



UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Ciencias Sociales
Escuela de Postgrado
Programa de Magíster en Educación

**ESTUDIO SOBRE EL APORTE EFECTIVO DEL
SOFTWARE *MODELLUS* DURANTE EL
DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA DE
MODELAMIENTO MENTAL DE HESTENES,
PARA EL APRENDIZAJE DE LA FÍSICA**

**Tesis para optar al Grado de Magíster en Educación
con mención en Informática Educativa.**

JAIME TELLO GALLARDO
Tesisista

MANUEL SILVA ÁGUILA
Director de Tesis

Santiago, 2006

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que confiaron y me apoyaron durante todo el Programa y en especial en la concreción de este trabajo de Investigación.

En especial a mi esposa Gladys que con mucho amor y paciencia me apoyó durante todo el proceso;

A mi amigo Claudio Pérez Matzen y esposa, que me dieron fuerza y apoyo para sacar adelante este proyecto, sacrificando sus días de descanso y compartiendo su conocimiento sin límites;

A los estudiantes, profesores y directivos del colegio Saint Gabriel's School que permitieron entrar en sus aulas y recibir ese entusiasmado apoyo para la realización de este trabajo;

A todos los profesores del Programa del Magíster en Educación con mención en Informática Educativa, sin excepción, por su paciencia, comprensión y entrega, sin lo cual no habría llegado a esta etapa de mi carrera; y

A las autoridades de la UMCE, que confiaron en mí al otorgarme esta maravillosa oportunidad de crecimiento personal y profesional.

A todos,

¡ Muchas Gracias !

INDICE

TABLA DE CONTENIDOS	Página
<u>AGRADECIMIENTOS</u>	1
ÍNDICE	2
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	5
2. <u>PROBLEMA de INVESTIGACIÓN</u>	7
2.1 <u>ANTECEDENTES</u>	7
2.2 <u>EL PROBLEMA</u>	8
2.3 <u>JUSTIFICACIÓN</u>	11
2.4 <u>VIABILIDAD</u>	14
2.5 <u>OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</u>	15
3. <u>MARCO TEÓRICO</u>	16
3.1 <u>MODELAMIENTO</u>	16
3.2 <u>SIMULACIÓN</u>	18
3.3 <u>PROCESO DE MODELAMIENTO MENTAL</u>	19
3.4 <u>LA METODOLOGÍA DEL MODELAMIENTO MENTAL</u>	22
3.4.1 <u>Descripción del Desarrollo del Modelo.-</u>	23
3.4.2 <u>Formulación del Desarrollo del Modelo.-</u>	24
3.4.3 <u>Ramificación del Desarrollo del Modelo.-</u>	24
3.4.4 <u>Validación del Desarrollo del Modelo.-</u>	24
3.4.5 <u>Uso y aplicación del Modelo.-</u>	24
3.5 <u>EL SOFTWARE MODELLUS</u>	25
3.6 <u>APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DE AUSUBEL</u>	28
3.6.1 <u>La Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird</u>	31
3.6.2 <u>La Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud</u>	32
3.6.3 <u>La Construcción del Conocimiento en la Perspectiva Conjunta de la Teoría de los Modelos Mentales y la Teoría de los Campos Conceptuales</u>	33

3.6.4	<u>Aprendizaje Significativo: Una Visión Cognitiva Conjunta</u>	35
3.7	<u>INVESTIGACIONES RELACIONADAS</u>	36
3.7.1	<u>“Un Estudio sobre el desempeño de Alumnos de Física, Usuarios de Modellus en la Interpretación de Gráficos De Cinemática” de Araujo</u>	36
3.7.1.1	<u>Síntesis del Estudio</u>	36
3.7.1.2	<u>Conclusiones del Estudio</u>	37
3.7.2	<u>“Imágenes Visuales en el Aula y Rendimiento Escolar en Física: Un Estudio Comparativo” de Otero</u>	40
3.7.2.1	<u>Síntesis del Estudio</u>	40
3.7.2.2	<u>Conclusiones del Estudio</u>	40
4.	<u>METODOLOGÍA</u>	42
4.1	<u>HIPÓTESIS:</u>	42
4.2	<u>CONSECUENCIAS VERIFICABLES</u>	43
4.3	<u>VARIABLES</u>	44
4.4	<u>DOCIMACIA</u>	45
4.5	<u>DEFINICIÓN DE LA MUESTRA</u>	46
4.6	<u>INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</u>	50
4.7	<u>FACTORES DE INVALIDEZ INTERNA Y EXTERNA</u>	51
4.8	<u>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</u>	53
4.9	<u>PLAN DE TRABAJO</u>	54
4.9.1	<u>Descripción de la Metodología de Trabajo Experimental</u>	55
4.9.2	<u>Ilustraciones de las sesiones del Plan de Trabajo</u>	57
5.	<u>RESULTADOS</u>	59
5.1	<u>ANÁLISIS DE DATOS</u>	59
5.2	<u>SOBRE LAS HIPÓTESIS A CONTRASTAR</u>	60
5.3	<u>ANÁLISIS DE DATOS SOBRE HIPÓTESIS 1 (H₁)</u>	62
5.4	<u>CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE DATOS SOBRE HIPÓTESIS 1 (H₁)</u>	65

5.5	<u>ANÁLISIS DE DATOS SOBRE HIPÓTESIS 2 (H₂)</u>	67
5.6	<u>CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE DATOS SOBRE HIPÓTESIS 2 (H₂)</u>	69
5.7	<u>ANÁLISIS DE DATOS Y CONCLUSIONES SOBRE VARIABLE GÉNERO</u>	70
5.8	<u>SOBRE LA ENCUESTA DE EVALUACIÓN DE ACTIVIDADES</u>	71
6.	<u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	74
6.1	<u>CONCLUSIONES GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN</u>	74
6.2	<u>RECOMENDACIONES</u>	78
6.3	<u>RESULTADOS EXTRAORDINARIOS</u>	79
7.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	80
8.	<u>ANEXOS</u>	82
8.01	<u>ANEXO 01</u> Carta a Directores Depto Matemática y Física	82
8.02	<u>ANEXO 02</u> Carta a Alumnos Depto Matemática y Física	83
8.03	<u>ANEXO 03</u> Pre Test / Post Test	84
8.04	<u>ANEXO 04a</u> Diagnóstico Conceptos Básicos Cinemática	86
8.05	<u>ANEXO 04b</u> Respuestas a Diagnóstico de Conceptos Básicos de Cinemática	89
8.06	<u>ANEXO 05</u> Guía Conceptos Básicos de Cinemática	91
8.07	<u>ANEXO 06</u> Bitácora de Sesiones de Trabajo Experimental en el Colegio Saint Gabriel's School	100
8.08	<u>ANEXO 07</u> Guía de Uso del Software <i>Modellus</i> versión 2.5	103
8.09	<u>ANEXO 08</u> Guía Primera Parte de Experiencia	118
8.10	<u>ANEXO 09</u> Guía Segunda Parte de Experiencia	128
8.11	<u>ANEXO 10</u> Resumen de Primera Sesión Experimental	137
8.12	<u>ANEXO 11</u> Encuesta de Evaluación de Actividades	148

1. INTRODUCCIÓN

Habiendo estado por más de 30 años ligado a los recursos multimediales orientados a la educación, podría haberme transformado en un ferviente admirador y promotor de ellos, sobre todo con la variedad de formatos hoy en día disponibles. Sin embargo, esa experiencia me ha hecho más cauto y más crítico, es decir, más consciente de sus funciones y limitaciones y más exigente al momento de seleccionarlos en un contexto de un diseño pedagógico adecuado.

En mi trabajo en el Departamento de Medios Educativos de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, en labores de permanente asesoría a usuarios de los recursos, profesores o estudiantes de pedagogía se manifiestan muy entusiasmados con lo entretenido y versátil de muchos de estos recursos, pero ello les hace perder de vista lo esencial: que dichos recursos permitan realmente mediar junto al profesor para que el alumno desarrolle un verdadero aprendizaje y que no sean uno más de los tantos espectáculos que le permiten pasar un buen momento, pero sin verdaderos resultados.

Cuando estaba en el primer semestre del programa de Magíster, sentí la necesidad de escoger desde ya un tema para mi Tesis; me preocupé de revisar la limitada bibliografía existente sobre investigaciones que se relacionaran con medios, tanto impresa como virtual, tratando la mayor parte de ella sobre aplicaciones de recursos que no aportaban evidencia de efectividad en términos de aprendizaje, sino descripciones cualitativas sobre resultados en términos de entusiasmo o motivación para abordar determinados temas, pero sin alcances positivamente diferentes o más interesantes.

Conversando con colegas de diferentes departamentos académicos de la UMCE, en la búsqueda de intereses o inquietudes al respecto, me contacté con el Director del Departamento de Física, profesor Claudio Pérez Matzen, quién me conversaba que su unidad académica estaba utilizando algunos atractivos recursos informáticos que publicitaban ser capaces de lograr importantes resultados en términos de aprendizaje en los estudiantes de física, pero que no se contaba con evidencias empíricas que confirmaran que dichos resultados fueran reales.

Especialmente uno de estos recursos, *Modellus*, de naturaleza informática y de acceso libre, contaba con una preferencia especial en los profesores, pero estaba siendo utilizado como

recurso demostrativo y su aprovechamiento no daba señas de mejoramiento en los aprendizajes reales de los alumnos. El análisis de esta inquietud nos llevó a buscar información sobre alguna variedad de aplicaciones del software y la evidencia de algún resultado significativo al respecto. De esta búsqueda comenzó a surgir el concepto de modelamiento mental y con ello la metodología difundida por David Hestenes del Departamento de Física, de la Arizona State University, Tempe, Arizona.

Al estudiar esta modalidad de aprendizaje de la física, comenzamos con el profesor Pérez a especular respecto a la función que le cabría a los recursos informáticos con que cuenta el Departamento y en especial a *Modellus*.

Así, de la falta de investigación sobre los recursos, de algunas sugerencias de autores/investigadores respecto al tema, de la inquietud surgida de esas conversaciones y de las lecturas derivadas, se decide investigar sobre *el verdadero aporte del software Modellus, en el desarrollo de la metodología de modelamiento mental de Hestenes para el aprendizaje de algún tópico de física*.

Este es el tema y el origen de este estudio, y aunque debido a diversas circunstancias incontrolables no se haya podido realizar con la extensión que hubiese deseado, es una primera aproximación a este tipo de investigaciones en nuestra universidad, con resultados auspiciosos, recursos generados, probados y validados; y lo más importante, con una experiencia directa importantísima para poder seguir en esta línea tanto metodológica como de investigación y que ha interesado significativamente a varias unidades académicas, lo que esperamos también suceda con los autores involucrados, una vez que les comuniquemos los resultados logrados.

2. PROBLEMA de INVESTIGACIÓN

2.1 ANTECEDENTES

Con la inserción de las Nuevas Tecnologías de Información y Comunicación en el campo de la Educación, se han desarrollado diversos softwares orientados, principalmente, a elaborar presentaciones multimediales que sirvan de apoyo a los procesos de enseñanza-aprendizaje en diferentes asignaturas o áreas del conocimiento. En algunos casos y ante la dificultad histórica que determinados aprendizajes han presentado, se ha desarrollado softwares de aplicación específica; tal es el caso del área de las ciencias, en especial de la Física, que cuenta con algunos recursos informáticos que han sido creados con la intención de facilitar la construcción del conocimiento por parte del estudiante.

Como Diseñador Instruccional de Medios y parte del equipo de desarrollo del Departamento de Medios Educativos de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación (UMCE), nos corresponde a menudo -además de una permanente actualización en términos de los recursos tecnológicos disponibles- sugerir el uso de determinados medios y de procedimientos metodológicos para la utilización efectiva de éstos, sin contar con antecedentes más consistentes que la propia experiencia o la simple intuición.

En la búsqueda y revisión de la poca información sobre estudios que den cuenta de los beneficios de estos recursos informáticos, se encuentran antecedentes que advierten que, por un lado, se están empleando métodos y materiales innovadores, pero por otro, se ignora cómo éstos son asimilados por los aprendices, lo que puede ocasionar el refuerzo de pensamientos y actitudes que justamente se están intentando superar (Araujo, 2002).

Son muchas las interrogantes que se presentan en el camino de la formación de profesores frente a este repertorio de recursos en constante expansión, y que requieren respuestas fundadas en la investigación (Pérez,2003).

Por su parte, las instituciones formadoras de educadores invierten en recursos que suponen efectivos para apoyar el aprendizaje; sin embargo, es poca la evidencia empírica de dicha efectividad que oriente las decisiones.

2.2 EL PROBLEMA

Habiendo experimentado el uso de diversos recursos informáticos (Pérez, 2003) en la formación de los futuros Licenciados en Educación en Física y Profesores de Física de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, se advierte que uno de estos softwares, el Modellus (Teodoro, 1997), está más cercano a posibilitar el tipo de aprendizaje que se espera desarrollen los estudiantes (Informe Bolonia, 2002), lo que se confirma en las conclusiones del estudio de Ives Solano Araujo (Araujo, 2002), donde se sugiere investigar **cómo el modelamiento computacional en la Enseñanza de la Física puede influenciar el proceso de modelamiento mental de los alumnos**, entre otros tipos de aprendizaje esperados.

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 del modelo (ecuación) que le administre el usuario, desarrolla simulaciones analógicas con animaciones, elabora gráficos y hace procesamiento estadístico con datos exportables a planillas de cálculo; permitiendo así comprobar si el modelo administrado como input era o no correcto, en el caso de aprendizajes sobre temas para los que se dispone de información de referencia, o generando información que se pueda someter a ulterior validación por otros medios, en caso de tratarse de generación de nuevo conocimiento.

Modellus para operar, requiere de modelos algebraicos expresados en ecuaciones diferenciales, o en ecuaciones de diferencias o en funciones que pueden describir muchos patrones del mundo físico. 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).

Por otra parte, en el estudio realizado por Maria Rita Otero y otros (Otero, 2003) se advierte que el uso de cualquier recurso que tenga sólo propósitos de ilustración no aporta mejoras significativas en el aprendizaje de la Física, destacando que lo que se requiere, ante nada, es la posibilidad de “generar, propiciar y ayudar la construcción de representaciones internas

complejas como modelos mentales, que permiten explicar y predecir”(Informe Bolonia, 2002), lo cual es coincidente a lo planteado en el estudio citado anteriormente.

Orientado por los antecedentes anteriores, y ante la evidente realidad que la mayor parte de los alumnos de ciencias son capaces de resolver problemas cuantitativos y sin embargo, no pueden resolver el problema conceptual que está detrás del problema, lo que refleja que lo que se está aprendiendo no es lo que se espera que se aprenda; queda de manifiesta la necesidad de realizar estudios acerca del uso de recursos en la enseñanza de la Física y su capacidad de apoyar el desarrollo de modelos mentales apropiados en los estudiantes en formación inicial docente, construcción indispensable para hacer inferencias en torno a los fenómenos físicos que deben llegar a dominar, para luego poder guiar adecuadamente el aprendizaje de sus propios futuros alumnos.

De acuerdo a la práctica docente basada en investigación sobre enseñanza y aprendizaje de las ciencias, se considera al modelamiento como una estrategia adecuada y fundamental para alcanzar aprendizajes válidos para el dominio de los conceptos y fenómenos de la física, pero se advierte que los alumnos están más acostumbrados al consumo de recursos con fines demostrativos e ilustrativos, en vez de ser reflexivos constructores de modelos mentales y utilizar las herramientas como medios de comprobación o de verificación de sus hipótesis o configuraciones mentales. El poder formar las capacidades de análisis y derivación de modelos mentales para resolver problemas (Hestenes, 2005), es un desafío pedagógico importante de enfrentar desde el inicio de la formación de los estudiantes de ciencias, especialmente de física y matemáticas.

Este desafío pedagógico de desarrollar una metodología de modelamiento mental con estudiantes en formación, empleando el modelo desarrollado por David Hestenes ((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 (ecuaciones) durante el proceso metodológico del modelamiento, tiene la posibilidad de comprobar su validez y exactitud a través del software Modellus, que cuenta con una herramienta de construcción de animaciones, es decir, representaciones que imitan los fenómenos (en este caso movimientos) observados en el

laboratorio, 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 en algún momento sus ecuaciones construidas sólo con las propuestas por el profesor, sin procesos intermedios de reflexión crítica, búsqueda y ajuste que le lleven a una verificación más propia de sus propias construcciones, asegurándole 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 de dicho rol en la metodología de aprendizaje científico, es de disponibilidad gratuita, lo que nos permite desarrollar una experiencia investigativa que nos ayude a comprobar su eficacia y a determinar de qué manera se debe utilizar con mayores resultados, en términos de aprendizaje.

Cabe indicar que la experiencia se realizó en el segundo semestre del año 2006 en un contenido de Mecánica: **“movimiento de partículas en una dimensión”**, más específicamente “el movimiento rectilíneo uniforme y el movimiento uniformemente acelerado”, con una muestra de alumnos de Primer Año de la Facultad de Ciencias de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, que tienen un primer semestre común, con asignaturas introductorias de Física, Matemáticas, Química y Biología, pero que en la asignatura de Física no incluyen el estudio específico detallado del movimiento rectilíneo al nivel que se pretende abordar en la investigación. Alternativamente se contempló recurrir a una muestra de estudiantes de Educación Media que reuniera las condiciones para la investigación.

Así, el problema a investigar se plantea con la siguiente interrogante:

¿En qué medida contribuye a la calidad de los procesos y resultados de aprendizaje sobre un tópico de Física Básica mediante la metodología del modelamiento mental, la utilización del software “Modellus” directamente por los estudiantes, durante las etapas de construcción, desarrollo y aplicación que contempla dicha metodología?

