

INTEGRACIÓN DEL SOFTWARE MODELLUS A LA METODOLOGÍA DE MODELAMIENTO MENTAL PARA EL APRENDIZAJE DE FÍSICA

Jaime Tello G.* , Claudio Pérez M.**

Resumen

Se describe un estudio de carácter experimental y exploratorio, que consistió en aplicar y validar en un colegio particular de Santiago, la metodología de enseñanza de la Física denominada Modelamiento Mental, creada por David Hestenes en la Universidad Estatal de Arizona. La intervención estuvo apoyada por un laboratorio digital que, por aplicación del software Data Studio, permite obtener datos de experimentos en forma más rápida que con recursos tradicionales, para desarrollar los procesos que la metodología considera. Para que el proceso de aprendizaje basado en la Metodología de Modelamiento Mental resultase más efectivo y rápido, se integró a dicha metodología el software *Modellus* y se sometió a prueba la hipótesis de que este software, con su posibilidad de generar animaciones; permitiría al alumno comprobar la formulación matemática de sus modelos. Los resultados permitieron concluir que efectivamente, los estudiantes que usaron *Modellus* lograron mejores resultados y en menor tiempo.

Palabras Claves: Modelamiento mental, modelamiento, modellus, aprendizaje de física, integración de recursos.

Abstract

A study, of experimental and exploratory character, consisted of applying and validating in a private high school in Santiago, the Methodology of Mental Modeling for Physics Learning, created by David Hestenes in the State University of Arizona; in combination with a digital laboratory which, thanks to for application of the software Data Studio, made it possible the data acquisition steps faster than with traditional resources, to develop the processes that the methodology considers. For a more successful and faster deployment of the Mental Modeling Methodology, the *Modellus* software was added as a classroom resource, to test the hypothesis that, in its animation-building function, it would allow the student

to verify the mathematical formulation of his models. The results shown that indeed, students who used *Modellus* obtained better results and in smaller time.

Key words : Mental modeling, modeling, Modellus, physics learning, integration of resources.

Introducción

De acuerdo a la investigación sobre enseñanza y aprendizaje de las ciencias, se considera al modelamiento como una estrategia adecuada y fundamental para alcanzar el dominio de los conceptos y fenómenos de la física, pero se advierte que los alumnos están más acostumbrados al consumo pasivo de recursos que los profesores usan con fines demostrativos e ilustrativos en sus clases, que a la construcción de modelos mentales y al empleo de las herramientas tecnológicas como medios de comprobación o de verificación de sus hipótesis o configuraciones mentales (Hestenes, 2005).

En los entornos tradicionales de aprendizaje, la construcción de estos tipos de modelos es difícil de dominar por muchos estudiantes y las dificultades se basan en el hecho que las escuelas no poseen herramientas con las cuales se puedan explorar objetos formales para experimentar (Teodoro, 1998).

Ahora bien, al examinar los atributos técnicos y conocer el procedimiento de utilización del software *Modellus*, se advierte que éste solo funciona a partir del modelo matemático que se le indique en su primera interfaz, es decir, el software no modela por sí mismo sino que, a partir de las ecuaciones o funciones que le suministre el usuario, permitiendo visualizar representaciones alternativas del modelo en forma de simulaciones analógicas con animaciones, gráficos y tablas de datos exportables a planillas de cálculo. En muchas situaciones experimentales, particularmente acerca de movimientos, estos atributos del software permiten comprobar si el modelo administrado como input era o no correcto.

* Departamento de Medios Educativos, Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, jtello@umce.cl

** Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, cpmatzen@umce.cl

Este desafío pedagógico de desarrollar una metodología de modelamiento mental con estudiantes en formación, empleando el modelo desarrollado por David Hestenes del Departamento de Física, de la Arizona State University, Tempe, Arizona, USA (Hestenes, 1985), ha llevado a considerar una probable utilidad efectiva del software *Modellus*, como recurso auto-evaluativo del estudiante, durante el proceso de modelamiento; es decir, en la medida que el estudiante vaya elaborando sus modelos mentales y expresándolos en ecuaciones, tiene la posibilidad de comprobar su validez y exactitud a través del software *Modellus*, especialmente con su herramienta de animaciones, permitiéndole así corregir posibles errores o avanzar ante la verificación de su correcta ecuación.

Sin un recurso auto-verificador como *Modellus*, el estudiante tendría que comparar sus ecuaciones construidas sólo con las propuestas por el profesor, sin los procesos intermedios de reflexión crítica, búsqueda y ajuste que le lleven a una verificación más autónoma de sus propias construcciones, procesos que pueden darle una verdadera funcionalidad significativa a su aprendizaje (Ausubel, 2002).

El software computacional *Modellus*, además, de cumplir con los atributos funcionales de generar condiciones para el desarrollo del rol antes descrito cuando se trabaja con la metodología de aprendizaje científico, es de disponibilidad gratuita. Ello motivó a los autores de este estudio a desarrollar una experiencia investigativa que los ayudará a comprobar su eficacia y a determinar de qué manera puede utilizarse con mayores posibilidades de éxito, en términos de aprendizaje.

