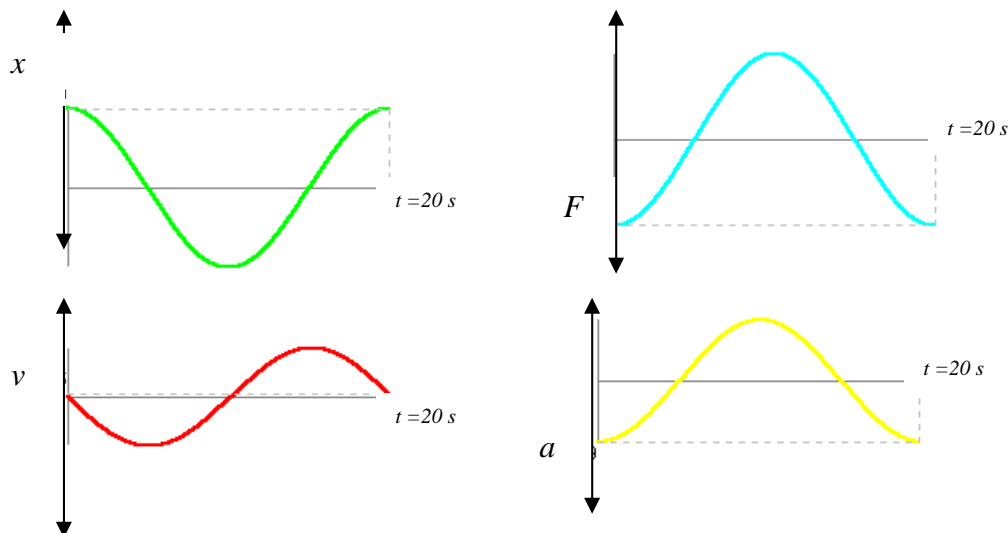


2- Una masa colgada de un resorte, sin rozamiento, está oscilando con una cierta amplitud. Si se duplica la amplitud de oscilación de ese cuerpo, ¿Cómo varía:

- 2.1 la frecuencia con la que el cuerpo oscila?.
- 2.2 la energía mecánica del cuerpo?.
- 2.3 el período de la oscilación?.
- 2.4 la energía cinética máxima del cuerpo?.

3- Considera los cuatro gráficos siguientes:

- 3.1 ¿Podrías hacer un dibujo de una situación física cuyo estado pudiera representarse mediante estos gráficos?. Explica el dibujo que realices.
- 3.2 Dibuja como se vería el sistema para el instante  $t = 0$  y  $t = T/4$  y  $t = T/2$ .
- 3.3 Representa para esos instantes en cada dibujo: el vector posición, velocidad y aceleración.
- 3.4 ¿Podrías determinar la frecuencia angular propia del sistema?. Explica.



4- ¿ Podrías:

4.1 decir que es un sistema amortiguado?.

4.2 dar un ejemplo y explicarlo con dibujos, gráficos, palabras o fórmulas?

5- Imagina que te estás hamacando.¿Qué sucede en términos de la altura a la que llega la hamaca si:

5.1 )nadie (ni siquiera vos mismo) te impulsa?.

5.2) te empujan periódicamente desde "atrás", cuando aún no llegaste al punto más alto?.

5.3) te empujan periódicamente con una fuerza que acompaña siempre a tu velocidad?.

5.4) Explica las diferencias entre las tres situaciones anteriores en términos físicos, con dibujos, palabras o fórmulas.

5.5) ¿Cuál de ellas es la mejor para conseguir que te hamaques lo más alto posible?.Explícalo en términos físicos con dibujos, gráficos, palabras o fórmulas.

5.6) Cuando somos nosotros mismos quienes nos impulsamos, aprendemos a hacerlo naturalmente de manera óptima. ¿Cómo lo conseguimos?.

#### ASIGNACIÓN DE PUNTAJES PARA LA PRUEBA FINAL

##### ACTIVIDAD 1 (1-6)

1- No reconoce magnitudes físicas.

2- Reconoce posición, amplitud, velocidad, fuerza, pero no frecuencia, ni energía.

3- Dos y variación de la energía correcta, pero no la frecuencia como invariante.