2.3 JUSTIFICACIÓN

Los antecedentes descritos anteriormente plantean gran parte de la justificación de la investigación, lo que se puede sintetizar de la siguiente manera:

- El vertiginoso desarrollo de recursos informáticos, en algunos casos de aplicación especializada, no ha ido a la par con la realización de estudios que permitan saber cómo aquellos son asimilados por los estudiantes y, por tanto, sean una ayuda y no un contenido ni un problema más para el aprendizaje;
- El alto costo de las inversiones en equipamiento, software educativo y capacitación docente involucra decisiones que deberían estar basadas en antecedentes de efectividad comprobada;
- Existe interés en el Departamento de Física de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, donde se vienen usando diversos recursos experimentales, audiovisuales e informáticos de apoyo a la enseñanza-aprendizaje, en que se realicen investigaciones sobre procedimientos metodológicos y recursos para el aprendizaje, lo que coincide con la disposición del Departamento Medios Educativos, a fin de generar conocimiento sobre efectividad de los medios y sus procedimientos óptimos de uso o explotación
- Entre los recursos informáticos que están disponibles como apoyo al aprendizaje de la Física, y que se pueden utilizar sin costo, está el software Modellus que, según los pocos estudios existentes y la evidencia empírica, permite demostrar o ejecutar el modelamiento propuesto por el usuario, siendo ello el tipo de aprendizaje esperado en la formación del futuro Licenciado y Profesor de Física. Si bien Modellus no es precisamente una herramienta que facilite por sí misma la construcción de modelos conceptuales, a pesar de lo que su autor plantea, posee herramientas que permiten una comprobación de eficacia de los modelos matemáticos que se le suministren, lo que supone el dominio previo de la estrategia de modelamiento mental por parte del usuario. El software facilita la implementación de diversas representaciones (algebraica, gráfica, analógica) de un modelo conceptual, el cual necesariamente debe ser antes elaborado (o adoptado) por el usuario como un conjunto de expresiones matemáticas a ser interpretadas por “Modellus”,

en forma previa a la elaboración de cualquier representación alternativa de las que facilita el software.

- Efectivamente, el referente más importante en la determinación de las competencias que deben poseer los egresados de las universidades es el denominado Informe Tunning, en el contexto de la Declaración de Bolonia, publicado en el 2002. En el informe del Grupo del Área Temática de Física se explicita “De forma más detallada, podemos declarar con seguridad que «Resolución de problemas» y «Creación de Modelos y Resolución de Problemas» conforman el *eje central* de las competencias a desarrollar en los niveles de pre y post grado de Física.”;
- Los estudios realizados sobre el software Modellus aportan evidencia muy general sobre su forma de uso para el aprendizaje de la Física, bajo el supuesto implícito de que la mera posibilidad de representaciones alternativas de la información abstracta en estudio, incluyendo los gráficos y la animación, facilita el aprendizaje; la experiencia de los académicos del Departamento de Física de la UMCE que han venido empleando estos recursos durante los últimos 5 años, indica que en la práctica no se alcanzan dichos supuestos, y que de poco sirve el software si no se ayuda a los estudiantes a desarrollar competencias de modelamiento mental en las direcciones que plantean investigadores como Hestenes y Halloun. Por tanto, se considera que focalizar una investigación en esa línea permitiría recoger información metodológica más precisa y orientadora, para sacarle real provecho a este recurso, así como a otros para realizar simulaciones, tales como “Interactive Physics”, “Easy Java Simulations”, etc.;
- Respecto a la selección del Contenido de Física sobre el cual se aplicaría el software Modellus para la realización del estudio, se consideró la conciliación de algunas características básicas que permitieran, por una parte, que el software pueda operar con todas sus funciones potenciales y por otra, que los estudiantes tuvieran condiciones adecuadas para cumplir con las exigencias del mismo, desde el punto de vista de las conductas de entrada necesarias, y así esto no se transformara en un factor de inviabilidad e invalidez del estudio.

Por otra parte, se desea que el estudio se realice de preferencia con alumnos de primer año universitario e incluso de enseñanza media, por la necesidad de que éstos se inicien tempranamente en la formación de capacidades intelectuales de modelamiento y en el manejo de los recursos tecnológicos disponibles.

De este modo, parece razonable para la investigación seleccionar un contenido que no plantee exigencias demasiado altas de conocimientos previos. Parece recomendable, además, que se trate de un contenido accesible a la observación directa y a la experimentación sin grandes demandas tecnológicas, de manera que el alumno disponga de acceso fácil a referentes concretos para los conceptos implicados, hasta donde la naturaleza y dimensión de significado de dichos conceptos lo permita. Así se contará con respaldos confiables para la validación de los modelos propuestos, y posteriormente construidos con el software.

Se ha estimado entonces que el contenido que más se adecua para cumplir con estas consideraciones es el del “movimiento rectilíneo de partículas”, el que se puede estudiar analíticamente incluyendo “el movimiento rectilíneo uniforme y el movimiento uniformemente acelerado”, siendo un primer contenido de física, que no exige mayores conocimientos prerequisites.

- Otra razón que justifica este estudio es poder iniciar este tipo de investigación en la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, para que pueda servir de inicio y de modelo para futuros trabajos en la línea de los recursos tecnológicos y sus estrategias de aplicación.

2.4 VIABILIDAD

El software Modellus, objeto de este estudio, es de libre disponibilidad; y sus exigencias respecto a capacidad de hardware son menores, lo que lo hace accesible en el medio educacional y personal.

El contenido de Física que servirá para realizar las aplicaciones es el de “movimiento de partículas en una dimensión: movimiento rectilíneo uniforme y el movimiento uniformemente acelerado ”; tema que no ha sido aún estudiado por los alumnos de primer año y que sirve para abordar otros niveles de complejidad en contenidos de mecánica y otras ramas de la física, donde se pueden realizar mediciones de transferencia de aprendizajes, en experiencias posteriores.

Ahora bien, dado que todas las carreras de la Facultad de Ciencias Básicas de la UMCE, en sus planes 2005 tienen un primer semestre común, con asignaturas básicas generales de Física, Matemáticas, Química y Biología, se consideró realizar la experiencia con alumnos del 2º semestre de las carreras de Licenciatura y Pedagogía en Matemática y de Licenciatura y Pedagogía en Física, por ser especialidades que están más cercanas a la exigencia del modelamiento mental y al área de contenido del experimento. Ello permitirá incluso proyectar la utilidad del recurso Modellus a una población más amplia de usuarios. Este cambio circunstancial, permitiría además tener un número mayor de casos para los estudios estadísticos (30 alumnos), que los que hubiera aportado sólo el grupo del Departamento de Física, que contabilizaba un total de 18 estudiantes.

Se consideró como alternativa, en caso de no conseguir la muestra universitaria adecuada, aplicar la experiencia con alumnos aventajados en matemáticas y física de Primeros Años de Enseñanza Media, siendo éstos estudiantes los que presentan las mejores condiciones para el estudio, pues no han tenido anteriormente acceso formal a los temas a desarrollar.

Entonces, los alumnos que participarán en la investigación son de primer año, y genéricamente del área de ciencias, por lo tanto, el nivel de conocimiento de física es mínimo y adecuado en lo que respecta al manejo de prerrequisitos para el contenido a considerar en el estudio, lo que ayuda a controlar las posibles variables relacionadas con las capacidades preexistentes que pudiesen intervenir en los resultados.

2.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

- 2.5.1** 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 Básica.
- 2.5.2** Formular un conjunto de recomendaciones metodológicas para orientar y optimizar el uso del software “Modellus”, con alumnos de similares características a los del estudio.
- 2.5.3** 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.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 MODELAMIENTO

Uno de los conceptos básicos en la investigación es el de Modelamiento o Creación de Modelos en Ciencias Físicas. De hecho, en el estudio de las Competencias para la formación de pre y post grado en Ciencias Físicas realizado por representantes de 14 universidades en 13 países de Europa, conocido como Informe Tuning (Informe Bolonia, 2002); y que ha servido para la reformulación de los planes de estudio en nuestro continente, “se declara específicamente con seguridad que la «Resolución de problemas» y «Creación de Modelos» conforman el *eje central* de las competencias a desarrollar en los dos títulos de Física”. Se agrega luego, en dicha declaración que “La Creación de Modelos y la Resolución de Problemas se encuentra intrínsecamente vinculados a la capacidad de hacer referencia a los principios básicos de las teorías y experimentos físicos y a la capacidad de *utilizar las matemáticas de una forma relacionada con el mundo real.*”

Si miramos la palabra «modelo» en un diccionario (Oxford Dict., 1996), encontramos que es una «simplificada (a menudo matemática) descripción de un sistema, etc., para ayudar a cálculos y predicciones.»

Una serie de definiciones de Modelos y Modelamiento son publicadas en el portal de Eduteka (Portal Eduteka, 2003), donde se expresa:

- *Modelos*: cuerpos coherentes de ideas que pretenden describir procesos o comportamientos observados en el mundo de los fenómenos físicos.
- *Modelamiento*: elaboración de representaciones de las ideas de un modelo.
- El *modelamiento* es una estrategia integrante del “método científico”.
- *Modelamiento matemático*: construcción de una representación de las ideas o conceptos y procesos de un modelo en lenguaje matemático. Es una de las etapas básicas de todo proceso de simulación.

Según el autor (Teodoro, 1998) del software Modellus, las “Ciencias Físicas son las ciencias de la construcción de modelos (simplificadas descripciones o explicaciones) 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. Estas dificultades pueden ser arraigadas en el hecho que muchos estudiantes no tienen herramientas con las cuales puedan explorar objetos formales como «objetos-para-pensar-con», como «objetos-a-experimentar con».

Experimentar con objetos conceptuales es un nuevo tipo de experimentación – experimento conceptual- solamente posible con herramientas computacionales, basadas en interfaces gráficas”.

Otras aproximaciones a los conceptos de Modelos y Modelamiento señalan: “la formulación o construcción de modelos, es decir, de cuerpos coherentes de ideas que pretenden describir procesos o comportamientos observados en el mundo de los fenómenos físicos, es una de las actividades más distintivas del quehacer de un físico. El *modelamiento* se entiende entonces como la *elaboración de representaciones de las ideas de un modelo*. Estas representaciones pueden adoptar distintas formas, algunas concretas como una maqueta o una construcción a escala, y otras - la mayoría de las veces - abstractas, como un conjunto de ecuaciones matemáticas. Aunque estas representaciones son esenciales para comunicar o difundir un modelo, ellas no se deben confundir con el modelo mismo”(Cartier, 2001).

“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).

“*Bomba de cobre chocó contra cometa Tempel 1 a la hora y forma que los expertos esperaban*” (Mercurio, 2005) Un ejemplo reciente, que fue foco de atención mundial, ilustra el valor predictivo de los modelos: “El 12 de enero de 2005 la nave conocida periodísticamente como “Impacto Profundo”, comenzó un viaje de 431 millones de kilómetros sin boleto de regreso. Transportada por el cohete Delta II, su puerto de despegue fue Cabo Cañaveral y su

destino, el cometa Tempel 1” (Impacto, 2005). El 4 de julio del 2005, la sonda enviada por la agencia espacial de Estados Unidos, la NASA, impactó con el cometa "Tempel 1" para obtener por primera vez datos sobre la formación del sistema solar. Dicha colisión, se produjo a una distancia de 120 millones de kilómetros de la Tierra y fue exitosamente lograda gracias al “Modelamiento predictivo” (de la Jara, 2005).

3.2 SIMULACIÓN

La Simulación “se puede definir como la *operación de la representación de un modelo*, en el sentido de una experimentación orientada a formular predicciones y extraer conclusiones sobre el fenómeno representado” (Eduteka, 2003). “Las *simulaciones* proveen una representación interactiva de la realidad que permite a los estudiantes probar y descubrir cómo funciona o cómo se comporta un fenómeno, qué lo afecta y qué impacto tiene sobre otros fenómenos. El uso de este tipo de herramienta educativa alienta al estudiante para que manipule un modelo de la realidad y logre la comprensión de los efectos de su manipulación mediante un proceso de ensayo-error”(Eduteka, 2003).

Una de las formas más efectivas y fáciles de integrar las TICs en las materias del currículo es mediante el uso de simulaciones. Muchas de estas se encuentran disponibles en Internet para propósitos educativos, en la mayoría de los casos sin costo. Algunas son interactivas, es decir, que permiten al estudiante modificar algún parámetro y observar en la pantalla el efecto producido por dicho cambio. Otras posibilitan además configurar el entorno, esto es, que los educadores pueden programarlas para que aparezcan distintos elementos y diferentes tipos de interacciones. “Una de las cualidades que poseen las Simulaciones es el alto grado de motivación que despiertan en los estudiantes y poder llegar a resultados a través de un proceso de descubrimiento (orientado por el profesor). Este proceso le permite descubrir conceptos matemáticos e ir construyendo un puente entre las ideas intuitivas y los conceptos formales (Pérez, 2003).

3.3 PROCESO DE MODELAMIENTO MENTAL...

... ¿el verdadero aprendizaje? (Hestenes, 1985)

El proceso cognoscitivo de aplicar los principios del diseño de una teoría para producir un modelo de algún objeto o proceso físicos se llama *desarrollo del modelo* o simplemente *modelamiento*. Es la construcción de representaciones internas complejas como modelos mentales, que permiten explicar y predecir fenómenos físicos.

“ La teoría del modelamiento debe parecer obvia a los físicos, pues se supone proporciona una formulación explícita de las cosas que ellos saben muy bien. Eso no significa que la teoría es trivial o innecesaria. Mucho del conocimiento que lo explica es tan básico y tan conocido para los físicos que ellos lo dan por hecho y no caen en cuenta que debe ser enseñado a los estudiantes” (Hestenes, 1987, pág.2)

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. Ello llama a una severa reorganización de prioridades en la enseñanza de la física que puede ser justificada fuertemente en el campo epistemológico y psicológico.

Desde que la teoría de modelamiento se preocupa por el conocimiento de procesos, éstos son mejor aprendidos en un contexto de actividades de modelamiento específicas, donde la teoría se desarrolla gradualmente para controlar y guiar esas actividades. El autor llama a esto “un modelo centrado en la estrategia instruccional”(Hestenes,1987, pág. 25)

¿Por qué los estudiantes pueden resolver un problema cuantitativo y, sin embargo, no pueden resolver el problema conceptual que está detrás del problema? Es una de las preguntas claves que refleja que lo que se está aprendiendo no es lo que se espera que se aprenda.

La investigación muestra que después de la enseñanza convencional, los estudiantes no pueden explicar los conceptos más básicos de la física, pero si pueden resolver problemas con lápiz y papel. Aunque la enseñanza convencional sea dada por instructores talentosos y premiados, no es suficiente para mejorar la situación perceptiblemente.

Por el contrario, la experiencia de aprendizaje por Modelamiento está enfocada en el *estudiante*, siendo éstos agentes *activos*, estando el énfasis puesto en las capacidades cognitivas, no en transferir el conocimiento del cerebro del instructor a los estudiantes.

Los estudiantes construyen y evalúan argumentos y el instructor es el guía socrático, no la autoridad suprema.

La física se hace coherente, diferente al punto de vista de que la física consiste en un sistema de conceptos y de problemas libremente relacionados. Su aprendizaje se obtiene cuando los estudiantes activamente buscan su comprensión y no se limitan a tomar notas, escuchar al instructor, y memorizar hechos y fórmulas; viendo así que los ejercicios y sus resoluciones son como pedazos de conocimiento, no llegando a ver elementos comunes en situaciones nuevas. Cuando hay comprensión, ante un problema nuevo o diferente nunca se escuchará: ¡ese tipo de problema nunca lo realizamos! (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.

Un Modelo, en esta concepción, es un objeto sustituto, una representación conceptual de una cosa verdadera; es una representación de una estructura en un sistema físico y/o de sus características, teniendo múltiples representaciones (verbales, gráficas, algebraicas, diagramáticas, etc.) que tomadas en conjunto definen la estructura del sistema.

Ahora bien, “los modelos en física son modelos matemáticos, que deberán expresar que las propiedades físicas están representadas por variables cuantitativas en los modelos.

Un *modelo matemático* tiene cuatro componentes:

1. Un conjunto de nombres para el objeto y agentes que interactúan consigo, así como para cualquier parte del objeto representado en el modelo.

2. Un conjunto de *variables descriptivas* (o los descriptores) representando las propiedades del objeto.
3. Las *Ecuaciones del modelo*, describiendo su evolución de la estructura y el tiempo.
4. Una *interpretación* que relaciona las variables descriptivas con propiedades de algún objeto que el modelo representa.

Hay *tres tipos de descriptores*: las variables del objeto, las variables del estado, y las variables de la interacción.

Las *variables del objeto* representan las propiedades intrínsecas del objeto. Por ejemplo, la masa y la carga son las variables del objeto para un electrón, mientras es momento de la inercia; y especificaciones del tamaño y la forma son las variables del objeto para un cuerpo rígido. Las variables del objeto han fijado los valores para un objeto particular, así que ellos son verdaderamente variables del punto de vista de la teoría del modelamiento.

Las *variables del estado* representan las propiedades intrínsecas con los valores que pueden variar con el tiempo. Por ejemplo, la posición y la velocidad son las variables del estado para una partícula. Lo que un descriptor consideraba como una variable de estado en un modelo se puede considerar como una variable del objeto en otro modelo. La masa, por ejemplo, es una variable del estado en un modelo de la partícula de un cohete, aunque es constante en la mayoría de los modelos de la partícula. Así, las variables del objeto se pueden considerar como variables de estado con valores constantes.