El estudio se realizó en el segundo semestre del año 2006 en un contenido de Mecánica: “el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado”, con una muestra pequeña de alumnos de Primer Año de las carreras de Física y Matemática, de la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación. Esta aplicación se realizó con fines de validación de materiales y procedimientos de la metodología. Posteriormente, para fines experimentales, se recurrió a una muestra de estudiantes de Primer año de Enseñanza Media del Liceo Saint Gabriel’s School, que reunía las condiciones para la investigación, es decir, no conocían el tema de Física que se aplicaría en el experimento y habían elegido el área de las Matemática y de la Física como preferencias.

Objetivos de la investigación

1. Establecer la efectividad del uso de *Modellus* como herramienta complementaria de mediación en el desarrollo del enfoque metodológico del modelamiento mental para el aprendizaje de conceptos de Física.

2. Formular un conjunto de recomendaciones metodológicas para orientar y optimizar el uso del software *Modellus*, con alumnos de similares características a los del estudio.

3. Promover el desarrollo de experiencias investigativas posteriores que aporten mayor conocimiento sobre este tipo de procedimiento metodológico y el rol de los recursos informáticos disponibles.

Marco teórico

Modelamiento

Uno de los conceptos básicos en la investigación es el de Modelamiento o Creación de Modelos en Ciencias Físicas. Según el autor del software *Modellus* (Teodoro, 1998), las “Ciencias Físicas son las ciencias de la construcción de modelos, como descripciones o explicaciones simplificadas acerca del mundo físico”. Los Modelos basados en funciones, ecuaciones diferenciales y ecuaciones de diferencias pueden describir muchos patrones del mundo físico. En los entornos tradicionales de aprendizaje, estos tipos de modelos son difíciles de dominar por muchos estudiantes. “Los modelos están constituidos por *objetos* empíricos o teóricos, así como por los *procesos* en los que tales objetos participan. Su valor científico se pondera en términos de su capacidad para explicar y predecir fenómenos naturales, y de su utilidad como guía para nuevas investigaciones” (Pérez, 2003).

Proceso de Modelamiento Mental (Hestenes, 1985)

La principal recomendación del autor, en su documento conceptual acerca del Modelamiento Mental (Hestenes, 1987) es que “*el modelamiento matemático debe ser el tema central en la instrucción de la física*”. Esto significa que la enseñanza de hechos y teorías físicas deben ser subordinada a la enseñanza de principios y técnicas de modelamiento matemático. El autor llama a esto “un modelo centrado en la estrategia instruccional” (Hestenes, 1987).

Al considerar los Modelos como unidades básicas del conocimiento, el énfasis se pone en identificar la estructura del sistema; así los estudiantes identifican o crean un modelo para producir una solución. En el proceso de aprendizaje de este nuevo enfoque, continuamente se usan sólo unos pocos modelos con modificaciones pequeñas.

La Metodología del Modelamiento Mental

El autor propone la estrategia del modelamiento esquematizada en el cuadro 1. (Hestenes, 2005).

Cuadro N°1. Ciclo de modelamiento : Cinco procesos

| ETAPA 1: Desarrollo del Modelo | ETAPA 2: Uso del modelo |
|-----------------------------------|----------------------------|
| I. Descripción | V. Aplicación |
| II. Formulación | |
| III. Ramificación | |
| IV. Validación | |

El cuadro N°1 considerada un resumen de *pasos esenciales* en el proceso de modelamiento. Cada paso es esencial para modelar y la estrategia prescrita se debe seguir, aunque hay algún margen en el orden en que los pasos pueden ser tomados, y donde volver hacia atrás es a menudo necesario (Hestenes, 1987).

Descripción del desarrollo del Modelo

Los estudiantes describen sus observaciones de la situación experimental real, tomando en cuenta las intuiciones de los estudiantes. El instructor es un moderador que no juzga y guía a los estudiantes a identificar las variables medibles. Luego se determinan las variables dependientes e independientes.

Formulación del desarrollo del Modelo

Los estudiantes llegan a un acuerdo de la relación deseada entre las variables, produciéndose discusiones acerca del diseño del experimento. Luego, los estudiantes desarrollan los detalles de los procesos, con una intervención mínima del instructor.

Ramificación del desarrollo del Modelo

Los estudiantes en grupo construyen representaciones gráficas y matemáticas preparando y presentando resúmenes de sus resultados en los pizarrones o telones de proyección, proponiendo un modelo.

Validación del Desarrollo del Modelo

Los estudiantes defienden el diseño, los resultados e interpretación del experimento. Se escogen grupos alternativos para refutar o corroborar los resultados. La discusión socrática tiende hacia el consenso de una representación exacta del modelo.

Uso y aplicación del Modelo

En este proceso los estudiantes aprenden a aplicar el modelo a una variedad de situaciones relacionadas entre si, identifican la composición y representan la estructura del modelo. También, comunican su comprensión mediante presentaciones orales guiadas con preguntas del instructor: ¿Por qué hiciste eso? ¿Cómo sabes eso?

En síntesis, utilizando el Método de Modelamiento para

desarrollar la comprensión del estudiante, éstos diseñan sus propios procesos para el experimento, luego tienen que justificar la interpretación de los datos obtenidos, en diálogos guiados por el instructor socrático. Los Modelos creados de las interpretaciones experimentales, son usados en problemas cuidadosamente escogidos por el instructor, que ilustran aspectos del modelo y las soluciones se comparten entre los estudiantes para su discusión y enriquecimiento.