4- Reconoce que la frecuencia es invariante.

5- Reconoce a la frecuencia y al período como invariantes.

6- Además reconoce la variación de  $E_m$ ,  $E_c$  y  $E_p$ .

##### ACTIVIDAD 2 (1-10)

2.1 (1-2)

1. Mal.
2. Es independiente de la amplitud.

2.2 (1-3)

- 1- Mal.
- 2- Aumenta
- 3- Se cuadruplica.

2.3 (1-2)

- 1- Mal.
- 2- Es independiente de la amplitud.

2.4 (1-3)

- 1- Mal.
- 2- Aumenta
- 3- Se cuadruplica.

ACTIVIDAD 3 (1-20)

3.1 (1 -6)

- 1- No puede hacer el dibujo.
- 2- Realiza un dibujo incompleto, o elemental.
- 3- Realiza un esquema.
- 4- Explica regular el esquema o dibujo que realizó.
- 5- Realiza un dibujo completo, adecuado.
- 6- Explica bien el dibujo/ esquema.

3.2 (1 - 5)

- 1- No puede dibujar.
- 2- Los dibujos no responden a la situación inicial aunque son correctos.
- 3- Solo dibuja bien para  $t = 0$  s
- 4- Dibuja bien dos
- 5- Dibuja bien todos.

3.3 (1 - 4)

- 1- No sabe representar los vectores.
- 2- Representa bien (una)
- 3- Representa bien (dos).
- 4- Representa bien posición, velocidad, aceleración.

3.4 (1 - 5)

- 1- No puede determinar la frecuencia propia.
- 2- Reconoce el período, pero no determina bien  $w$ .
- 3- Hace bien  $w$ .
- 4- Explica de manera inadecuada o incompleta.

5- Explica completamente.

#### ACTIVIDAD 4 (1-7)

##### 4.1 (1-3)

- 1- Si no puede explicar qué es un SA.
- 2- Si explica de manera incompleta o incorrecta.
- 3- Si explica bien .

##### 4.2 (1-4)

- 1- No puede ejemplificar.
- 2- Ejemplifica, pero no explica.
- 3- Explica ejemplo de manera incompleta.
- 4- Explica ejemplo correctamente.

#### ACTIVIDAD 5 (1-27)

##### 5.1 (1-5)

- 1- No puede responder.
- 2- Explica de manera incompleta pero no Reconoce el SA.
- 3- Explica de manera incompleta y reconoce SA.
- 4- Explica bien sin reconocer SA.
- 5- Explica bien y reconoce SA.

##### 5.2 (1-5)

- 1- No puede responder.
- 2- Responde incorrectamente.
- 3- Responde relacionando con SF.
- 4- Se da cuenta de que es un sistema forzado no resonante.
- 5- Considera la oposición fuerza-velocidad.

##### 5.3 (1-4)

- 1- No puede responder.
- 2- Reconoce la oscilación forzada.
- 3- Reconoce la resonancia y la explica de manera incompleta.
- 4- Explica de manera completa

##### 5.4 (1-2)

- 1- No reconoce las diferencias
- 2- Reconoce las diferencias y las explica.

##### 5.5 (1-4)

- 1- No puede explicar cual es la mejor.
- 2- Explica incorrectamente cuál es la mejor.
- 3- Explica la resonancia como la mejor con relación a la energía.
- 4- Explica de manera óptima basada en la fase entre  $\vec{v}$  y  $\vec{F}$ .

5.6 (1-7)

- 1- No puede responder.
- 2- Realiza una explicación dinámica pero incorrecta.
- 3- Reconoce la relación entre  $\vec{v}$  y  $\vec{F}$ .
- 4- Reconoce que la máxima  $\vec{F}$  en fase con  $\vec{v}$  ocurre en el punto más bajo .
- 5- Relaciona esto con la Resonancia.
- 6- Realiza explicaciones en más de un marco representacional.
- 7- Las explicaciones son correctas.

	<b>ACT 1</b>	<b>ACT 2</b>	<b>ACT 3</b>	<b>ACT 4</b>	<b>ACT 5</b>	<b>TOT</b>
<b>PUNTAJE</b>	6	10	20	7	27	70
<b>%</b>	9	14	29	10	39	100