Una *variable de la interacción* representa la interacción de algún objeto externo (llamado un agente) con el objeto que está siendo modelado. La variable básica de la interacción en mecánica es el vector de la fuerza. El trabajo, energía potencial, y el momentum de torsión son las variables alternativas de la interacción.”(Hestenes, 1987, pág. 4)

Una práctica común entre físicos y matemáticos es “identificar las ecuaciones de un modelo con el modelo mismo. Esto, por supuesto, toma la interpretación del modelo como un hecho dado, lo que puede estar bien para científicos experimentados, aunque la interpretación es

frecuentemente una grave manzana de la discordia” (Hestenes, 1987, pág. 4). Pero los estudiantes necesitan reconocer la interpretación como un componente crítico de un modelo. Sin una interpretación las ecuaciones de un modelo no representan nada; ellos son las relaciones meramente abstractas entre variables matemáticas. Indudablemente, esto es cómo las ecuaciones a menudo aparecen confusas en los estudiantes de física, que no han desarrollado la habilidad del instructor para suministrar una interpretación automáticamente.

“Una teoría científica se puede considerar como un sistema de principios de diseño para modelar objetos verdaderos. Este punto de vista clarifica que el concepto de la teoría presupone el concepto del modelo. Ciertamente, una teoría científica puede ser relacionada con la experiencia sólo utilizándola para construir modelos específicos que se pueden comparar con objetos verdaderos. Las leyes de una teoría se pueden probar y ser validadas sólo por modelos evaluativos y de validación derivados de la teoría.

Una *teoría científica* tiene tres componentes mayores:

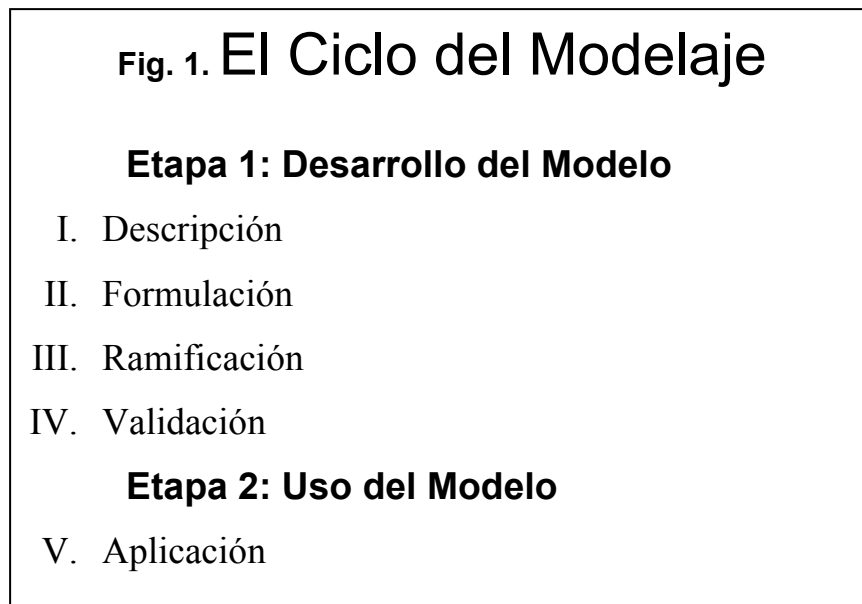
- I. *Un marco* de leyes genéricas y específicas que caracterizan las variables descriptivas de la teoría.
- II. Una *base semántica* de reglas de correspondencia que relacionen las variables descriptivas con propiedades de objetos verdaderos.
- III. Una *superestructura* de definiciones, convenciones y teoremas para facilitar el modelamiento en una variedad de situaciones.”(Hestenes, 1987, pág. 5)

3.4 LA METODOLOGÍA DEL MODELAMIENTO MENTAL

El físico ha aprendido la estrategia del modelamiento de la larga experiencia, y al empezar con estudiantes de física se hará difícil hasta que ellos lo aprendan por sí mismos. La enseñanza de las estrategias y las tácticas del modelamiento, explícitamente formulado, deben acelerar el aprendizaje efectivo de habilidades de modelamiento (Hestenes, 1987).

El autor asume que resolver un problema en la física es principalmente un proceso de modelamiento. Por consiguiente, propone la estrategia del modelamiento de la Fig. 1 como un

problema general que resuelve la estrategia para ser enseñada explícitamente a estudiantes de física. Para entender cómo se aplica la estrategia, se necesita ver cómo se coordinan específicamente las tácticas y las técnicas del modelamiento. Con ese objetivo, se plantea un ciclo de 2 Etapas del Modelamiento con 5 Procesos: Etapa de Desarrollo del Modelo: (I) la Descripción, (II) la Formulación, (III) la Ramificación, (IV) la Validación y Etapa de Uso del Modelo: (V) Aplicación del Modelo-en el orden de su implementación (Hestenes, 2005).



La Fig. 1 puede ser considerada como 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).

3.4.1 Descripción del Desarrollo del Modelo.-

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

En esta etapa se toma en cuenta las intuiciones de los estudiantes basadas muchas veces en creencias populares o de sentido común, de todos modos es importante saber algo acerca de la

estructura y composición de la intuición física. Estas creencias inarticuladas se pueden observar sólo indirectamente en las pautas de la conducta de un individuo. No obstante, los esquemas se pueden estudiar, pueden ser clasificados, y pueden ser representadas por lo menos parcialmente y las creencias como formuladas verbalmente.

La investigación muestra que las creencias del sentido común de la mayoría de los individuos son sólo débilmente correlativas y con frecuencia contradictorias, por lo tanto son fáciles de cambiar; pero es importante considerarlas (Hestenes, 1987).

3.4.2 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 intrusión mínima del instructor.

3.4.3 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.

3.4.4 Validación del Desarrollo del Modelo.-

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

3.4.5 Uso y aplicación del Modelo.-

En las actividades de despliegue, los estudiantes aprenden a aplicar el modelo a una variedad de situaciones relacionadas, a identificar la composición del modelo y a representar la estructura del modelo.

También, comunican su comprensión por presentaciones orales guiándose con las preguntas del instructor: ¿Por qué hiciste eso? ¿Cómo sabes eso?

En síntesis, utilizando el Método de Modelamiento para la comprensión del estudiante, éstos diseñan sus propios procesos para el experimento, luego tienen que justificar sus interpretaciones de datos en diálogos guiados por el instructor socrático. Los Modelos creados de 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.

3.5 **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**”.

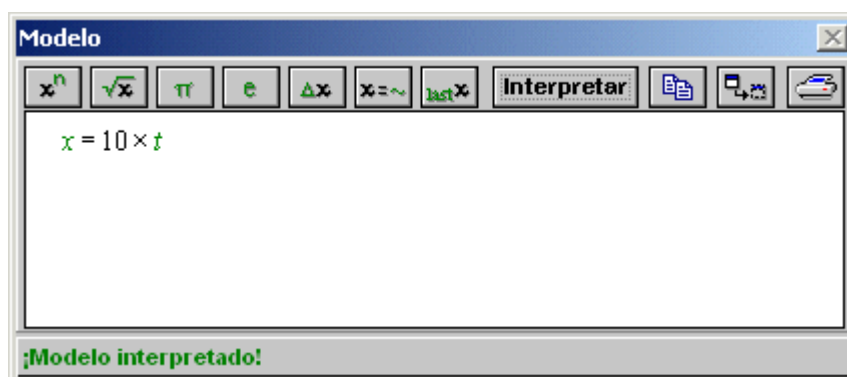
Luego se advierte que Modellus puede integrarse en cualquier curso elemental de matemática o de ciencias físicas, o en cualquier curso avanzado que haga uso de funciones, ecuaciones diferenciales, iteraciones, etc.,

Los usuarios pueden:

- **Seleccionar** modelos de una lista que forma parte de una biblioteca que incorpora ya Modellus o cargarlos de una página Web.
- **Personalizar** de forma rápida los modelos existentes para satisfacer las necesidades de planes de estudios específicos.
- **Crear** su propia biblioteca de modelos reusables.
- **Conservar la integridad** de los modelos asignándoles una contraseña de protección, etc...

Modellus ofrece a los estudiantes y profesores una tecnología poderosa para **aprender matemática y ciencia** en la escuela secundaria y a nivel de la universidad”

Al ingresar luego a los Fundamentos, del índice, aparece como primer párrafo el siguiente: “Para crear un modelo usted necesita crear una o más ecuaciones en la Ventana de Modelo. Lo que sigue es un ejemplo de modelo:



Una vez que el modelo ha sido creado presione el botón **Interpretar...**”

Con esta simple introducción, se advierte que Modellus opera a partir de una ecuación, que representa un modelo matemático de algún hecho físico, y desde ese input, el programa puede generar representaciones analíticas, gráficas o analógicas (o animaciones).

De esta observación se puede derivar que el software no permite mediar para aprender a modelar, sino mas bien para comprobar si el modelo desarrollado opera adecuadamente y si no es así, poder corregirlo hasta confirmar su correcta formulación.

Esta observación se contradice a lo expresado en otros párrafos, donde el autor, promueve su aporte diciendo que “...Maestros y estudiantes pueden usar Modellus **para construir modelos matemáticos y explorarlos** mediante animaciones, gráficos y tablas...”

Sin embargo, en el Manual de Operación del software (Rodríguez, 2004), se expresa con claridad que la modelización de cualquier fenómeno o sistema se apoya en la observación de los fenómenos que lo caracterizan, razón por la cual, en la medida que **podamos reproducir esos fenómenos y experimentar con ellos** podremos comprender con mas claridad el modelo. El estudio del modelo se realizará siempre en orden creciente de complejidad de tal forma que en una primera fase se tendrán en cuenta los aspectos más relevantes para posteriormente **derivar hacia un modelo más perfecto** a través de un método de “refinamiento”.

Según lo define uno de sus autores (Teodoro, 1998). Modellus es, bajo el punto de vista computacional, un micro mundo computacional para estudiantes y profesores la vez, basado en un método de no programación en el que el usuario escribe en la “Ventana de modelo” las ecuaciones matemáticas de la misma manera que lo haría en el papel.

Naturalmente que, aunque el software Modellus no sea suficiente para generar modelos matemáticos que representen fenómenos físicos per se, si podría cumplir un rol importantísimo en el proceso de modelamiento al permitir reproducir la reproducción de dichos modelos, experimentar con ellos y verificar su calidad o eficacia.

3.6 APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DE AUSUBEL

Esta teoría viene a complementar en base a su conceptualización, el sentido y significado que la metodología del modelamiento mental de Hestenes tiene, en términos del tipo de aprendizaje que promueve; y el complemento que se le atribuye a la Tesis de introducir el uso del software Modellus como un elemento que permita al estudiante comprobar o evaluar los resultados de su ejercicio de modelamiento. Es decir, lo que el modelamiento mental de Hestenes promueve es el aprendizaje de procesos analíticos y sintéticos de fenómenos físicos, que permitan ser transferidos a otros procesos frente a fenómenos de complejidad creciente o diferentes, lo que contiene un fuerte valor de significatividad para el alumno; y como acción complementaria a dicho proceso, se sugiere utilizar el software Modellus, que permita confirmar al estudiante que los procesos aprendidos son adecuados, veraces, efectivos, reforzando así su certeza de haber aprendido y motivándolo a plantearse frente a desafíos más complejos de modelamiento y por ende, de aprendizajes y conocimientos más avanzados.

La Teoría del Aprendizaje Significativo es una teoría psicológica que se ocupa de los procesos que el individuo pone en juego para aprender. Aborda todos y cada uno de los elementos, factores, condiciones y tipos que garantizan la adquisición, la asimilación y la retención del contenido que la experiencia escolar ofrece al alumnado, de modo que adquiera significado para el mismo. Se trata de una teoría constructivista, ya que es el propio individuo-organismo el que genera y construye su aprendizaje.

El aprendizaje significativo es el proceso según el cual se relaciona un nuevo conocimiento o información con la estructura cognitiva del que aprende de forma no arbitraria y sustantiva (o no literal). Esa interacción con la estructura cognitiva no se produce considerándola como un todo, sino con aspectos relevantes presentes en la misma, que reciben el nombre de **subsumidores o ideas de anclaje** (Ausubel, 2002). La presencia de ideas, conceptos o proposiciones inclusivas, claras y disponibles en la mente del aprendiz es lo que dota de significado a ese nuevo contenido en interacción con el mismo. Pero no se trata de una simple unión, sino que en este proceso los nuevos contenidos adquieren significado para el sujeto

produciéndose una transformación de los subsumidores de su estructura cognitiva, que resultan así progresivamente más diferenciados, elaborados y estables (Rodríguez, 2004).

Pero aprendizaje significativo no es sólo este proceso, sino que también es **su producto**. La atribución de significados que se hace con la nueva información es el resultado emergente de la interacción entre los subsumidores claros, estables y relevantes presentes en la estructura cognitiva y esa nueva información o contenido; como consecuencia del mismo, esos subsumidores se ven enriquecidos y modificados, dando lugar a nuevos subsumidores o ideas-ancla más potentes y explicativas que servirán de base para futuros aprendizajes.

Para que se produzca aprendizaje significativo han de darse dos condiciones fundamentales:

- Actitud potencialmente significativa de aprendizaje por parte del aprendiz, o sea, predisposición para aprender de manera significativa.
- Presentación de un material potencialmente significativo. Esto requiere:
 - Por una parte, que el material tenga significado lógico, esto es, que sea potencialmente relacionable con la estructura cognitiva del que aprende de manera no arbitraria y sustantiva;
 - Y, por otra, que existan ideas de anclaje o subsumidores adecuados en el sujeto que permitan la interacción con el material nuevo que se presenta.

Atendiendo al objeto aprendido, el aprendizaje significativo puede ser **representacional, de conceptos y proposicional**. Si se utiliza como criterio la **organización jerárquica** de la estructura cognitiva, el aprendizaje significativo puede ser **subordinado, superordenado o combinatorio**. Para Ausubel (Ausubel, 2002) lo que se aprende son palabras u otros símbolos, conceptos y proposiciones.

Dado que el aprendizaje representacional conduce de modo natural al aprendizaje de conceptos y que éste está en la base del aprendizaje proposicional, los conceptos constituyen un eje central y definitorio en el aprendizaje significativo.

A través de la asimilación se produce básicamente el aprendizaje en la edad escolar y adulta. Se generan así combinaciones diversas entre los atributos característicos de los conceptos que constituyen las **ideas de anclaje**, para dar **nuevos significados a nuevos conceptos y proposiciones**, lo que enriquece la estructura cognitiva. Para que este proceso sea posible, hemos de admitir que contamos con un importantísimo vehículo que es el lenguaje: el aprendizaje significativo se logra por intermedio de la **verbalización** y del lenguaje y requiere, por tanto, **comunicación entre distintos individuos y con uno mismo**. Esta idea es coincidente con la metodología propuesta por Hestenes, en todas las fases de la metodología.

En la programación del contenido de una disciplina encaminada a la consecución de aprendizajes significativos en el alumnado han de tenerse en cuenta los siguientes cuatro principios (Ausubel, 2002) : ***diferenciación progresiva, reconciliación integradora, organización secuencial y consolidación.***

La Teoría del Aprendizaje Significativo tiene importantes consecuencias pedagógicas. Lo que pretende es la manipulación de la estructura cognitiva, bien para conocerla o bien para introducir en ella elementos que le permitan dotar de significatividad al contenido que se le presente posteriormente. Se requiere un proceso de organización sustancial, por un lado, tendiente a identificar los conceptos esenciales que articulan una disciplina, y programática, por otro, cuyo propósito es trabajarlos de modo adecuado para que resulten significativamente aprendidos. Los principios programáticos de diferenciación progresiva, reconciliación integradora, organización secuencial y consolidación se constituyen en una ayuda para planificar una enseñanza acorde con esta teoría.

La Teoría de los Modelos Mentales (Johnson-Laird) y la Teoría de los Campos Conceptuales (Vergnaud) conjuntamente ofrecen un marco de referencia que apoya consistentemente los presupuestos, principios, condiciones y características expresados por Ausubel en la Teoría del Aprendizaje Significativo (Rodríguez, 2004).

3.6.1 **LA TEORÍA DE LOS MODELOS MENTALES DE JOHNSON-LAIRD.**

La investigación educativa ha mostrado la necesidad de abordar el conocimiento desde un enfoque psicológico. Surgen, así, los modelos mentales como mecanismo para comprender el modo según el cual se interpreta el mundo; como forma de analizar las representaciones. Una de esas posibilidades la ofrece la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird (Johnson-Laird, 1996).

Se trata de una teoría de la mente adecuada explicativamente porque atiende tanto a la forma de la representación (proposiciones, modelos mentales e imágenes) como a los procedimientos que permiten construirla y manipularla: mente computacional, procedimientos efectivos, revisión recursiva y modelos mentales y todo ello construido sobre la base de un lenguaje mental propio, que da cuenta tanto de la forma de esa representación como de los procesos que con ella se producen. Esa representación trabaja sobre un contenido al que de este modo se le asigna significado.

Johnson-Laird plantea que ante la imposibilidad de aprehender el mundo directamente, la mente construye representaciones internas que actúan como intermediarias entre el individuo y su mundo, posibilitando su comprensión y su actuación en él. Según él, el razonamiento se lleva a cabo con modelos mentales, la mente humana opera con modelos mentales como piezas cognitivas que se combinan de diversas maneras y que "re-presentan" los objetos y/o las situaciones, captando sus elementos y atributos más característicos. Pero esos modelos mentales se construyen y en ellos se pueden utilizar otras representaciones: proposiciones e imágenes.