El software *MODELLUS*

Modellus es un software de modelamiento para uso en enseñanza-aprendizaje de Ciencias y Matemáticas, producido por el Dr. Vitor Duarte Teodoro, de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nueva de Lisboa, Portugal, junto a un equipo de colaboradores.

Al ingresar al sitio de descarga del software *Modellus* en español, <http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus/> (Teodoro, 2004) se encuentra con un índice que incluye, entre otros campos, elementos de hipertexto denominado *ayudas*. Al ingresar a la introducción de estas *ayudas*, se leen párrafos descriptivos, entre los cuales se explica que “*Modellus* es un software para el modelado interactivo con matemáticas. Maestros y estudiantes pueden usar *Modellus* para construir modelos matemáticos y explorarlos mediante animaciones, gráficos y tablas. A través de expresiones algebraicas, ecuaciones diferenciales, y ecuaciones iterativas, los usuarios de *Modellus* pueden experimentar visualmente e iterativamente (o recursivamente), con modelos y animaciones para entender bien los fenómenos y modelos así como sus distintas representaciones”.

Metodología del estudio

Hipótesis

Para operacionalizar el estudio, se formularon las siguientes hipótesis:

H₁

Los estudiantes que durante el proceso de modelamiento mental aplicado para aprender conceptos de física, hayan utilizado el software *Modellus* como herramienta de apoyo, alcanzan un resultado significativamente superior a los estudiantes que no lo hayan hecho.

H₂

Los estudiantes que durante el proceso de modelamiento mental aplicado para aprender conceptos de física, hayan utilizado el software *Modellus* como herramienta de apoyo alcanzan un resultado significativamente más rápido que los estudiantes que no lo hayan hecho.

Definición de las variables

Independiente:

Metodología de enseñanza: método experimental basado en el modelamiento mental y variación en el grado de apoyo informático puesto a disposición de los estudiantes tanto del grupo control y experimental.

Durante el proceso de modelamiento mental, los alumnos del grupo experimental utilizan el software *Modellus* para evaluar sus modelos matemáticos. Se postula que su uso dará más seguridad al estudiante tanto en su procesamiento como toma de decisiones, permitiéndole llegar con éxito a los resultados esperados. El grupo control no tiene acceso al software *Modellus* como apoyo a su enseñanza, durante el proceso de modelamiento del mismo fenómeno.

Dependientes

Rendimiento académico de los alumnos: En una sesión especial de evaluación sumativa, después de la etapa de aprendizaje basada en el método experimental con modelamiento mental, se verifica el grado de logro de los objetivos de aprendizaje prefijados para el estudio del tema e implica una transferencia a un problema de jerarquía inmediatamente superior a los estudiados o un problema que exige combinar aprendizajes anteriores.

El rendimiento considera como indicador el puntaje por ítem y el total de puntaje de la prueba. (anexo1)

Tiempo de logro de resultado eficaz: Tiempo cronológico que demora el estudiante en alcanzar la respuesta final esperada en la evaluación de la prueba final sumativa por objetivos logrados.

Docimacia

La comparación entre los grupos experimental y control, se realizó en base a los resultados, el uso del software y los promedios de tiempo utilizado. Para ello se aplicó la prueba estadística *t de Student*, pudiendo con ello determinar si las diferencias encontradas son significativas o no y si son atribuibles al tratamiento o a otra variable.

Definición de la muestra

El estudio originalmente estaba concebido para ser aplicado a un colectivo de 30 estudiantes de primer año de Licenciatura y Pedagogía en Física y en Matemáticas de la UMCE, de nivel académico homogéneo y de 2 áreas de las ciencias que son más compatibles con el contenido de la investigación, "el modelamiento matemático de un fenómeno físico".

Frente a las dificultades para conformar este colectivo, se realizó la experiencia con 30 alumnos de los primeros años de Enseñanza Media del Colegio Saint Gabriel's School, de la Comuna de Providencia, seleccionados por sus profesores entre los que tenían más afinidad con el área de la Matemática y la Física; la experiencia debió realizarse en el colegio y en un máximo de una semana y media, por término de las actividades lectivas y comienzo del período de exámenes finales de año.

Una de las principales ventajas de la modificación de la muestra era trabajar con alumnos que no tenían ningún conocimiento del tópico de Cinemática abordado en la experiencia. No obstante lo anterior, significó una desventaja en términos del nivel de matemática que poseían estos estudiantes, ya que sólo manejaban a lo más ecuaciones simples de primer grado. Luego de asumir el riesgo de las diferencias advertidas se organizó el traslado del laboratorio virtual a los computadores del colegio y se reorganizó el desarrollo de las actividades en los 11 días disponibles para la estudio.

Durante la primera sesión, dedicada al Pre Test a través de un sorteo, se determinó quienes participarían del Grupo Experimental y del Grupo Control respectivamente. Así, el experimento se realizaría con grupos de 15 estudiantes de características similares; en base a una distribución aleatoria simple.

Diseño de la investigación

Para comparar los dos grupos a ambos se aplicaría la metodología de modelamiento de Hestenes, pero solamente el grupo experimental usaría la herramienta computacional "*Modellus*". Se empleó el modelo experimental, con pre y post-test.