Con el constructo "modelo mental" Johnson-Laird postula una representación integradora. El autor nos está diciendo que la persona usa representaciones internas que pueden ser proposiciones, modelos mentales e imágenes. *"Las representaciones proposicionales son cadenas de símbolos que corresponden al lenguaje natural. Los modelos mentales son análogos estructurales del mundo y las imágenes son modelos vistos desde un determinado punto de vista"* (Johnson-Laird, 1996, pág. 165).

Los modelos mentales y las imágenes constituyen lenguajes de alto nivel, ya que son analógicos, mientras que las proposiciones no, por ser representaciones discretas, abstractas, rígidas, adquiriendo sus condiciones de verdad a la luz de un modelo mental; las proposiciones como tales son representaciones no analógicas.

3.6.2 LA TEORÍA DE LOS CAMPOS CONCEPTUALES DE VERGNAUD.

La construcción teórica de Vergnaud es una teoría psicológica que atiende a la complejidad cognitiva; se ocupa de los mecanismos que conducen a la conceptualización de lo real. El objeto que persigue esta teoría es entender cuáles son los problemas de desarrollo específicos de un campo de conocimiento. Ese conocimiento lo aprehende el sujeto formando parte de sus estructuras cognitivas por un proceso de integración adaptativa con las situaciones que vive, proceso que se desarrolla a lo largo del tiempo. Se trata de una teoría psicológica cognitiva que se ocupa del estudio del desarrollo y del aprendizaje de conceptos y competencias complejas, lo que permite explicar el modo en el que se genera el conocimiento, entendiendo como tal tanto los saberes que se expresan como los procedimientos, o sea, el saber decir y el saber hacer (Rodríguez, 2004).

El constructo que da nombre a la teoría es “campo conceptual”, idea a la que se llega porque se entiende que es absurdo abordar por separado el estudio de conceptos que están interconectados. Se considera que esos conceptos, que no tienen sentido aisladamente, se construyen y operan en el conocimiento humano en función de las situaciones a las que el sujeto se enfrenta y en ese proceso entran en juego procedimientos, concepciones y representaciones simbólicas, con el objeto de dominar esas situaciones. Un campo conceptual es un conjunto de situaciones en las que el manejo, el análisis y el tratamiento que realiza la persona requieren una variedad de conceptos, procedimientos y representaciones interconectadas en estrecha conexión.

El campo conceptual se relaciona directamente con las situaciones que lo reclaman y eso guarda relación con las tareas. Vergnaud pone el acento en el sujeto en situación, su forma de organizar la conducta y su modo de conceptuar ante esa situación y para ello utiliza el concepto de esquema de Piaget. Considera que éstos constituyen el centro de la adaptación de las

estructuras cognitivas, jugando un papel esencial en la asimilación y en la acomodación, ya que un esquema se apoya en una conceptualización implícita.

La Teoría de los Campos Conceptuales tiene múltiples posibilidades en distintas áreas del conocimiento. Se trata de una teoría de la que se derivan diversas consideraciones de interés, tanto de carácter psicológico como pedagógico, destacándose, fundamentalmente, su concepción de **esquema** como representación mental estable que opera en la memoria a largo plazo. Es una teoría cognitiva que permite comprender y explicar aspectos cruciales del proceso de la cognición.

3.6.3 LA CONSTRUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO EN LA PERSPECTIVA CONJUNTA DE LA TEORÍA DE LOS MODELOS MENTALES Y LA TEORÍA DE LOS CAMPOS CONCEPTUALES.

Desarrollar conocimiento no es más que una paulatina construcción de representaciones mentales, que dan cuenta de la realidad; ésta se termina conceptuando a través de **esquemas** (Rodríguez, 2004). En la medida en que un esquema de asimilación es la organización invariante de la conducta y que incluye invariantes operatorios, es una estructura mental que goza de estabilidad.

Una vez construido **un esquema**, el sujeto lo usa, asimilando así situaciones de una determinada clase. Pero ante algo nuevo, necesita algún mecanismo útil que le permita aprehenderlo, captar esa nueva situación y hacerle frente; ese algo es una representación que lo dota de poder explicativo y predictivo y eso es un **modelo mental**. Una vez que esa nueva situación deja de serlo al presentársele repetidamente, el individuo adquiere dominio sobre esta clase, dando lugar a una organización invariante de su conducta y eso es **un esquema**.

Así, se establece un puente entre aquello que constituye la representación primera en la **memoria episódica (modelos mentales)** y aquello que permanece en la **memoria de largo plazo (esquema)**. Pueden explicarse, pues, los procesos de aprendizaje, tanto los “académicamente” establecidos como aquellos que resultan erróneos, ya que esos esquemas insuficientemente

explicativos condicionan los modelos mentales de los que se nutren y viceversa. Podrían entenderse de este modo las **respuestas equivocadas** que dan los estudiantes **reiterativamente** sobre algunos conceptos científicos, puesto que se deben a invariantes **que la docencia no ha sido capaz de modificar**. El aprendizaje del conocimiento científico supone, consecuentemente, la modificación de los esquemas y, por ende y para ello, la reestructuración y el enriquecimiento de los modelos mentales que los jóvenes generan como fuente de los mismos.

Este marco explicativo conjunto puede ofrecer razones que nos permitan alcanzarlo o, al menos, mejorarlo en el alumnado, a través de metodologías como la considerada en este estudio, de tal modo que sus esquemas de asimilación respondan más fielmente al conocimiento científico validado hasta el momento y que se les pretende enseñar significativamente.

La Teoría del Aprendizaje Significativo y la Teoría de los Campos Conceptuales son coincidentes al considerar que la significatividad del aprendizaje es un proceso progresivo que requiere tiempo.

En ambas se hace necesario llevar a cabo el análisis conceptual del contenido objeto de estudio. Para la autora (Rodríguez, 2004) el referente de los campos conceptuales propuesto por Vergnaud permite comprender, explicar e investigar procesos de aprendizaje significativo. Se trata de teorías psicológicas (una del aprendizaje y otra de la conceptualización de lo real) cuyos objetos de análisis, conceptos-clave, procedimientos de validación y ampliación son distintos, pero que tienen muchos aspectos en común. La Teoría de los Campos Conceptuales aporta un nuevo modo de “ver” el aprendizaje significativo, sobre todo en lo que se refiere a los conceptos.

Efectivamente, complementa su concepción, revalorizándolo en el sentido de que lo que resulta significativo y, por tanto, perdurable, es el esquema de asimilación que determina la conducta. Los principios y presupuestos vergnaudnianos, como fundamentos psicológicos de la cognición que son, ayudan a entender cómo es y cómo se produce el aprendizaje significativo, ampliando, por tanto, las posibilidades ausubelianas, tanto para la investigación en educación como para la docencia.

3.6.4 APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO: UNA VISIÓN COGNITIVA CONJUNTA.

¿Qué es aprendizaje significativo desde esta perspectiva global de la Teoría del Aprendizaje Significativo, la Teoría de los Modelos Mentales y la Teoría de los Campos Conceptuales? Un aprendizaje significativo no se puede borrar por su condición de diferenciado, estable y perdurable, ya que está anclado en los subsumidores que lo han permitido y le han dado origen, aunque sea científica y contextualmente no aceptado por la comunidad de usuarios. El proceso de asimilación que conduce al aprendizaje significativo es evolutivo; se trata de un fenómeno progresivo y no de sustitución del tipo “todo o nada”; el propio subsumidor se ve modificado. La adquisición y el aprendizaje de conceptos se caracterizan por su progresividad.

Los constructos de modelo mental y esquema de asimilación permiten explicar el proceso de construcción del aprendizaje significativo y, por tanto, la adquisición, la asimilación y la retención del conocimiento. La consideración de la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird y la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud ofrece una sólida base psicológica cognitiva a la Teoría del Aprendizaje Significativo, que amplía aún más, si cabe, su poder predictivo y explicativo y su perdurabilidad, facilitando así la comprensión del proceso que conduce a la construcción de un aprendizaje significativo.

La Teoría del Aprendizaje Significativo sigue siendo un potente referente explicativo que se ve fuertemente reforzado por la Teoría de los Modelos Mentales y la Teoría de los Campos Conceptuales, como apoyos representacionales que dan cuenta de cómo se produce la asimilación y la retención del conocimiento. Con esta explicación psicológica conjunta se abren múltiples posibilidades para la investigación en educación y para la docencia, un marco que posibilita que efectivamente se alcance el aprendizaje significativo en el aula.

3.7 INVESTIGACIONES RELACIONADAS

3.7.1 “UN ESTUDIO SOBRE EL DESEMPEÑO DE ALUMNOS DE FÍSICA, USUARIOS DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL MODELLUS EN LA INTERPRETACIÓN DE GRÁFICOS EN CINEMÁTICA” (Araujo, 2002)

3.7.1.1 Síntesis del Estudio:

El objetivo de este trabajo fue el de investigar el desempeño de estudiantes cuando eran expuestos a actividades complementarias de modelamiento computacional en el aprendizaje de Física, utilizando el software Modellus.

Interpretación de gráficos de la Cinemática fue el tópico de Física escogido para la investigación. La fundamentación teórica adoptada estuvo basada en la teoría de Halloun sobre modelamiento esquemático y en la teoría de Ausubel sobre aprendizaje significativo.

El estudio envolvió estudiantes del primer año del curso de Física de la Universidad Federal de Rio Grande do Sul. Veintiséis de estos estudiantes - grupo experimental - fueron sometidos a las actividades de modelamiento exploratorio y de creación durante un breve intervalo de tiempo (cuatro encuentros, con 2h. 15min. c/u). Otros veintiséis estudiantes constituyeron un grupo de control, adoptándose un delineamiento cuasi-experimental.

Los resultados de este trabajo muestran que hubo mejorías estadísticamente significativas en el desempeño de los alumnos del grupo experimental, cuando comparado a los estudiantes del grupo de control, sometidos sólo al método tradicional de enseñanza. La percepción del alumno en relación a la relevancia de conceptos y relaciones matemáticas, así como la motivación para aprender, generada por las actividades, desempeñaron un papel fundamental en esos resultados. Además de eso, se registró alta receptividad en relación al tratamiento utilizado.

3.7.1.2 Conclusiones del Estudio:

Con la llegada de los softwares educativos a la enseñanza de la Física, se hace necesario investigar su verdadera contribución al proceso de aprendizaje del alumno. A pesar del creciente uso de estos nuevos recursos, curiosamente, aún hay pocos trabajos de búsqueda en el área.

Entre las varias posibilidades de uso de la informática en la enseñanza de Física, los autores optaron por el modelamiento computacional, creyendo que ésta era la que daba mejor posibilidad de interacción de los estudiantes con el proceso de construcción y análisis del conocimiento científico, permitiendo que comprendieran mejor los modelos físicos.

De los varios softwares actualmente disponibles, se optó por *Modellus* por ser un software que permite al alumno hacer experimentos conceptuales utilizando modelos matemáticos definidos a partir de funciones, derivadas, tasas de variación, ecuaciones diferenciales y ecuaciones de diferencia, escritos de forma directa, o sea, así como el alumno aprendió en el aula. Un otro aspecto positivo en relación al Modellus es el hecho de ser un software libre siendo distribuido gratuitamente en Internet. Este hecho, además de las potencialidades de la herramienta, contribuyó para que su utilización ocurriera en nivel mundial.

En el área de enseñanza, la elección recayó sobre el tema interpretación de gráficos de la Cinemática, por tratarse de un asunto ampliamente discutido en la literatura y fundamental en la formación de conceptos presentados posteriormente al largo de los cursos de Física. A pesar de abordar específicamente ese tópico, ciertamente las potencialidades del modelamiento computacional pueden ser aprovechadas en otros diferentes contextos donde la naturaleza dinámica de determinados fenómenos físicos necesiten ser explicitadas, posibilitando al alumno percibir que el estudio de éstos no se resume a una mera aplicación de fórmulas.

Investigar sobre los beneficios asociados al uso de modelamiento computacional en otros contextos, sería, entonces, necesario.

Se tuvo como meta en este trabajo determinar si los alumnos tendrían ganancias significativas en términos de aprendizaje de Física, después de pasar por una serie de actividades complementarias de modelamiento aplicadas en situaciones de laboratorio durante un corto intervalo de tiempo. Estas actividades fueron desarrolladas teniendo en cuenta dos factores importantes: las dificultades presentadas comúnmente por los alumnos al interpretar gráficos de la Cinemática y los objetivos que los alumnos tendrían que alcanzar para mejorar esta interpretación.

Los resultados de este estudio indican que el grupo expuesto al tratamiento obtuvo un desempeño medio mejor que el grupo sometido sólo al método tradicional de enseñanza. Tales resultados sugieren que el uso de actividades de modelamiento, a través de Modellus, puede auxiliar al profesor complementando su práctica docente, inclusive en una escala mayor. Cabe aquí resaltar que este estudio no tuvo como objetivo juzgar el software como "útil" o no a la enseñanza en términos absolutos. Los autores creen que no hace sentido evaluar una herramienta como un fin en sí, pues la eficiencia de ésta dependerá directamente de **dónde, cuando y cómo ella será empleada.**

Otro aspecto importante a ser destacado es el de la motivación para aprender, proporcionada por el tratamiento a los estudiantes. Además del interés natural despertado por el uso de microcomputadores, los resultados sugieren que la aplicación de actividades de modelamiento ejerce una influencia positiva en la predisposición del individuo para aprender Física. Esto ocurre en la medida en que la relevancia de determinadas relaciones matemáticas y conceptos es percibida por el alumno durante el proceso de interacción con los modelos conceptuales, permitiendo que el contenido visto anteriormente por él, y que hasta entonces estaba muy abstracto, pase a tener un referencial más concreto.

De un punto de vista más inmediato, podemos mencionar como contribuciones de este trabajo una versión adaptada para el portugués por Araujo y Veit y validada de la prueba TUG-K y un conjunto de modelos y actividades (Araujo, 2002) que están disponibles para la comunidad para uso en actividades relativas a la interpretación de gráficos de la cinemática.

Como una perspectiva futura de investigación, limitada al área de interpretación de gráficos de la Cinemática, podría apuntar a direcciones que guiaran eventuales estudios en el área: cuáles dificultades específicas, comúnmente presentadas por los alumnos en este tópico, pueden ser superadas a partir del uso de actividades semejantes a las utilizadas en este trabajo.

Otra perspectiva para eventuales estudios futuros sería la de como el uso del modelamiento computacional en la enseñanza de Física puede influenciar el proceso de modelamiento mental (Johnson-Laird, 1983) de los alumnos. En este referencial los modelos mentales son visados como bloques de construcción cognitivos que pueden ser combinados y recombinados de acuerdo con la motivación y necesidad del individuo. Estos modelos son una forma de representación analógica estructural del conocimiento, existiendo una correspondencia directa entre las entidades y relaciones presentes en la estructura de esa representación y las entidades y relaciones de estados de cosas del mundo que se quiere representar. Otras características importantes a que sean resaltadas dicen respecto la naturaleza de los modelos mentales, admitiendo éstos como tácitos (en el sentido de la imposibilidad de observación directa de los mismos), dinámicos (pueden ser replanteados en cualquier instante) e inestables existiendo sólo durante el proceso de modelamiento mental. Cuando ellos adquieren estabilidad pasan a ser vistos como un otro tipo de representación, por ejemplo, un esquema (Rodríguez, 2004).

Para finalizar esta conclusión los autores destacan la importancia de estudios científicos que se ocupen en investigar de qué forma el aprendiz relaciona y comprende los conceptos físicos trabajados con el uso del ordenador y como extraer un provecho máximo de este tipo de herramienta. Sin investigaciones de este tipo, se corre el riesgo de prestar un flaco favor a los alumnos, pues por un lado se está empleando métodos y materiales innovadores, por otro lado se ignora como éstos son asimilados por ellos, lo que puede ocasionar el refuerzo de pensamientos y actitudes que justamente se está intentando superar.

3.7.2 “IMÁGENES VISUALES EN EL AULA Y RENDIMIENTO ESCOLAR EN FÍSICA: UN ESTUDIO COMPARATIVO” (Otero, 2003)

3.7.2.1 Síntesis del Estudio:

Este trabajo compara el rendimiento de dos grupos de estudiantes de Física del Nivel Polimodal1 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 Varianza y Co-varianza 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.

3.7.2.2 Conclusiones del Estudio:

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, señalan los autores, concepciones éstas 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 en el estudio- 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. El 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 la postura teórica de los autores, si las representaciones imaginísticas 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 (Otero, 2003).

Para hacer inferencias en torno a un fenómeno físico, los autores del estudio señalan que 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 un 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 a realizar.

4. METODOLOGÍA

4.1 HIPÓTESIS:

Frente al problema planteado inicialmente: ¿En qué medida contribuye a la calidad de los procesos y resultados de aprendizaje sobre un tópico de Física básica, mediante la metodología del modelamiento mental, la utilización del software “Modellus” directamente por los estudiantes, durante las etapas de construcción, desarrollo y aplicación que contempla dicha metodología? ; nos ayuda a comprenderlo y a direccionar la investigación, la formulación de la siguiente hipótesis sustantiva general:

- **El estudiante que durante el proceso de modelamiento mental aplicado para aprender conceptos de física, ha utilizado el software Modellus como herramienta de apoyo a dicho proceso, alcanza un resultado más eficaz^(*) y significativo (Ausubel,2002) que el estudiante que no ha utilizado el recurso computacional.**

Para hacer más operacional el análisis de la experiencia se han formulado las siguientes Hipótesis Alternativas (Hn) y las respectivas Hipótesis Nulas (Ho):

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 a dicho proceso, alcanzan un resultado significativamente superior a los estudiantes que no lo hayan hecho.

H₀

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

(*) Para definiciones de variables:

Aprendizaje eficaz: Capacidad para conseguir un resultado determinado;

Aprendizaje eficiente: capacidad de transferir procesos a otros problemas, jerárquicamente más complejos

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 a dicho proceso, alcanzan un resultado significativamente más rápido que los estudiantes que no lo hayan hecho.

H₀

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

4.2. CONSECUENCIAS VERIFICABLES

4.2.1 Los alumnos que utilicen el software Modellus para verificar el proceso de modelamiento mental de un concepto de física, lograrán resultados más efectivos y rápidos;

4.2.2 Los alumnos que hayan utilizado el software Modellus para verificar el proceso de modelamiento mental de un concepto de física, lograrán resultados más significativos, en términos de poder transferir los procesos a problemas más complejos;

4.2.3 Los alumnos que no utilicen el software Modellus para verificar el proceso de modelamiento mental de un concepto de física, podrían lograr resultados efectivos pero más lentos;

4.2.4 Los alumnos que participen de un proceso instruccional, aún utilizando el software Modellus, pero con carácter demostrativo, para ilustrar los conceptos de física, no lograrán resultados significativos que les permitan modelar un problema más complejo;

4.3 VARIABLES

Independiente:

- Metodología de enseñanza.

Dependientes:

- Rendimiento académico de los alumnos;
- Tiempo de logro de resultado eficaz;

Definición de las variables:

- **Metodología de enseñanza:** (método experimental con base en el modelamiento mental y variación en el grado de apoyo informático puesto a disposición de los estudiantes de los grupos control y experimental)

Durante el proceso de modelamiento mental, los alumnos del grupo experimental utilizan el software Modellus para evaluar sus modelos matemáticos, comprobando su exactitud mediante representaciones analógicas, es decir con simulaciones animadas de los movimientos en estudio. Se postula que ello dará más seguridad al estudiante, en su procesamiento y decisiones; permitiéndole a su vez llegar con éxito a los resultados esperados. Se espera que de ese modo logrará más prontamente asimilar el modelamiento mental como una metodología de análisis, razonamiento y comprensión de la estructura de los fenómenos físicos en estudio.

El grupo control no tiene acceso al software “Modellus” en apoyo a su enseñanza, durante el proceso de modelamiento del mismo fenómeno.

- **Rendimiento académico de los alumnos:**

Al final de la sesión de modelamiento del fenómeno físico, se mide el grado de éxito alcanzado, en términos de expresar o no las ecuaciones matemáticas esperadas. En una sesión especial de evaluación sumativa, que se aplica después de concluida 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 y que, como parte del método,

implica una transferencia a un problema inmediatamente de jerarquía superior a los estudiados o un problema que exige combinar aprendizajes anteriores que hayan sido aprendidos en experiencias independientes, como es en este caso.

El rendimiento tiene como indicador el puntaje por ítem y total de la prueba (se usa calificación por objetivos logrados, es decir, evaluación referida a criterios, con datos no sometidos a procesamientos estadísticos de evaluación psicométrica).

- Tiempo de logro de resultado eficaz:

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

4.4 DOCIMACIA

El resultado esperado del ejercicio de modelamiento matemático de los fenómenos físicos a emplear, tanto en la etapa de aprendizaje como en la etapa de evaluación, se expresa en una prueba de aplicación de conceptos durante el proceso de análisis y como producto, en el desarrollo de ecuaciones matemáticas precisas que son correctas o erradas; ello se evalúa y se traduce en una escala de notas que permite ser el referente para la comparación de medias según las variables a estudiar.

El tiempo de ejecución de la prueba se expresa en una escala intervalar, expresada en horas, minutos y segundos; pudiendo correlacionar a los estudiantes de acuerdo a las medias aritméticas de tiempo demorado y de las medias de los logros alcanzados.

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

4.5 **DEFINICIÓN DE LA MUESTRA**

Se contaba con la autorización de acceder a los mejores 15 estudiantes del primer año del Departamento de Matemática y 15 del Departamento de Física de la UMCE, de acuerdo a los resultados académicos del primer semestre. Así se dispondría de un colectivo de 30 estudiantes 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”. De este colectivo se haría una selección al azar de los estudiantes que participarían en el Grupo Experimental y en el Grupo Control. Así, el experimento se realizaría con 15 estudiantes y el grupo de control contaría con un número igual de estudiantes de ambas carreras; siendo la distribución aleatoria simple.

A pesar de haber hecho oportunamente una serie de trámites oficiales y formales, con las autoridades de los Departamentos de Física y de Matemáticas de la UMCE (ANEXO 01); y luego con los estudiantes de primer año de ambas unidades académicas, a fin de tener la cantidad adecuada de miembros de la Muestra definida en el Proyecto de Investigación original, se suscitaron los siguientes inconvenientes que obligaron a tomar medidas radicales a fin de poder realizar la experiencia diseñada dentro de los plazos de término del convenio del presente Programa de Magíster, entre la UMCE y la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de Chile:

- De 50 invitaciones entregadas a los estudiantes citados (Anexo 02), asisten a la primera reunión informativa, sólo 26, con quienes se acuerda un calendario de desarrollo, proyectado a 4 semanas, que incluyen las 4 sesiones descritas en el punto 16. de este informe;
- A la primera sesión sólo asisten 12 estudiantes, habiéndoles recordado vía E-mail. Al enviarse comunicación a los ausentes, ellos aludían a olvido, pruebas y ayudantías que les habían insertado en los horarios disponibles para la experiencia;
- A la 2ª sesión, solo llegan 4 alumnos del grupo experimental y 3 del control, aludiendo los ausentes a los mismos motivos descritos anteriormente;

- La tercera experiencia contó con 3 alumnos experimentales y 2 controles, estando en plena etapa de exámenes en sus respectivas carreras y por tanto sin la obligación de asistir al Campus universitario, excepto para la experiencia comprometida;
- Finalmente, al Post Test asisten sólo 2 alumnos del grupo experimental, los que dan muestra a través de sus procesos y resultados de una favorable calidad de los materiales y procedimientos empleados, observaciones que se utilizan como soporte de validez de los recursos diseñados para la ocasión, además de los procedimientos de validación que se desarrollaron de cada material, por parte de pares expertos.

Al ver la asistencia disminuida en la 1ª sesión de trabajo de los alumnos de la UMCE, y ante el inminente fracaso de la investigación, se toma contacto con un profesor del Departamento de Física, que trabaja parcialmente en un colegio cercano, a fin de conseguir una muestra, en principio equivalente, pero más amplia y que reuniera ciertas condiciones indispensables para cumplir con la experiencia y poder obtener resultados que aportaran a esta línea investigativa y metodológica propuesta.

Luego de unas reuniones con el Departamento de Física y con la Rectora del Colegio Saint Gabriel's School, de Providencia, el día viernes 10 de noviembre, se acuerda realizar la experiencia con las siguientes condiciones:

- Se trabajaría con 30 alumnos de los primeros años de Enseñanza Media, seleccionados por sus profesores entre los que tienen más afinidad con el área de la Matemática y la Física;
- La experiencia debe realizarse en el máximo de una semana y media, por término de las actividades lectivas del colegio y comienzo del período de exámenes finales de año;
- Se trabajará en el Laboratorio de Informática del colegio, donde se debe acondicionar los recursos a los 30 PCs disponibles;
- Los alumnos escogidos se eximirían de las actividades finales de las asignaturas de Matemática y Física, estando ya eximidos de las evaluaciones finales, por su aventajada capacidad en estas áreas.

Ventajas y Desventajas de estas condiciones:

- Una de las principales ventajas es tener suficientes alumnos para la experiencia;
- Otra de las ventajas era poder trabajar con alumnos que no tenían ningún conocimiento del tópico de Cinemática que se iba a abordar en la experiencia, a diferencia de los alumnos de la UMCE que tenían algunos recuerdos de los contenidos que son estudiados en 2° EM.
- La ventaja anterior es una desventaja en términos del nivel de matemática que poseen los estudiantes en dicho nivel, ya que sólo se manejan a lo más con ecuaciones simples, de 1er grado;
- Otra de las desventajas es de orden doméstico, y se refiere a tener que trasladar un laboratorio virtual para la experiencia, y tener que cargar los PCs con los softwares que se requerirían para las experiencias a desarrollarse; y coordinar finamente el calendario de asistencia y de trabajo del laboratorio, que debía cumplir con actividades frecuentes con otros cursos.
- Otra gran desventaja está referida al tiempo de la intervención, ya que toda la secuencia de actividades planificadas para 4 semanas, debió reducirse inicialmente a 8 días y en definitiva a 11 días. Cabe señalar que durante el desarrollo de la 2ª sesión, se acordó agregar una sesión más para el segundo experimento, lo que significó trasladar la prueba final para 4 días después de lo inicialmente fijado, el martes 28 de noviembre, semana durante la cual los estudiantes ya estarían en vacaciones.

Durante la primera sesión, dedicada al Pre Test, se determinó quienes participarían del Grupo Experimental y del Grupo Control respectivamente, a través de un sorteo con papelitos enumerados, resultando pertenecer al grupo Experimental los jóvenes que poseían los números pares. Así, el experimento se realizaría con 15 estudiantes y el Grupo de Control contaría con un número igual de estudiantes de características similares; en base a una distribución aleatoria simple.

Las fotografías corresponden a la primera sesión con la muestra del Saint Gabriel's School, en el momento que realizaban alguno de los pre-test considerados y momentos previos al "sorteo" de quiénes trabajarían en el Grupo Experimental o Grupo Control.



Esta fotografía corresponde al momento del sorteo de los Grupos de Trabajo: Ge y Gc.



Esta fotografía corresponde al entrenamiento del Ge para el uso de Modellus



4.6 **INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

- Informes de laboratorio de los alumnos, sobre las experiencias de movimiento realizadas. Incluyen observaciones, hipótesis planteadas, explicaciones de procedimientos, diagramas de montajes, tablas de datos, gráficos, fórmulas y cálculos matemáticos, resultados y conclusiones comentadas. Se emplean con intencionalidad formativa de evaluación.
- Pautas de observación y registro de datos, a aplicar por parte del profesor durante las sesiones de trabajo experimental y de evaluación sumativa, en especial para control de tiempos de ejecución.
- Prueba inicial y final de aplicación y transferencia de aprendizajes. Se aplica con intencionalidad sumativa y enfoque de evaluación referida a criterios de grado de logro de objetivos y significatividad de los aprendizajes.

El experimento está referido a un proceso de elaboración mental que se va manifestando a través de decisiones y productos algebraicos que el estudiante va expresando en un Informe de Laboratorio, en base a una pauta o guía que el facilitador va proponiéndole al enfrentar un problema a resolver. Una vez que se inicia el proceso de elaboración mental esperado, se va anotando el tipo de consulta que el alumno del grupo experimental hace, el tipo de uso que le da a Modellus y el número de veces que lo utiliza hasta llegar al resultado esperado. Igualmente se registra el tiempo que demora entre la asignación inicial y el resultado final.

La evaluación final, está referida a la capacidad de enfrentar un problema nuevo y de una complejidad gradualmente superior, donde se mide el éxito y el tiempo de ejecución del resultado esperado. Ambos grupos enfrentan la misma situación-problema a modelar según la metodología del Modelamiento Mental aprendida, pero y la deben abordar y resolver principalmente con papel y lápiz, aunque el grupo experimental tiene la opción de usar el software “Modellus” en apoyo al procesamiento y análisis de la información. Se espera detectar diferencias significativas en rendimiento (calidad y tiempo de respuesta) entre los grupos, vinculables al valor agregado que significa para la resolución del problema planteado el poder emplear libremente la herramienta informática “Modellus”.

Por lo tanto, a excepción de las pautas de observación, de la prueba final y de los informes de laboratorio a emplear, no hay instrumentos de recolección de datos que puedan exponerse a algún grado de invalidez o no confiabilidad.

Además de los Instrumentos de evaluación de aprendizaje, Pre y Post Test (Anexo 03), y de las Bitácoras de registro de avance de estudiantes en el proceso (Anexo 06), se desarrolló un instrumento evaluativo de conocimientos pre-requisitos acerca de conceptos y/o pre conceptos básicos de Cinemática que se esperaba pudiesen existir en los estudiantes (Anexo 04a). Después de evaluada esta condición, se les entregó un manual autoinstruccional sobre estos conceptos básicos (Anexo 05) y se les pidió que se auto-aplicaran nuevamente el test, vieran las diferencias y compararan con una plantilla de corrección (Anexo 04b) que se les envió por correo electrónico después del plazo acordado para esta actividad pre-instruccional.

4.7 FACTORES DE INVALIDEZ INTERNA Y EXTERNA

La prueba final de aplicación y transferencia de aprendizajes, con carácter sumativo, que a su vez sería usada como Pre Test, se sometió a la validación de su contenidos con dos especialistas del Departamento de Física de la UMCE y a la validación con los dos alumnos de Física de la UMCE, del grupo experimental original que desarrollaron el proceso de modelamiento completo. En dicha prueba, como Pre Test, estos 2 estudiantes obtuvieron nota 1.0 y 1.2; y como Post Test, ambos obtuvieron nota 7. También cuenta la aplicación del instrumento, como Pre Test en la primera sesión de la UMCE, con 12 estudiantes, donde ninguno de ellos obtuvo más de una nota 1,4.

Igualmente, el trabajo observado por los estudiantes de la UMCE, además de la revisión de expertos, daban cuenta de la validez de los recursos empleados durante todas las actividades de la experiencia (Guías de laboratorio, Pruebas y Guías de conocimiento de los pre-requisitos empleadas)

La variable profesor que guió las intervenciones fue controlada siendo el mismo en todas las sesiones tanto con el grupo experimental como con el grupo control, realizándose en tiempos continuos para que no hubiera contaminación entre los grupos. La medición de resultados se

realizó al final de cada actividad pedagógica, por lo tanto no hubo un tiempo de espera que generase una razón de maduración o una fuente histórica de invalidación.

Respecto a la Evaluación Sumativa, se realizó en una sesión final a ambos grupos en horarios inmediatamente continuos, sin posibilidad de comunicación previa. No se realizó en una misma sesión, porque el grupo experimental podía usar el software Modellus y el control no.

Sobre la selección de la muestra total a emplear, se realizó en base a condiciones de nivel académico homogéneo (un colectivo de los mejores 30 alumnos de los primeros años de Enseñanza Media del colegio, en materias de matemática y física) y la distribución de los grupos experimental y control se realizó al azar, disminuyendo así el error de sesgo.

Acerca de los factores externos, puede que la evaluación, al realizarla en una sesión posterior a la última sesión experimental, contenga un período de interferencias o influencias dentro y/o entre los grupos, pero éstas pudieron ser sólo sobre los procesos o experiencias desarrolladas, lo cual era beneficioso para ellos y era parte de la metodología del modelamiento, además se puede considerar como parte del estudio independiente que los estudiantes pudieran realizar. Ellos además, desconocían qué tipo de prueba les esperaba al final.

Hubo 3 alumnos del grupo experimental que tuvieron ausencias durante más de 2 sesiones y 2 de ellos no asistieron a la prueba final. De los que asistieron a la prueba final, uno de ellos se tuvo que retirar a los 30 minutos de iniciada y el otro manifestó incomodidad a los 10 minutos, por lo que entregó la prueba sin responder. Este último alumno, que había faltado a 2 sesiones, había manifestado una actitud de desorden en las sesiones que asistió, por lo tanto no se consideraron sus datos en el análisis. Por esa razón sólo contamos con 11 estudiantes del Grupo Experimental cuyos datos se procesaron.

Solamente un alumno del Grupo Control no asistió al test final, por lo que sus datos no fueron procesados. En consecuencia el número de alumnos definitivos que aportaron datos del Grupo Experimental fueron 11 y del Grupo Control 14.

4.8 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Al comparar dos grupos semejantes elegidos aleatoriamente, donde a ambos se aplicará la metodología de modelamiento de Hestenes, pero solamente el grupo experimental usará la herramienta computacional “Modellus”; se empleará el siguiente modelo **experimental, con pre y post-test**:

El Diseño del Estudio, a pesar de haber cambiado la muestra original, se ha mantenido intacto, dándole solamente el carácter de **Exploratorio**, debido a los ajustes que hubo que realizar ante la diferencia de características en la muestra empleada (conocimientos matemáticos previos), que conllevaba una incertidumbre sobre los resultados; y debido al tamaño de la muestra, que no permite extraer conclusiones generalizables, sino más bien recomendaciones para posteriores réplicas de la experiencia.

Modelo de Diseño:

Grupo Control

Rc	O	A		X₀	O
Re	O	A	CM	X₁	O

Grupo Experimental

Siendo: **R** = Grupos equivalentes o semejantes, escogidos al azar

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.