El *diseño del estudio*, a pesar de haber cambiado la muestra original, se mantuvo intacto, dándole solamente el carácter de *exploratorio*, debido a los ajustes que hubo en la muestra empleada (conocimientos matemáticos previos), que conllevaba una incertidumbre sobre los resultados. Debido al tamaño de la muestra, no permite extraer conclusiones generalizables, sino más bien recomendaciones para posteriores réplicas de la experiencia.

Modelo de Diseño

| | | | | | | |
|--------------------|----|---|---|----|----------------|---|
| Grupo Control | Rc | O | A | | X ₀ | O |
| Grupo Experimental | Re | O | A | CM | X ₁ | O |

Siendo:

R= Grupos equivalentes o semejantes, escogidos al azar (**Random**)

A= Apresto sobre conceptos y ecuaciones pre-requisitos

CM= Capacitación del Grupo Experimental en manejo del software *Modellus*

X₀= Modelamiento mental sin uso de *Modellus*

X₁= Modelamiento mental con uso de *Modellus*

O= Evaluación Previa y Final común para ambos grupos.

Plan de trabajo

| Etapa/sesión | Descripción de la Actividad/Contenido |
|------------------------------|--|
| 1 viernes 17 noviembre | <p>Grupo total, 1er Bloque (09:15 a 10:15)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pre test (anexo1) 2. Pre test sobre conocimientos básicos de cinemática; 3. Apresto vía estudio de Guía sobre conceptos básicos de cinemática de 1 Dimensión: posición, velocidad, aceleración, durante el fin de semana; 4. Re-aplicación de test sobre conocimientos básicos de cinemática, durante el domingo; 5. Comparación de resultados con plantilla de corrección, enviada por E-mail, el domingo en la tarde; 6. Selección aleatoria de Grupos Experimental y Control; <p>Grupo Experimental, 2° Bloque (10:15 a 11:30)</p> <p>Objetivo: Aprender el uso de <i>Modellus</i> (<i>aprendizaje de uso de Modellus con demostración a partir de ecuaciones del movimiento circunferencial uniforme, dadas en una Guía por el profesor, incluyendo sintaxis, gráficos y animaciones con vectores y Auto-evaluaciones.</i>)</p> |
| 2 lunes 20 noviembre | <p>Los 15 minutos iniciales de ambos grupos se usaron para explicar el desarrollo de la evaluación diagnóstica, a modo de refuerzo y preparación para el trabajo experimental, dado el nivel de conocimientos de Física y Matemática de los dos grupos de primer año medio. Sólo Grupo Control: (07:45 a 09:15)</p> <p>Objetivo Experiencia 1: Aprender la Cinemática una Dimensión vía Modelamiento Mental, Metodología del Modelamiento Mental de Hestenes, sobre movimiento rectilíneo horizontal del carro con una fuerza impulsiva;</p> <p>Sesión de trabajo en el laboratorio con herramienta computacional Data Studio (sólo para adquisición rápida de datos y confección de gráficos): Desarrollo de metodología de modelamiento en base preguntas de Guía, sobre experiencia 1: obtención de datos experimentales, con presentación de gráficos y sus ajustes, y derivación de coeficientes de las expresiones algebraicas que relacionan las variables a estudiar: velocidad, posición y tiempo.</p> <p>Sólo Grupo Experimental: (09:15 a 10:45)</p> <p>Ídem a lo anterior, sólo que por falta de tiempo, no alcanzaron a usar <i>Modellus</i>, quedando para sesión posterior.</p> |
| 3 jueves 23 noviembre | <p>Los 15 minutos iniciales de ambos grupos por separado, se usaron para presentar un resumen y aclarar conceptos a través de ejemplos, de lo avanzado en la Sesión anterior, en consideración al limitado nivel de conocimientos de Física y Matemática de los alumnos; destacándose principalmente el significado físico de los coeficientes de las ecuaciones del modelo cinemático. Se uso una presentación .ppt con inclusión de significado de uso de <i>Modellus</i>, en grupo Experimental. A ambos grupos se le envió la presentación por E-Mail.</p> <p>Ambos Grupos en sus respectivos horarios:</p> <p>Terminaron la Guía de la Experiencia 1 con datos guardados de sesión anterior y con nuevas tomas de datos.</p> <p>Sólo Grupo Experimental: Las expresiones las transfieren al <i>Software Modellus</i> para reproducir animación y para explotar los conceptos obtenidos.</p> |

| Etapa/sesión | Descripción de la Actividad/Contenido |
|------------------------------|---|
| 4 viernes 24 noviembre | <p>Sólo Grupo Control: (07:45 a 09:15) Objetivo Experiencia 2: Aprender la Cinemática una Dimensión vía Modelamiento Mental, Metodología del Modelamiento Mental de Hestenes, sobre movimiento rectilíneo horizontal de un carrito al que se pone en marcha mediante la fuerza constante de tracción proporcionada por la caída de unas pesas unidas al carrito mediante un hilo; Sesión de trabajo en el laboratorio con herramienta computacional Data Studio (sólo para adquisición rápida de datos y confección de gráficos): Desarrollo de metodología de modelamiento en base preguntas de Guía, sobre experiencia 2: obtención de datos experimentales, con presentación de gráficos y sus ajustes, y derivación de coeficientes de las expresiones algebraicas que relacionan las variables a estudiar: velocidad, posición y tiempo. Se incluye transferencia en experimento en el que se agrega un impulso al carrito en sentido opuesto a la fuerza de las pesas que cuelgan de la polea.</p> <p>Sólo Grupo Experimental: (09:15 a 10:45) Ídem a Grupo anterior, sólo que las expresiones algebraicas las transfieren al <i>Software Modellus</i> para reproducir animación y para explotar los conceptos obtenidos.</p> |
| 5 martes 28 noviembre | <p>Ambos Grupos en sus respectivos horarios acordados: Gc 09:00 hrs. Ge 10:30 hrs. Evaluación Sumativa de Modelamiento Mental sobre Lanzamiento Vertical hacia arriba + Caída Libre(anexo1), con el problema descrito y una serie de preguntas sobre resultados, con papel y lápiz para ambos grupos, pero con acceso voluntario a <i>Modellus</i> en el grupo experimental.</p> |