4.9 PLAN DE TRABAJO

Dadas las condiciones de tiempo para trabajar con los estudiantes del Colegio Saint Gabriel's School, y los ajustes metodológicos que hubo que realizar sobre la marcha (ver Bitácora en Anexo06), sobre todo producto de la 2ª sesión, se cumplió con el siguiente 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 (Anexo 03) 2. Pre test sobre conocimientos básicos de cinemática; (Anexo 04a) 3. Apresto vía estudio de Guía sobre conceptos básicos de cinemática de 1 Dimensión: posición, velocidad, aceleración, el fin de semana; (Anexo 05) 4. Re-aplicación de test sobre conocimientos básicos de cinemática, el domingo; 5. Comparación de resultados con plantilla de corrección (Anexo 04B), enviada por E-mail, el domingo en la tarde; 6. Selección aleatoria de Grupos Experimental y Control; <p>Grupo Experimental, 2º Bloque (10:15 a 11:30)</p> <p>Objetivo: Aprender el uso de Modellus (<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. Auto-evaluaciones Incluidas en la Guía.</i>) (Anexo7)</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.</p> <p>Sólo Grupo Control: (07:45 a 09:15)</p> <p>Objetivo Experiencia 1: Aprender la Cinemática 1 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 (Anexo8), 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 Modellus, 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 Modellus, en grupo Experimental. A ambos grupos se le envió la presentación por E-Mail. (Anexo 10)</p>

	<p>Ambos Grupos en sus respectivos horarios: Terminaron la Guía de la Experiencia 1 con datos guardados de sesión anterior y con nuevas tomas de datos. Sólo Grupo Experimental: Las expresiones las transfieren al <i>Software Modellus</i> para reproducir animación y para explotar los conceptos obtenidos.</p>
4 viernes 24 noviembre	<p>Sólo Grupo Control: (07:45 a 09:15) Objetivo Experiencia 2: Aprender la Cinemática 1 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 (Anexo9), 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. 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. 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, con el problema descrito y una serie de preguntas sobre resultados, con papel y lápiz para ambos grupos, pero con acceso voluntario a Modellus en el grupo experimental. (Anexo 03)</p>

4.9.1 Descripción de la Metodología de Trabajo Experimental

(*) Sesión de trabajo en el laboratorio (para ambos grupos, en forma separada) con herramienta computacional Data Studio (sólo para adquisición rápida de datos y confección de gráficos):

- Observación del movimiento del carro en diferentes circunstancias y obtención de datos experimentales, con presentación de gráficos (3):
 - a partir de un impulso, sin las pesas, horizontalmente en el suelo;
 - caída libre de las pesas;
 - sin impulso inicial, solamente con las pesas;

- con impulso hacia atrás y las pesas en contra;

Consideraciones para la discusión de los experimentos:

- En los casos de los movimientos impulsados por las pesas, hacer meditar en la causa del movimiento del carro y de la caída de las pesas, como una forma de dar sentido físico al valor numérico de la aceleración obtenida calculando la pendiente de las rectas en los gráficos velocidad v/s tiempo. Esto es clave para la etapa de transferencia del método de modelamiento mental en la evaluación sumativa con el lanzamiento Vertical Hacia Arriba y Caída Libre)

Para el la etapa de Reality Check del Método de Modelamiento Mental de Hestenes, usar la herramienta de animación de Modellus con las ecuaciones de los grupos de estudiantes. En el Grupo Control lo hace el profesor; en el Grupo Experimental lo hacen los alumnos.

- Para la etapa de aplicación, solicitar a cada grupo que propongan situaciones problemáticas comparables a la estudiada, a las que se pueda aplicar el mismo modelo. Elegir una para desarrollarla y discutirla en detalle. El profesor puede manejar como ejemplo la situación siguiente: Discutir la situación esperable si las pesas que arrastran el carro cayeran en un líquido viscoso (aceite).

Para el Análisis Post-Laboratorio:

- Presentación de resultados de grupos en la pizarra (o telón);
- Representaciones múltiples (tablas, gráficos, fórmulas);
- Discusión de conclusiones.

(**) Para la Evaluación Sumativa, la idea es apuntar al valor agregado de Modellus con respecto a otros recursos (incluso informáticos como Excel, Data Studio u otros con capacidad graficadora de funciones), cuando se trata de validar modelos matemáticos para la física y ciencias, gracias a la herramienta analógica de animación de que dispone Modellus.

4.9.2 Algunas Ilustraciones de la realización de las sesiones del Plan de Trabajo:



Laboratorio Informático del Saint Gabriel's School



1ª sesión, grupo-muestra total durante el Pre-Test



Grupo Experimental en capacitación de *Modellus*



Profesor Pérez guiando aprendizaje de *Modellus*



Grupo Experimental en sesión 2



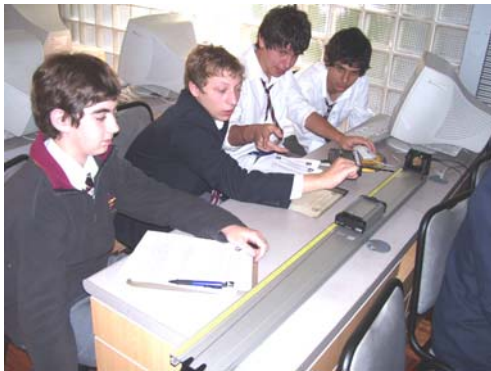
Profesor Pérez guiando aprendizaje en sesión 2



Grupo Experimental en sesión 3 obteniendo datos



Grupo Control en sesión 3 analizando experimento



Grupo Control en sesión 4 obteniendo datos



Grupo Control en sesión 4 analizando experimento



Grupo Experimental en sesión 5 Post Test



Grupo Experimental en sesión 5 Post Test,
con y sin Modellus

5. RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS DE DATOS

Los datos que se adquieren de la experiencia para contrastar estadísticamente y lograr coeficientes de significatividad que hagan refutar o aceptar la H_0 , están distribuidos en las siguientes tablas, separando los del Grupo Control y los del Grupo Experimental¹.

Grupo Control

N° 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

N° 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

¹

Sexo **1** son varones y **2** son damas:

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.

5.2 **SOBRE LAS HIPÓTESIS A CONTRASTAR**

En el proyecto fue formulada la Hipótesis Sustantiva General siguiente:

El estudiante que durante el proceso de modelamiento mental aplicado para aprender conceptos de física, ha utilizado el software *Modellus* como herramienta de apoyo a dicho proceso, alcanza un resultado más significativo(Ausubel,2002) y eficaz² que el estudiante que no haya utilizado el recurso computacional;

Para hacer más operacional el análisis de la experiencia se formularon las siguientes Hipótesis Alternativas (Hn) y las respectivas Hipótesis Nulas (Ho):

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 a dicho proceso, alcanzan un resultado significativamente superior a los estudiantes que no lo hayan hecho.

H₀

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

²

Para definiciones de variables:

Aprendizaje eficaz: Capacidad para conseguir un resultado determinado;

Aprendizaje eficiente: capacidad de transferir procesos a otros problemas, jerárquicamente más complejos

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 a dicho proceso, alcanzan un resultado significativamente más rápido que los estudiantes que no lo hayan hecho.

H₀

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

Para realizar el análisis de estas hipótesis alternativas (H₁ y H₂) se realizó una comparación de Medias de las variables involucradas, en dos grupos independientes, a través de la *Prueba t de Student*, para concluir si la diferencia detectada es atribuible al tratamiento o a otra variable que pudiese haber intervenido, entre ellas el azar; y con qué porcentaje de probabilidad.

Así se va comparando:

- Para la **H₁**: Variable Post Test de los alumnos del Ge que usaron Modellus con Variable Post Test de los alumnos del Gc que no usaron Modellus;
- Para la **H₂**: Variable Tiempo de los alumnos del Ge que usaron Modellus con Variable Tiempo de los alumnos del Gc que no usaron Modellus;
- También, aprovechando los datos y dado que hay una **variable género** en la muestra, se comparará los resultados considerando esta variable, es decir, las damas del Gc con los varones del Gc, y las damas del Ge con los varones del Ge, para detectar si es significativo atribuirle a esta variable, esta diferencia.

5.3 ANÁLISIS DE DATOS SOBRE HIPÓTESIS 1 (H₁)

Para la H₁: Variable Post Test de los alumnos del Ge que usaron Modellus con Variable Post Test de los alumnos del Gc que no usaron Modellus;

Primeramente, se someten a la *Prueba t Student* los dos grupos independientes: Ge y Gc, por separado, comparando las Medias de las variables Post y Pre Test, respectivamente, resultando un *t* altamente significativo en ambos grupos y con un porcentaje extremadamente bajo de probabilidad que la diferencia se deba a otra influencia, si no es al proceso metodológico del Modelamiento Mental, que fue usado en ambos grupos. Cabe destacar que la diferencia es mayor del puntaje *t* en el Ge y la probabilidad ($P \leq 0.05$ dos colas) es mucho menor que en el Gc. Al realizar este análisis como grupos dependientes (*Paired t test*) los puntajes *t* resultantes son mayores con una significatividad extremadamente mayor.

Prueba t para dos muestras del GC suponiendo varianzas iguales		
	Post Test	PreTest
Media	4,192857143	1,285714286
Varianza	1,873021978	0,373626374
Observaciones	14	14
Varianza agrupada	1,123324176	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	26	
Estadístico t	7,257095541	
P(T<=t) dos colas	0,000000105	
Valor crítico de t (dos colas)	2,055529418	

Prueba t para dos muestras del GE suponiendo varianzas iguales		
	Post Test	PreTest
Media	5,363636364	1,272727273
Varianza	1,604545455	0,218181818
Observaciones	11	11
Varianza agrupada	0,911363636	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	20	
Estadístico t	10,04975155	
P(T<=t) dos colas	0,0000000029	
Valor crítico de t (dos colas)	2,085963441	

Al comparar ahora las Medias de los Post Test de ambos grupos independientes, que se diferencian en que el Ge, además de la metodología común, tuvo acceso al software *Modellus* y no así el Gc, se observa un *t* superior al valor crítico y un valor **P** inferior al 0.05, lo que por criterio convencional se considera estadísticamente significativo.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	Post Test Ge	Post Test Gc
Media	5,363636364	4,192857143
Varianza	1,604545455	1,873021978
Observaciones	11	14
Varianza agrupada	1,756293055	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	23	
Estadístico t	2,192637664	
P(T<=t) dos colas	0,038712449	
Valor crítico de t (dos colas)	2,068657599	

Esto hace considerar que la diferencia de resultados en el Post Test entre los Grupos no se debe al azar y es probable que sea consecuencia del uso de *Modellus*, por parte del Ge.

Al considerar que, si bien el Grupo Control (**Gc**) se diferencia del Grupo Experimental (**Ge**) por no utilizar *Modellus* en ningún momento de la experiencia, dentro del Grupo Experimental hubo una diferencia entre los que usaron *Modellus* sólo durante el proceso instruccional y los que usaron *Modellus* en el proceso instruccional y durante el Post Test, donde era optativa su utilización. Esta nueva variable obliga a realizar un análisis comparativo de Medias (**t de Student**) entre:

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

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 2 grupos.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	<i>GeModellus1</i>	<i>Gcs/Modellus</i>
Media	4,2	4,192857143
Varianza	0,575	1,873021978
Observaciones	5	14
Varianza agrupada	1,567605042	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	17	
Estadístico t	0,010950296	
P(T<=t) dos colas	0,991390584	
Valor crítico de t (dos colas)	2,109815559	

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*.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	<i>GeModellus2</i>	<i>Gcs/Modellus</i>
Media	6,333333333	4,192857143
Varianza	0,266666667	1,873021978
Observaciones	6	14
Varianza agrupada	1,426812169	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	18	
Estadístico t	3,672414083	
P(T<=t) dos colas	0,001742479	
Valor crítico de t (dos colas)	2,100922037	

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

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.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	<i>GeModellus2</i>	<i>GeModellus1</i>
Media	6,333333333	4,2
Varianza	0,266666667	0,575
Observaciones	6	5
Varianza agrupada	0,403703704	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	5,54487343	
P(T<=t) dos colas	0,00035879	
Valor crítico de t (dos colas)	2,262157158	

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

5.4 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE DATOS SOBRE HIPÓTESIS 1 (H₁)

Al considerar los resultados de las pruebas estadísticas realizadas para docimar la Hipótesis alternativa 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 a dicho proceso, alcanzan un resultado significativamente superior a los estudiantes que no lo hayan hecho*”, en términos generales me atrevo a rechazarla, aceptando la hipótesis nula H₀ respectiva.

Se debe considerar que, la diferencia mayor de las Medias se da entre el Grupo Experimental que **siempre** usó *Modellus* (6,33) comparado con los otros 2 grupos: Grupo Experimental que usó *Modellus* sólo en la Instrucción (4,20) y Grupo Control que no usó nunca *Modellus* (4,19); existiendo extremadamente poca diferencia de las Medias entre estos dos últimos grupos. Así entonces, el peso del tamaño de la Media del **Ge c/Modellus2** frente a los otros grupos influyó en la comparación general del **Ge c/Modellus** con el **Ge s/Modellus**, realizada en el análisis de Pre y Post Test de **Ge** y **Gc** donde se ve una aceptable significatividad estadística, debido a que la Media del **Ge** aumentó por dicha influencia.

La consideración anterior puede hacer presumir que sólo **cuando se usa *Modellus* en la totalidad de la experiencia** (incluidas Instrucción y Evaluación) se logra un mayor resultado, pudiendo haber sido la hipótesis alternativa adecuada. Pero surge la pregunta **¿por qué el estudiante que pudo haberlo hecho no se ayudó con *Modellus* durante la prueba y así hubiese logrado mejor resultado?**

Para contestar esta pregunta que surge a partir de los datos duros y de las pruebas estadísticas realizadas, implica aludir a las **observaciones cualitativas** de quienes estuvimos observando y orientando el desarrollo de la experiencia.

La **respuesta** es que **quienes utilizaron *Modellus* en la totalidad de la experiencia** (Instrucción y Post Test) fueron, probablemente, los estudiantes que lograron apreciar la relación de *Modellus* con la experiencia metodológica y consideraron que la herramienta informática, al

integrarla al proceso de análisis y desarrollo del modelo, les permitía obtener datos para encontrar las respuestas y/o compararlos con las respuestas que ellos habían elaborado.

Los que **no usaron *Modellus* durante el Post Test**, pudiendo haberlo hecho por su disponibilidad durante ésta, es probable que haya sido porque no descubrieron su sentido o aplicación, porque hayan presumido que era suficiente con su esfuerzo para generar las respuestas, o porque simplemente no hayan aprendido a utilizar el recurso adecuadamente.

Lamentablemente la Encuesta de Evaluación de Actividades que respondieron los alumnos una vez terminado el Post Test, era anónima, pero en el grupo de encuestas correspondientes al Grupo Experimental, los porcentajes de respuestas favorables hacia el uso de *Modellus* coinciden con el **n** del **Ge c/Modellus2**; pero su anonimato no permite confirmar con evidencias, una respuesta coincidente con alguna de las opiniones cualitativas vertidas en el párrafo anterior.

Cabe señalar, además, que durante todo el proceso se le sugirió al **Ge** como alternativa el uso de *Modellus*, pero nunca se influyó para que dicho uso se hiciera imprescindible u obligatorio. Esto para evitar manipular la experiencia y así llegar a sus resultados con la mayor de las evidencias objetivas posibles.

5.5 ANÁLISIS DE DATOS SOBRE HIPÓTESIS 2 (H₂)

Para la H₂: Variable Tiempo de los alumnos del Ge que usaron Modellus con Variable Tiempo de los alumnos del Gc que no usaron Modellus;

Al comparar las Medias entre el Gc con el Ge en función del tiempo demorado en contestar el Post Test, expresado en minutos, se aprecia un valor *t* superior al valor crítico de la tabla y una probabilidad inferior al 0.05, lo que estadísticamente es considerado significativo. Por esta consideración se refuta la H₀ y se acepta la H₂ respectiva.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	<i>minutosGc</i>	<i>minutosGe</i>
Media	62,14285714	52,54545455
Varianza	82,43956044	143,8727273
Observaciones	14	11
Varianza agrupada	109,149633	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	23	
Estadístico t	2,279989933	
P(T<=t) dos colas	0,032202775	
Valor crítico de t (dos colas)	2,068657599	

Con la valoración obtenida del análisis, se puede decir que es altamente probable que el menor tiempo ocupado en responder el Post Test, no se deba a otra variable que al uso de *Modellus* en el proceso de modelamiento mental para el aprendizaje de un tópico de física.

Se analiza ahora, 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**).

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	<i>minutosGeModellus1</i>	<i>minutosGeModellus2</i>
Media	60,4	46
Varianza	35,3	146,4
Observaciones	5	6
Varianza agrupada	97,02222222	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	2,414299631	
P(T<=t) dos colas	0,038973263	
Valor crítico de t (dos colas)	2,262157158	

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 H₀ y aceptarse la H₂ respectiva. Aquí, al observar los resultados del análisis estadístico y al contemplar la diferencia explícita de las Medias en las tablas, 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.

Al comparar la Media de los minutos que el **Gc** demoró en realizar el Post Test con la Media del tiempo en minutos que el **GeModellus1** -que no usó *Modellus* en la Prueba Final- demoró en su realización, a través de la *Prueba t de Student*, 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.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	minutos Gc	minutos GeModellus1
Media	62,14285714	60,4
Varianza	82,43956044	35,3
Observaciones	14	5
Varianza agrupada	71,34789916	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	17	
Estadístico t	0,396043979	
P(T<=t) dos colas	0,696999138	
Valor crítico de t (dos colas)	2,109818524	

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
Varianza	82,43956044	146,4
Observaciones	14	6
Varianza agrupada	100,2063492	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	18	
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*, a través de la *Prueba t de Student*, arroja un valor *t* superior al valor crítico, con una probabilidad muy por debajo del $P = 0.05$ estimado para esta prueba estadística de dos colas. Por lo tanto, de acuerdo a los criterios convencionales, esta diferencia es considerada estadísticamente significativa.

Este resultado puede interpretarse 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.