Resultados del estudio

Análisis de datos

Los datos obtenidos fueron contrastados estadísticamente y calculados los coeficientes de significatividad que hagan refutar o aceptar la H_0 , éstos están distribuidos en las siguientes tablas, separando los del Grupo Control y los del Grupo Experimental¹.

Grupo control

| Nº Orden | Sexo | PreTest | Post Test | minutos | modellus |
|----------|------|---------|-----------|---------|----------|
| 1 | 2 | 3,00 | 4,50 | 60 | 0 |
| 2 | 2 | 1,00 | 4,00 | 50 | 0 |
| 3 | 2 | 1,00 | 5,00 | 75 | 0 |
| 4 | 2 | 1,00 | 7,00 | 68 | 0 |
| 5 | 2 | 2,00 | 4,70 | 65 | 0 |
| 6 | 2 | 1,00 | 4,50 | 60 | 0 |
| 7 | 2 | 1,00 | 2,50 | 52 | 0 |
| 8 | 2 | 1,00 | 3,50 | 62 | 0 |
| 9 | 1 | 1,00 | 3,70 | 70 | 0 |
| 10 | 1 | 2,00 | 4,00 | 50 | 0 |
| 11 | 1 | 1,00 | 6,50 | 65 | 0 |
| 12 | 1 | 1,00 | 3,00 | 58 | 0 |
| 13 | 1 | 1,00 | 2,00 | 55 | 0 |
| 14 | 1 | 1,00 | 3,80 | 80 | 0 |

Grupo experimental

| Nº Orden | Sexo | PreTest | Post Test | minutos | modellus |
|----------|------|---------|-----------|---------|----------|
| 15 | 2 | 1,00 | 4,00 | 61 | 1 |
| 16 | 2 | 1,00 | 4,50 | 70 | 1 |
| 17 | 2 | 1,00 | 4,50 | 60 | 1 |
| 18 | 2 | 1,00 | 7,00 | 63 | 2 |
| 19 | 2 | 1,00 | 5,00 | 56 | 1 |
| 20 | 1 | 1,00 | 6,00 | 30 | 2 |
| 21 | 1 | 1,00 | 3,00 | 55 | 1 |
| 22 | 2 | 2,00 | 7,00 | 50 | 2 |
| 23 | 2 | 2,00 | 6,00 | 45 | 2 |
| 24 | 1 | 2,00 | 6,00 | 53 | 2 |
| 25 | 1 | 1,00 | 6,00 | 35 | 2 |

Análisis de la hipótesis 1 (H_1):

Considerando que dentro del Grupo Experimental hubo estudiantes que usaron *Modellus* sólo durante el proceso instruccional y quienes usaron *Modellus* siempre en el proceso instruccional y durante el Post Test donde era optativa su utilización, surgió una nueva variable que obligó a realizar un análisis comparativo de Medias (t de Student) entre:

- Gc (sin *Modellus*) v/s Ge (con *Modellus* sólo en la instrucción);

¹ Sexo 1 son varones y 2 son damás; Minutos es el tiempo de demora en responder el Post Test; modellus 0: alumnos que no usaron *Modellus* nunca, 1 usaron *Modellus* sólo en el proceso pero no en el post test; 2 usaron *Modellus* siempre.

• **Gc** (sin *Modellus*) v/s **Ge** (con *Modellus* en la instrucción y en el Post Test); y

• **Ge** (con *Modellus* sólo en la instrucción) v/s **Ge** (con *Modellus* en la instrucción y en el Post Test). Todos tratados como grupos independientes

Entonces:

| Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales | | |
|---|--------------------|---------------------|
| | <i>GeModellus1</i> | <i>Gcs/Modellus</i> |
| Media | 4,2 | 4,192857143 |
| Observaciones | 5 | 14 |
| Estadístico t | 0,010950296 | |
| P(T<=t) dos colas | 0,991390584 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2,109815559 | |

Al comparar las Medias entre **Gc** (sin *Modellus*) v/s **GeModellus1** (con *Modellus* sólo en la instrucción); se observa un valor *t* inferior al valor crítico de referencia, lo que se considera estadísticamente no significativo por lo que no se puede atribuir sólo a *Modellus* la diferencia de puntajes obtenidos en los grupos. Esto hace inicialmente aceptar la H_0 , en esta relación de estos dos grupos.

| Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales | | |
|---|--------------------|-----------------------|
| | <i>GeModellus2</i> | <i>Gc s/ Modellus</i> |
| Media | 6,333333333 | 4,192857143 |
| Observaciones | 6 | 14 |
| Estadístico t | 3,672414083 | |
| P(T<=t) dos colas | 0,001742479 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2,100922037 | |

Ahora bien, al comparar las Medias entre **Gc** sin *Modellus* v/s **GeModellus2** (con *Modellus* en la instrucción y en el Post Test); se observa un valor *t* superior al valor crítico de referencia, lo que es estadísticamente significativo, con un valor **P** muy inferior a 0.05, lo que hace muy improbable que la diferencia se deba a otra variable que no sea al uso de *Modellus*.