5.6 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE DATOS SOBRE HIPÓTESIS 2 (H_2)

Al considerar los resultados de las pruebas estadísticas realizadas para contrastar la H_2 , *“Los estudiantes que durante el proceso de modelamiento mental aplicado para aprender conceptos de física, hayan utilizado el software Modellus como herramienta de apoyo a dicho proceso, alcanzan un resultado significativamente más rápido que los estudiantes que no lo hayan hecho”*, a diferencia de lo sucedido en la H_1 , me atrevo a considerarla válida, descartando la H_0 respectiva.

La argumentación, esta vez, considera en el caso del análisis que arrojó poca significatividad en los resultados, la observación de una diferencia efectiva de más de 2 puntos en las Medias del tiempo empleado por el grupo que uso *Modellus* durante el proceso instruccional, que si bien no es significativo de acuerdo al análisis, existe una diferencia sustancial de tiempo en sentido favorable que no alcanza a desequilibrar los otros análisis que expresan gran significatividad en sus valores.

Se debe considerar esta vez el gran monto de diferencia en la Media del grupo que usó *Modellus* siempre, comparado con las Medias de los otros grupos. El enorme grado de significatividad atribuido a los otros dos análisis comparativos, no puede dejar de considerar que es altamente probable que usando *Modellus* en el proceso de modelamiento matemático de un fenómeno de física, llevará menos tiempo en su desarrollo.

5.7 ANÁLISIS DE DATOS Y CONCLUSIONES SOBRE VARIABLE GÉNERO

Al tener los datos, siempre es recomendable hacer el estudio sobre alguna probable diferencia de resultados que exista entre los géneros, sobre todo en temas que culturalmente han estado muy orientados a los varones. Por ello, se realizó el análisis de comparación de Medias de resultados, agrupando a las damas y a los varones, sin considerar si son del Gc o del Ge. Ello arrojó un valor t muy inferior al valor crítico y por tanto una probabilidad superior al 0.05 lo que hace improbable que las diferencias, en esta agrupación general, tengan su explicación en la variable género.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	<i>FemGral</i>	<i>MascGral</i>
Media	4,913333333	4,4
Varianza	1,748380952	2,531111111
Observaciones	15	10
Varianza agrupada	2,054666667	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	23	
Estadístico t	0,877211676	
P(T<=t) dos colas	0,389442754	
Valor crítico de t (dos colas)	2,068657599	

Al comparar luego las Medias de los resultados, considerando una agrupación independiente por género, tanto en el Ge, como en el Gc, se observan valores que estadísticamente no son significativos, por lo que se interpreta como improbable que los resultados diferentes puedan atribuirse a la variable género.

Prueba t para dos muestras del Ge, suponiendo varianzas iguales		
	<i>GeFem</i>	<i>GeMasc</i>
Media	5,428571429	5,25
Varianza	1,535714286	2,25
Observaciones	7	4
Varianza agrupada	1,773809524	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	0,213914959	
P(T<=t) dos colas	0,835381084	
Valor crítico de t (dos colas)	2,262157158	

Prueba t para dos muestras del Gc, suponiendo varianzas iguales		
	<i>GcFem</i>	<i>GcMasc</i>
Media	4,4625	3,83333333
Varianza	1,682678571	2,2426667
Observaciones	8	6
Varianza agrupada	1,916006944	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	12	
Estadístico t	0,84163496	
P(T<=t) dos colas	0,416449885	
Valor crítico de t (dos colas)	2,178812827	

Si se hubiera explicitado una H_3 relacionada con la variable género influyendo en diferencias de resultados, la conclusión hubiese sido su rechazo y aprobación de la H_0 respectiva, pues los análisis demuestran que estadísticamente es muy improbable dicha influencia.

5.8 SOBRE LA ENCUESTA DE EVALUACIÓN DE ACTIVIDADES

Como parte del trabajo exploratorio, se consideró un instrumento de recolección de información que permitiera al estudiante expresar su opinión acerca de la experiencia realizada, con fines mas bien de revisar la estructura y las actividades de la metodología empleada, que con el propósito de entregar más datos a la investigación. De todos modos, la información recogida, da cuenta de la apreciación de los jóvenes y de la confirmación de algunos sentimientos de quienes organizamos la experiencia, en términos del factor tiempo y de los pre-requisitos no existentes o muy débiles en esa etapa académica y de desarrollo de los estudiantes.

Sin embargo, hubo una información valiosa para la investigación rescatada de este instrumento, aunque para efectos cuantitativos no tenga validez por ser anónima, y por ello no poder contrastar la identificación de los autores con la de los estudiantes que tuvieron los resultados en el Grupo experimental que usó *Modellus* en el Post Test, es la consignada en los ítems 22 y 23 de la encuesta, donde un grupo equivalente en número se refiere a la utilidad de la herramienta *Modellus* tanto para facilitarles el trabajo en el proceso de modelamiento, como en la seguridad que ella les infundía al comprobar sus datos y ecuaciones. Esta información podría haber sido crítica al momento de decidir justificar una razón real de porqué un grupo de estudiantes experimentales no usó *Modellus* en la evaluación final y con ello haber mejorado su rendimiento y como consecuencia haber revertido el resultado del análisis estadístico y quizás con ello, haber refutado la H_0 y aceptado la H_1 .

ENCUESTA DE EVALUACIÓN DE ACTIVIDADES <i>N Gral. = 25 estudiantes</i> <i>n Ge= 11 estudiantes</i>	COMPLETAMENTE DE ACUERDO	PARCIALMENTE DE ACUERDO	TOTALMENTE EN DESACUERDO
	%	%	%
	x	x	x
1. Al comienzo, el tema me era desconocido.	60%	40%	0%
	15	10	0
2. El tema me era conocido, pero me faltaban conocimientos matemáticos.	20%	44%	36%
	5	11	9
3. Durante la evaluación diagnóstica, sentí frustración por no poder responder.	28%	52%	20%
	7	13	5

4. Mi resultado en la evaluación diagnóstica me motivó a esforzarme para aprender en las sesiones de laboratorio siguientes.	18	72%	6	24%	1	4%
5. Las explicaciones del desarrollo de la prueba de diagnóstico me ayudaron a estar mejor preparado(a) para las actividades experimentales.	21	84%	2	8%	2	8%
6. El apunte sobre conceptos básicos de Cinemática entregado tras la prueba de diagnóstico, me sirvió para comprender mejor los experimentos siguientes.	21	84%	4	16%	0	0%
7. En el futuro me gusta aprender Física mediante actividades experimentales, cada vez que sea posible.	16	64%	8	32%	1	4%
8. Prefiero aprender Física atendiendo a las explicaciones teóricas y a la resolución de ejercicios realizados por el profesor.	3	12%	15	60%	7	28%
9. Las preguntas de las guías me ayudaron a comprender mejor los experimentos.	19	76%	6	24%	0	0%
10.- El uso de elementos informáticos fue de gran ayuda para mi comprensión de los experimentos.	20	80%	4	16%	1	4%
11. El uso de elementos informáticos fue motivador para mí, haciendo más entretenido e interesante el trabajo.	18	72%	7	28%	0	0%
12. El software Data Studio me resultó fácil de manejar para recolectar y graficar los datos experimentales.	21	84%	4	16%	0	0%
13. El análisis matemático de los experimentos se me hizo muy difícil.	1	4%	11	44%	13	52%
14. Sin la ayuda del profesor no habría sido capaz de completar el trabajo indicado en las guías de laboratorio.	8	32%	17	68%	0	0%
15. Prefiero que el profesor no intervenga cuando trato de responder las preguntas de las guías de laboratorio con mis compañeros(as) de grupo.	0	0%	6	24%	19	76%
16. El resumen de la primera sesión experimental, explicado con Power Point, me fue de utilidad para el trabajo de las restantes sesiones de trabajo.	17	68%	7	28%	1	4%

17. Me siento capaz de enfrentar sin ayuda del profesor ni de guías de laboratorio <i>un experimento</i> de modelamiento de movimiento rectilíneo con aceleración constante.	13	52%	44%	4%
18. Me siento capaz de enfrentar sin ayuda del profesor ni de guías, <i>un problema teórico</i> de modelamiento de un movimiento rectilíneo con aceleración constante.	9	36%	56%	8%
19. Necesito saber más Matemáticas para ser capaz de aplicar el método de modelamiento al análisis de experimentos o de problemas teóricos de movimiento rectilíneo con aceleración constante.	4	16%	52%	32%
20. Me gustaría aprender nuevos conceptos de Física mediante el método de modelamiento.	19	76%	20%	4%
21. Me gustaría seguir aprendiendo Física mediante experimentos con apoyo informático.	20	80%	16%	4%
22. El software Modellus me permitió comprobar las ecuaciones que desarrollé con el método de modelamiento.		28%	16%	0%
ESTE ÍTEM SOLO LO RESPONDE EL Ge7	7	4	0	
23. Todas las herramientas que conocí de Modellus me fueron igualmente útiles para sentirme seguro(a) frente a las ecuaciones que desarrollé con el método de modelamiento.		24%	20%	0%
ESTE ÍTEM SOLO LO RESPONDE EL Ge6	6	5	0	

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN

Haciendo una síntesis de lo extraído y analizado en los puntos relacionados con el ítem 5. de este informe, se plantean como conclusiones generales:

- Al realizar los análisis de Comparación de Medias de rendimiento para docimar la H_1 daban, en una de las relaciones, valores estadísticamente no significativos lo que hizo desestimar dicha hipótesis y aceptar la H_0 respectiva.

Aunque no existe una norma que señale qué porcentaje de pruebas que resulten no significativas hagan desestimar o no una hipótesis alternativa, creo intuir que es criterio del investigador el decidir dicho acuerdo, al considerar la relevancia de los datos y resultados en cada situación de contrastación.

Tal es el caso de esta hipótesis (H_1), que había sido formulada sin prever que un grupo de alumnos del Grupo Experimental, que habían tenido todas las indicaciones y posibilidades de aprovechar los recursos facilitadores, aún en la prueba final, no iba a utilizar 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, que generó un resultado desestimativo de la hipótesis, se produjo en la práctica de la experiencia, extrayéndose una importante conclusión de ello: **Los alumnos que usaron Modellus siempre, incluso durante la prueba final, lo hicieron probablemente 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 punto 5.6, sin embargo, aún resultando uno de los valores en la contrastación de la **H2** no significativo, se estimó válida la hipótesis alternativa, rechazando la **H₀** respectiva, por las razones que a continuación reitero.

Siempre hubo una diferencia favorable en los promedios de los tiempos empleados para resolver el Post Test, en los dos grupos que usaron *Modellus*, siempre o sólo durante la instrucción. Ello, aún cuando uno de los análisis haya arrojado valores no significativos. Sin embargo, la extremada 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, ya sea de aprendizaje o de evaluación, debiera 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 cualquier producción de ecuaciones que haga, 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.

- Aún cuando haya evidencia de la significatividad del uso de *Modellus*, en la mayoría de los análisis con los grupos considerados, ya sea en los resultados académicos, como en los tiempos utilizados, no se dispone de evidencia estadística para establecer qué herramienta o función del software tiene más relevancia para explicar esas diferencias detectadas. Se puede especular que la función análoga o de animación que posee *Modellus* es la que más puede ayudar al estudiante para comprobar su modelamiento matemático, pero no hay evidencias cuantitativas en este estudio, pudiendo ser objeto de una próxima investigación.

- Es importante, como conclusión, reflexionar acerca de los tiempos o plazos que se consideran para este tipo de experiencia de investigación. Aunque el proyecto de investigación para la Tesis se haya generado con anticipación, en los cursos de investigación del primer año o en el Taller de Tesis del tercer semestre, en dichas etapas el foco principal está en aprender las formalidades técnicas del proyecto (formulaciones del proyecto, instrumentos de recolección de datos, estadígrafos, etc.); sin embargo, la puesta en práctica del estudio se debe realizar en un 4° semestre que coincide con un semestre muy poco efectivo en términos de tiempo, ya que todo, de septiembre en adelante, gira en torno a fin de año escolar o académico y por tanto se dispone de pocas posibilidades para aplicar una intervención y recoger los datos adecuadamente.

Tal fue la situación de esta experiencia, que coincidió con un final de semestre universitario que terminó por echar por tierra la muestra del Proyecto original y hubo que buscar de urgencia una grupo muestral que tuviera ciertas condiciones que permitieran realizar la experiencia en corto plazo.

A ello, debemos agregar que dado el convenio de nuestra Universidad con el Programa, nuestro Grado Académico debemos terminarlo en dos años exactos, pues cualquier extensión de plazos involucra gastos extraordinarios y permisos institucionales de difícil alcance, además de una complicación laboral extraordinaria que implica una calificación funcionaria complicada.

- Lo anterior tiene repercusiones que ameritan una conclusión especial. Lo logrado con la muestra definitiva conseguida de urgencia en el colegio Saint Gabriel's School, tuvo algunas limitaciones que hacían prever resultados no tan exitosos como los que finalmente se lograron. Si hubo resultados fue porque el grupo humano que rodeó esta experiencia fue de muy buena calidad: los jóvenes de la muestra, la Sra. Directora y los profesores del Departamento de Física del colegio y los profesores del Departamento de Física de la UMCE.

Sin embargo, los tiempos que se tuvo para desarrollar la experiencia fueron muy breves. Por una parte no permitieron cumplir con todos los pasos de la Metodología del Modelamiento Mental y por otra, el poco tiempo probablemente no permitió que los estudiantes maduraran los procesos, el uso de los recursos –entre ellos *Modellus*- y los conceptos involucrados. Si a pesar de esto, hubo resultados interesantes, ello hace pensar que la efectividad de la propuesta, a pesar de los aspectos que se deben ajustar para una siguiente exploración, es promisorio y ha generado interés en los involucrados en seguir en esta línea, perfeccionando los tiempos, los procedimientos, los recursos para mejorar al fin el aprendizaje de los estudiantes y situar a los recursos, con estudios consistentes, en su verdadero rol.

- Otra conclusión general que debe exponerse, se refiere a la relación no significativa de la variable género con los resultados analizados. De acuerdo a los valores que los Análisis de Comparación de Medias, bajo la variable género, arrojó y que están expuestos en el punto 5.7 de este Informe, se concluye que no es significativa dicha relación, por lo que los resultados en este campo no son atribuibles al género.
- Una última conclusión está relacionada con la manifestación de los propios estudiantes respecto al interés de aprender la física y las matemáticas con estas metodologías innovativas, que además integran recursos informáticos que les permiten llegar más rápido y con más respaldo al conocimiento respectivo.

6.2

RECOMENDACIONES

- La primera gran recomendación es que a partir de los antecedentes de este estudio y del conocimiento y expertise adquiridos con esta investigación, se replique la experiencia, pero en condiciones más favorables, principalmente de tiempo, ya que los recursos y materiales elaborados ya cuentan con una validación bastante rigurosa y consistente. Aunque nunca se termina de garantizar ningún elemento en este tipo de experiencia.
- Se sugiere además que, junto con replicar la experiencia de Modelamiento con apoyo de *Modellus*, se realice una investigación más minuciosa que contemple los aspectos que no permitieron un éxito mayor en este estudio, tales como considerar los pre-requisitos de los estudiantes, formular hipótesis más específicas que permitan incluir el máximo de variables que puedan tener relevancia, investigar más sobre las funciones que los softwares puedan favorecer los resultados esperados.
- Se debe involucrar a más profesores que, junto con participar en estudios similares, aprendan este tipo de metodología y favorezcan con ello el aprendizaje de los estudiantes y generen con ello 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, en la medida de lo posible, 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 de esta manera las ciencias matemáticas y físicas, ya que ellos fueron la siembra de un estilo de aprender que pudiera llegar a cultivar frutos muy interesantes en un futuro próximo.

6.3 RESULTADOS EXTRAORDINARIOS

El 18 de diciembre del 2006, día que en el Saint Gabriel's School se entregan las notas de fin de año, la Directora del colegio nos pidió que, en una sesión especial, expusiéramos de la experiencia a los padres de los estudiantes, ocasión que junto al profesor Pérez se entregó un certificado de participación a cada joven y en que se comunicó de una continuación de esta experiencia durante el 2007, lo que hace factible cumplir con las sugerencias de este estudio.



7. BIBLIOGRAFÍA

Araujo, Ives Solano (2002) "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.

Pérez Matzen, Claudio (2003) "Modelamiento y Simulación Computacional en la Enseñanza y Aprendizaje de la Física"; ponencia en el Congreso Nacional Formación Inicial de Docentes en Chile" UMCE, 9-10 de enero de 2003; Santiago, Chile.

Teodoro, Vitor Duarte; Vieira, J. P., & Clérigo, F. C. (1997). *Modellus, interactive modeling with mathematics*. San Mateo, CA: Knowledge Revolution.

Informe del Grupo de Trabajo 2: Primer y Segundo Ciclo en el Contexto de la Declaración de Bolonia en «Inquiries into European Higher Education in Physics», Actas del V Foro General de EUPEN 2001, Colonia (Alemania), septiembre de 2001, publicadas por H. Ferdinande & E. Valcke, Tomo 6, Universiteit Gent, Gante 2002.

Teodoro, Vitor Duarte, (1998). 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.

Otero, Maria Rita; Greca, I. M. y Lang da Silveira, Fernando (2003) "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, N° 1*

Hestenes, David 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/>. Traducido por Carl J. Wenning.

The Oxford Concise Dictionary (1996). Oxford University Press.