Este resultado nos hace rechazar la H_0 y por tanto aceptar la H_1 en relación a estos 2 grupos.

| Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales | | |
|---|--------------------|--------------------|
| | <i>GeModellus2</i> | <i>GeModellus1</i> |
| Media | 6,333333333 | 4,2 |
| Observaciones | 6 | 5 |
| Estadístico t | 5,54487343 | |
| P(T<=t) dos colas | 0,00035879 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2,262157158 | |

Al comparar ahora las Medias entre los dos subgrupos que se formaron dentro del Grupo Experimental (**Ge** con *Modellus1* sólo en la Instrucción y **Ge** con *Modellus2* en la Instrucción y en el Post Test); se observa un valor *t* muy superior al valor crítico de referencia, lo que se considera estadísticamente significativo, con un valor **P** muy inferior a 0.05 lo que hace muy improbable que la diferencia se deba a otra variable que no sea al uso de *Modellus*.

Este resultado nos hace aceptar la H_1 en relación a estos 2 grupos independientes.

Análisis de la H_2 :

| Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales | | |
|---|----------------------------|----------------------------|
| | minutos <i>GeModellus1</i> | minutos <i>GeModellus2</i> |
| Media | 60,4 | 46 |
| Observaciones | 5 | 6 |
| Estadístico t | 2,414299631 | |
| P(T<=t) dos colas | 0,038973263 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2,262157158 | |

Al analizar la diferencia de Medias del tiempo demorado en contestar la prueba, expresado en minutos, dentro del Grupo Experimental, separando como grupos independientes a los que usaron *Modellus* sólo durante la Instrucción (**Gec/Modellus1**) y a los que usaron *Modellus* en la Instrucción y en el Post Test (**Gec/Modellus2**).

Se aprecia un valor *t* superior al valor crítico; y un valor **P** menor a 0.05, lo que es considerado estadísticamente significativo, pudiendo por ello rechazarse la H_0 y aceptarse la H_2 respectiva. Aquí no se puede atribuir la disminución del tiempo de respuesta a otra cosa que no sea el uso de *Modellus* durante el desarrollo de la experiencia.

| Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales | | |
|---|-------------|---------------------|
| | minutos Gc | minutos GeModellus1 |
| Media | 62,14285714 | 60,4 |
| Observaciones | 14 | 5 |
| Estadístico t | 0,396043979 | |
| P(T<=t) dos colas | 0,696999138 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2,109818524 | |

Al comparar la Media de los minutos que el Gc demoró en realizar el Post Test con la Media de la demora del GeModellus1 -que no usó Modellus en la Prueba Final- se observa un valor t inferior al valor crítico de la tabla y un valor P superior al 0.05, lo que estadísticamente no es significativo.

Ello hace atribuir, con una probabilidad del 69,7%, que la diferencia de tiempo no sea causada por el uso o no uso de Modellus durante la experiencia; haciendo aceptar la H_0 y refutar la H_2 respectiva.

| Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales | | |
|---|-------------|---------------------|
| | minutos Gc | minutos GeModellus2 |
| Media | 62,14285714 | 46 |
| Observaciones | 14 | 6 |
| Estadístico t | 3,304893194 | |
| P(T<=t) dos colas | 0,003938532 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2,100923666 | |

Al analizar ahora las Medias del tiempo ocupado en responder el Post Test, entre el Gc y el Ge que utilizó siempre Modellus, arroja un valor t superior al valor crítico, con una probabilidad muy por debajo del $P = 0.05$ estimado para esta prueba estadística. Por lo tanto, esta diferencia es considerada estadísticamente significativa.

Este resultado puede interpretarse como que existe una alta probabilidad que la disminución de tiempo para responder una prueba de modelamiento matemático en un problema de física, en un grupo que usa Modellus durante su desarrollo, se deba a esta condición o variable y no a otra.

Conclusiones

La Hipótesis 1 había sido formulada sin prever que un grupo de alumnos del Grupo Experimental no iba a utilizar en la prueba final el software Modellus, obteniendo por ello un resultado promedio muy similar al promedio logrado por el Grupo Control. Por ello, y proyectando el mejoramiento de una próxima experiencia es que se consideró importante dicho resultado en la desestimación de la hipótesis alternativa.

Esta situación, reforzada con los resultados de una encuesta de opinión aplicada al término de la experiencia a los estudiantes, hace generar una importante conclusión: Los alumnos que usaron Modellus siempre, incluso durante la prueba final, lo hicieron porque consideraron su efectiva utilidad, pero **no todos lograron apreciar esa fortaleza o pueden haber sido incapaces, en el poco tiempo, de integrarla en la tarea de análisis y desarrollo del proceso de modelamiento** y por ello no haberla aprovechado en el momento de mostrar sus logros.

Lo importante en estos primeros estudios exploratorios y experienciales es advertir estos resultados y enriquecer así futuras experiencias.

En el análisis de la Hipótesis 2, sin embargo, aún resultando uno de los valores en la contrastación como no significativo, se estimó válida la hipótesis alternativa, rechazando la H_0 respectiva, por las razones que a continuación se indican:

Siempre hubo una diferencia favorable en los promedios de los tiempos empleados para resolver el Post Test, en los dos grupos que usaron Modellus. Aún con valores no significativos. Sin embargo, la extrema diferencia en el promedio del Grupo Experimental que usó siempre Modellus, comparado con los otros grupos analizados, hace presumir que su empleo ayuda a disminuir los promedios de tiempo con efectivos resultados.

Se debe considerar un aspecto relevante al momento de hacer esta conclusión: el estudiante que **usa una herramienta más** durante una experiencia, debe **ocupar un tiempo adicional** al agregar una función extra a su actividad; pero **aún así, sus tiempos resultan menores**, lo que da cuenta de la "garantía" que le aporta poder verificar de una vez la ecuación que produzca, a diferencia de quien no usa la herramienta de comprobación, pudiendo ante una duda estar mucho más tiempo revisando sus procesos y hasta "sentirse" seguro de su producción.

Recomendaciones

- A partir del conocimiento y expertise adquiridos en esta investigación, se sugiere replicar la experiencia en condiciones más favorables, principalmente de tiempo, ya que los recursos y materiales elaborados ya cuentan con una validación bastante rigurosa y consistente.
- Se sugiere realizar una investigación más minuciosa que contemple los aspectos que no permitieron un éxito mayor en este estudio, formulando hipótesis más específicas que permitan incluir el máximo de variables que puedan tener relevancia, estudiando las funciones que los softwares puedan favorecer los resultados esperados.
- Integrar a más profesores que, junto con participar en estudios similares, aprendan este tipo de metodología y favorezcan con ello el aprendizaje de los estudiantes, generando información provechosa de estas prácticas para contribuir con la necesaria innovación en la enseñanza.
- Comunicar, tanto a los autores de las metodologías y de los recursos, como a los colegas profesores acerca de estas prácticas e investigaciones, para avanzar en el ámbito de la información, de la investigación y de la innovación, a partir de actitudes colaborativas y de las experiencias exitosas alcanzadas.
- Finalmente se recomienda, no perder el contacto con el colegio que favoreció esta experiencia, sobre todo en una continuidad o seguimiento con los estudiantes que demostraron mucho interés en aprender, ya que fueron la siembra de un estilo de aprender que pudiera llegar a cultivar frutos muy interesantes en un futuro próximo.

Bibliografía

- Araujo, I. S. "Un estudio sobre el desempeño de alumnos de Física, usuarios de la herramienta computacional *Modellus* en la interpretación de gráficos en Cinemática" Porto Alegre, Brasil, págs. 51-52. 2002.
- Ausubel, D. Adquisición y retención del conocimiento. Una perspectiva cognitiva. Ed. Paidós. Barcelona, España. 2002.
- Hestenes, D. and collaborators. Modeling Theory of Physics Instruction, focus of educational research; Implemented through Modeling Instruction Program, in Arizona State University from 1985 to 2005: <http://modeling.asu.edu/>. Traduced by Carl J. Wenning.

Hestenes, D. "Hacia una teoría del modelamiento de la instrucción de la física" Publicado en: *American Journal Physics*. 55 (5), el 1987 de mayo, pp. 440-454 (traducción personal con <http://ets.freetranslation.com/>. 1987.

Otero, M. R., Greca, L. M., Lang da Silveira, F. "Imágenes visuales en el aula y rendimiento escolar en Física: Un estudio comparativo" publicado en la *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Vol. 2*, [1], 2003.

Pérez, C. "Modelamiento y Simulación Computacional en la Enseñanza y Aprendizaje de la Física"; ponencia en el Congreso Nacional Formación Inicial de Docentes en Chile" ^{UMCE}, Santiago, Chile. 2003.

Rodríguez, M. L. La Teoría del Aprendizaje Significativo. Centro de Educación a Distancia (C. E. A. D.). Pedro Suárez Hernández, s/n. C. P. n° 38009 Santa Cruz de Tenerife. 2004.

Teodoro, V. D., Vieira, J. P., & Clérigo, F. C. *Modellus, interactive modeling with mathematics*. San Mateo, CA: Knowledge Revolution. 1997.

Teodoro, V. D. From formulae to conceptual experiments: interactive modeling in the physical sciences and in mathematics. Invited paper presented at the International CoLos Conference New Network-Based Media in Education, Maribor, Slovenia. 1998.

Teodoro, V. D., Vieira, J. P., Sitio de descarga de software *Modellus*: <http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus/> Last update: 29-Jan-2004.

ANEXO 1**EVALUACIÓN DE APRENDIZAJES SOBRE MODELAMIENTO CINEMÁTICO
DE MOVIMIENTOS RECTILÍNEOS (pre y post Test)**

FECHA: CURSO: TIEMPO:.....

NOMBRE:

INTRODUCCIÓN

Las ecuaciones de los modelos cinemáticos que se han obtenido en los experimentos realizados en el laboratorio, para determinar la posición x y la velocidad v en cualquier instante t , son aplicables también en cualquier caso de movimiento rectilíneo en que exista una aceleración constante como consecuencia de la actuación de una fuerza constante sobre el móvil.

Como se ha visto en el laboratorio, las ecuaciones para x en función de t y para v en función de t tienen siempre las mismas formas algebraicas generales, cambiando solamente los valores numéricos de los coeficientes y los signos de los términos, según las elecciones que haga el observador para ubicar el origen y para establecer el sentido positivo del eje de coordenadas de su sistema de referencia.

A continuación se presenta un caso teórico de un movimiento rectilíneo con aceleración constante, y se le invita a analizarlo siguiendo el método de modelamiento empleado en los experimentos de laboratorio, para escribir las ecuaciones algebraicas para la posición x y para la velocidad v en función del tiempo t , prestando atención a los datos del enunciado del problema para colocar los coeficientes numéricos con los signos que correspondan. Si necesita algún dato físico adicional, solicite ayuda al profesor levantando la mano. Después use las dos ecuaciones para responder las preguntas que se plantean en el enunciado.

POR FAVOR, EXPLIQUE LOS VALORES DE LOS COEFICIENTES Y LOS SIGNOS QUE USTED ELIGIO PARA LAS ECUACIONES DEL MODELO.

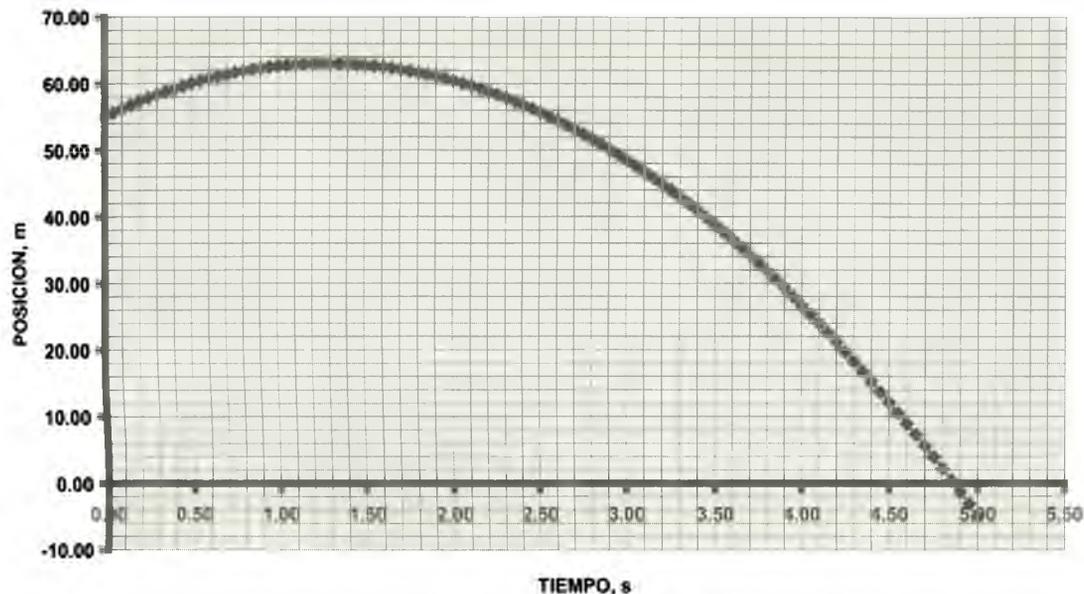
SITUACIÓN-PROBLEMA

Desde la azotea de un edificio un hombre lanza verticalmente hacia arriba una pelota de goma, comunicándole un impulso con la mano. La altura del punto en que la pelota abandona la mano al terminar el impulso del lanzamiento es de 55 m con respecto al suelo, y la velocidad de la pelota al partir es de 12.52 m/s. La pelota sube en línea recta hasta un punto ubicado a 63 m sobre el suelo; allí se detiene por un instante, para iniciar su caída sobre la misma trayectoria vertical hasta el suelo.

En el suelo, muy cerca del punto de caída de la pelota, hay un observador que dispone de elementos tecnológicos de adquisición de datos en tiempo real para registrar detalladamente el movimiento de subida y bajada de la pelota, con la finalidad de elaborar un modelo cinemático de la situación. Además se mantiene en coordinación con el hombre en la azotea, por medio de contacto visual y de un transmisor/receptor de radio. El observador fija el origen del sistema de referencia en el suelo (donde estará el punto de caída de la pelota) y el sentido positivo hacia arriba.

La computadora entregó el gráfico posición en función del tiempo siguiente:

POSICION EN FUNCION DEL TIEMPO



Usted debe ayudar al observador a responder las siguientes preguntas acerca del movimiento de la pelota:

1. ¿A qué altura sobre el suelo se encuentra la pelota a los 0.75 s?
2. ¿Cuál es la velocidad de la pelota en ese mismo instante?
3. ¿Cuánto tiempo demoró la pelota en alcanzar el punto de altura máxima? (se acepta una respuesta aproximada, pero con su explicación).
4. ¿Cuál es la velocidad de la pelota cuando pasa justo por el punto de lanzamiento durante su caída?
5. ¿Cuánto tiempo tarda la pelota en caer desde su punto de altura máxima hasta el suelo?
6. ¿Con qué velocidad llega la pelota al suelo?
7. ¿Qué distancia recorrió la pelota en total (subida y bajada)?.