Sitio Web EDUTEKA: Noviembre 02 de 2002. Última modificación de este documento: Octubre 18 de 2003. URL: <http://www.eduteka.org/instalables.php3>

Cartier, N.; Rudolph, J.; Stewart, J. (2001). "The nature and structure of scientific models". The national Center for Improving Student Learning and Achievement in Mathematics and Science. Wisconsin Center for Education Research. Madison.

El Mercurio, Santiago de Chile, martes 5 de julio de 2005, actualizado a las 6:23 hrs.

URL: www.impactoprofundo.cl

De la Jara, Antonio (Reuters) ENFOQUE-Norte de Chile, ojos del mundo para ver impacto espacial. 01/07/05 18:13

Ausubel, David. (2002). Adquisición y retención del conocimiento. Una perspectiva cognitiva. Ed. Paidós. Barcelona, España.

Hestenes, David. (1987). “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/>)

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

Rodríguez Palmero, María Luz. (2004) La Teoría del Aprendizaje Significativo. Centro de Educación a Distancia (C. E. A. D.). Pedro Suárez Hernández, s/n. C. P. nº 38009 Santa Cruz de Tenerife.

Johnson-Laird, P. N. (1996). **Images, Models and Propositional Representations**. En Models of Visuospatial Cognition. Oxford. University Press. pp. 90-127.

8. ANEXOS

8.01 ANEXO 01

Señor
Juan Yáñez González
Director del Departamento de Matemática
Facultad de Ciencias Básicas, UMCE

Santiago, 16 de octubre de 2006.

Estimado señor Director:

Junto con aprovechar la oportunidad de saludarle con mucho afecto, quisiera comunicarle que como parte de mi Proyecto de Tesis, del Magíster en Educación con mención en Informática Educativa que estoy realizando en la Universidad de Chile, debe desarrollarse una intervención pedagógica con una muestra de estudiantes de primer año de Matemática y de Física, por lo cual creo pertinente y necesario informarle a Ud. a fin de poder realizar las gestiones que se requieran, teniéndolo a Ud. al tanto y esperando contar con su autorización, por supuesto.

Ahora paso a explicarle en qué consiste esta intervención: Contando con la asesoría de nuestro gran amigo Claudio Pérez, pretendemos probar que el desarrollo de una metodología de modelamiento matemático, según el modelo de Hestenes, frente a un problema de física (cinemática), produce mejores resultados si es apoyada activamente, por parte de los estudiantes, con el uso de un software (Modellus). Para ello, se pretende seleccionar un colectivo de 30 alumnos de 1^{er} año, 15 de cada carrera y que hayan tenido buen promedio en el 1^{er} semestre; luego, al azar, se separan en grupos experimental y control, se realiza la experiencia de 4 sesiones, donde con todos se desarrolla la metodología de modelamiento y sólo el grupo experimental utiliza Modellus para confirmar sus ecuaciones propuestas. Así observaremos, en una actividad de aplicación de la metodología a un problema ligeramente diferente (evaluación final), qué grupo lo resuelve mejor y más rápido, confirmando o rechazando la hipótesis planteada.

Lo importante es que los dos grupos habrán vivido la experiencia de una metodología útil e innovadora de solución de problemas, sólo que un grupo podrá experimentar con un recurso informático, lo que nos permitirá describir una metodología de E-A más precisa, con una definición más consistente de la función y uso de un recurso, en nuestro contexto, lo que podrá ayudar a optimizar la formación futura de nuestros estudiantes.

Esperando, reitero, contar con su apoyo y autorización, quisiera -si lo considera necesario- entrevistarme con Ud. lo antes posible para explicarle con más detalles la experiencia y poder proceder a contactar a los estudiantes y programar su desarrollo, y poder finalmente concluir dentro de los plazos con los informes respectivos.

Agradeciendo de antemano su disposición, le saluda con mucho afecto.

Jaime Tello Gallardo
Profesor, Dpto. de Medios Educativos

cc. Claudio Pérez M.

8.02 ANEXO 02

Señor xx
Estudiante del Departamento de Matemática/Física
Facultad de Ciencias Básicas, UMCE

Estimado xx:

Soy Jaime Tello Gallardo, profesor del Departamento de Medios Educativos de nuestra UMCE, y me encuentro en la etapa de la Tesis de Grado de un Magíster en Informática Educativa, que consiste en una investigación educacional para lo cual requiero de tu colaboración, por lo que quisiera informarte y explicar en qué consiste tu ayuda al respecto.

La investigación está relacionada con la enseñanza de una metodología de modelamiento mental para resolver problemas de física y matemática, desarrollada por David Hestenes, la que queremos probar en nuestro contexto universitario, junto al profesor, Sr. Claudio Pérez Matzen, Director del Departamento de Física de la UMCE.

Nuestro estudio consiste en probar **si la utilización de un software computacional durante el proceso de aprendizaje de la Metodología de Modelamiento, permite logros más exitosos que su desarrollo sin el apoyo del recurso.**

Por razones del método de investigación y de los principios pedagógicos involucrados, se requiere trabajar con alumnos de primer año, por lo que recurrimos a ti; sabiendo además que la experiencia será de gran valor para tu formación como futuro profesor de ciencias, por lo que habrá un aprendizaje efectivo, de todas maneras, si tú estás dispuesto a apoyarnos. Si participas, no habrás perdido tu tiempo, sino que habrás invertido con un poco de esfuerzo, en aprender un método de trabajo matemático y el manejo de un software computacional, que sabemos facilitarán tu desempeño posterior en tu proceso de formación y de tu futuro quehacer profesional.

Sólo nos queda agradecer de antemano tu disposición a colaborar, por lo que esperamos nos confirmes si estás dispuesto a participar de la experiencia, lo que involucraría trabajar durante 4 sesiones de un bloque (1 ½ hrs. c/u), además de una reunión informativa y organizativa a realizarse en los próximos días, en horario a convenir.

Para enviar tu decisión, te solicitamos comunicarla al correo electrónico jtello@umce.cl o al fono 241 25 61. Igualmente, si requieres mayor información para tomar la decisión, comunícate conmigo y te responderé personalmente cualquier consulta.

Esperando tu contacto, te saluda atentamente,

Jaime Tello Gallardo
Profesor
Departamento de Medios Educativos
Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación
jtello@umce.cl
fono 2412561

Santiago, 18 de octubre de 2006.

8.03 ANEXO 03

EVALUACIÓN DE APRENDIZAJES SOBRE MODELAMIENTO CINEMATICO DE MOVIMIENTOS RECTILÍNEOS

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.

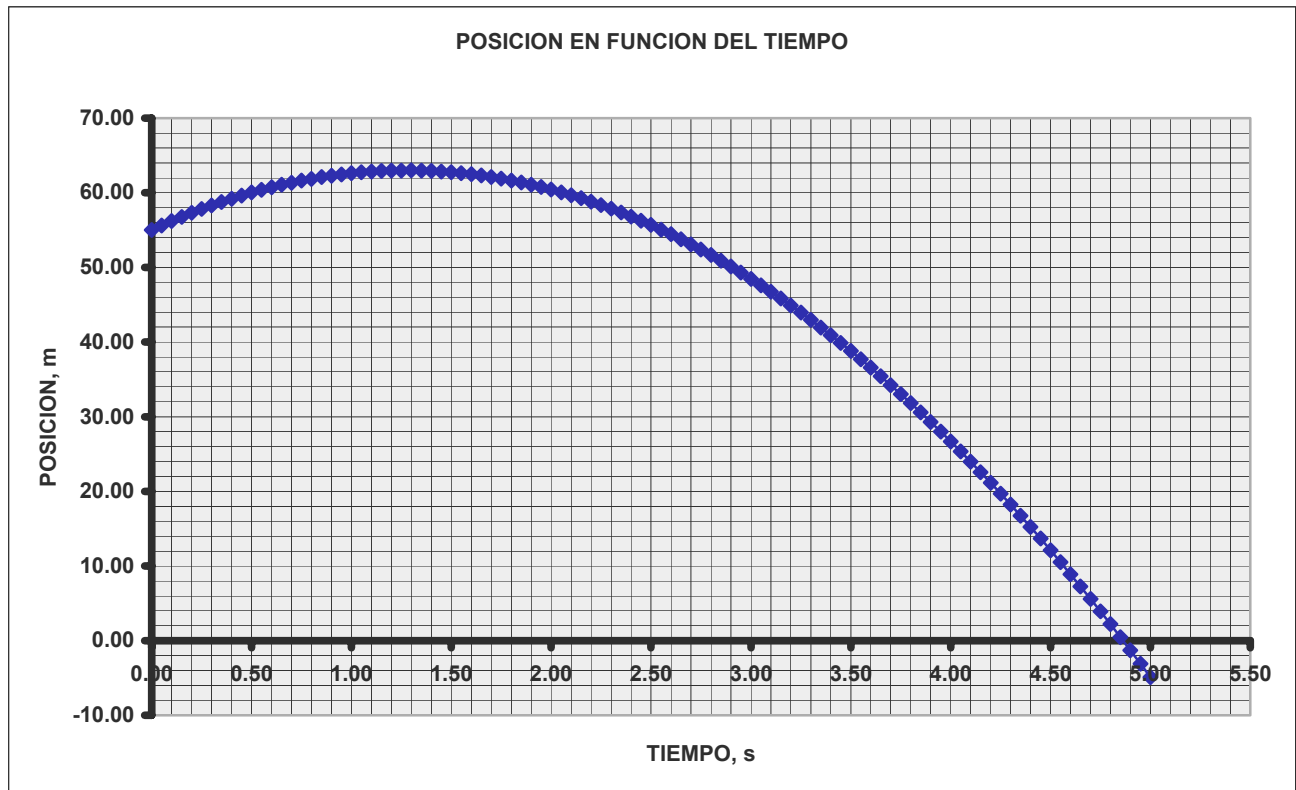
POR FAVOR, EXPLIQUE LOS VALORES DE LOS COEFICIENTES Y LOS SIGNOS QUE USTED ELIGIO PARA LAS ECUACIONES DEL MODELO.

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:



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)?.

8.04 **ANEXO 04a**

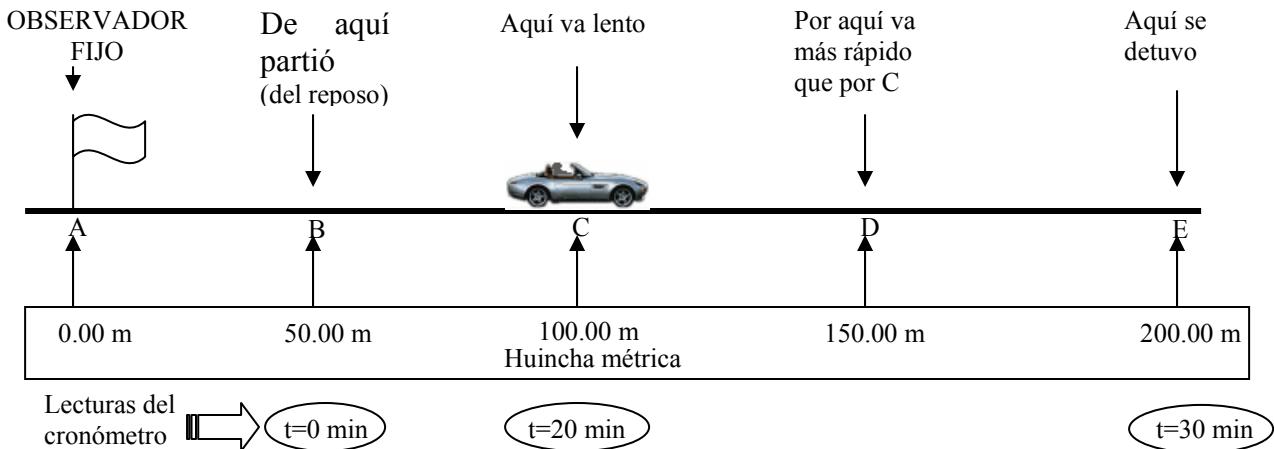
EVALUACIÓN DE APRENDIZAJES SOBRE CONCEPTOS BÁSICOS
PARA MODELAMIENTO CINEMÁTICO DE MOVIMIENTOS RECTILÍNEOS

FECHA: CURSO:GRUPO.....

NOMBRE:

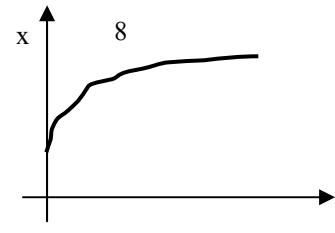
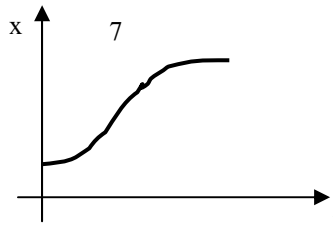
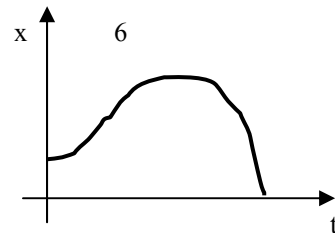
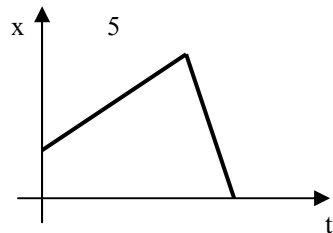
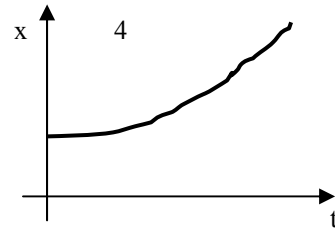
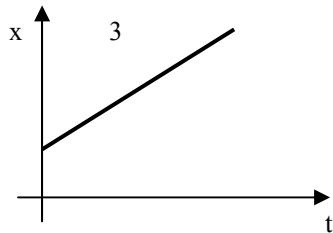
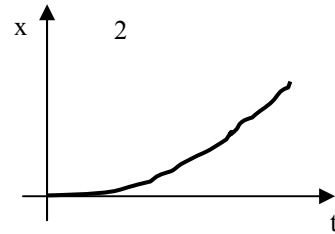
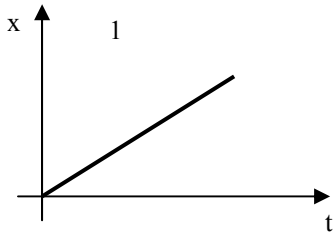
SITUACIÓN-PROBLEMA

El diagrama siguiente muestra un auto que viaja horizontalmente hacia la derecha. Tenga presente la información incluida en el diagrama sobre el movimiento, y responda las preguntas que se plantean a continuación:

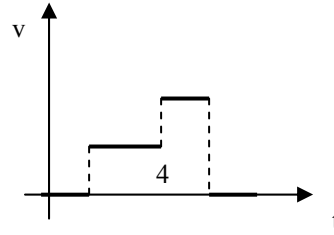
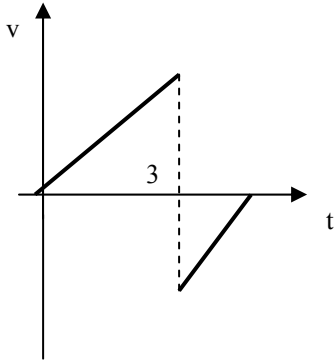
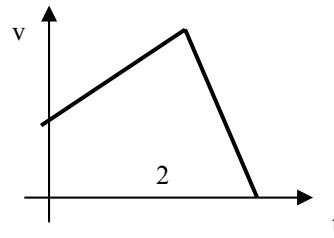
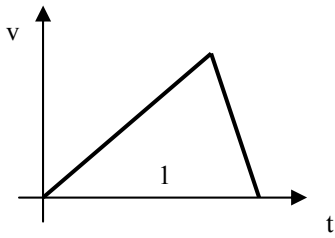


1. ¿Cuál es el valor de la posición inicial del auto?
2. Dibuje en el diagrama el vector posición inicial del auto, e identifíquelo con \vec{x}_0
3. ¿Cuál es el valor de la velocidad inicial?
4. ¿Cuál es el valor de la posición cuando el auto va pasando por el punto C?
5. Dibuje el vector posición cuando el auto va pasando por el punto C, e identifíquelo con \vec{x}_C
6. ¿Cuál es el valor de la posición cuando el auto va pasando por el punto D?
7. Dibuje el vector posición cuando el auto va pasando por el punto D, e identifíquelo con \vec{x}_D
8. Elija un tamaño para el vector velocidad del auto cuando va pasando por el punto C y dibuje ese vector donde corresponda en el diagrama. Con referencia a ese vector y a la información disponible sobre el movimiento, dibuje en el diagrama otro vector que represente la velocidad del auto en el punto D.
9. ¿Cuál es el valor de la posición final del auto?
10. ¿Cuál es el valor de la velocidad final del auto?
11. ¿Qué distancia total recorrió el auto?
12. ¿Es constante la velocidad entre B y C? ¿entre C y D? ¿entre D y E? ¿cómo lo sabe?
13. ¿En qué tramo (o tramos) se podría hablar de movimiento acelerado? ¿por qué?

14. ¿En qué tramo (o tramos) se podría hablar de movimiento retardado? ¿por qué?
15. ¿En qué dirección y sentido apuntaría el vector aceleración en el (o los) tramo (o tramos) acelerado(s)?
16. ¿En qué dirección y sentido apuntaría el vector aceleración en el (o los) tramo (o tramos) retardado(s)?
17. ¿Cuál de los siguientes diagramas podría representar una buena aproximación al gráfico posición versus tiempo del auto?



18. ¿Cuál de los siguientes diagramas podría representar una buena aproximación al gráfico velocidad versus tiempo del auto?



19. Si luego de detenerse en el punto E el auto se devuelve hacia el observador, con velocidad constante,

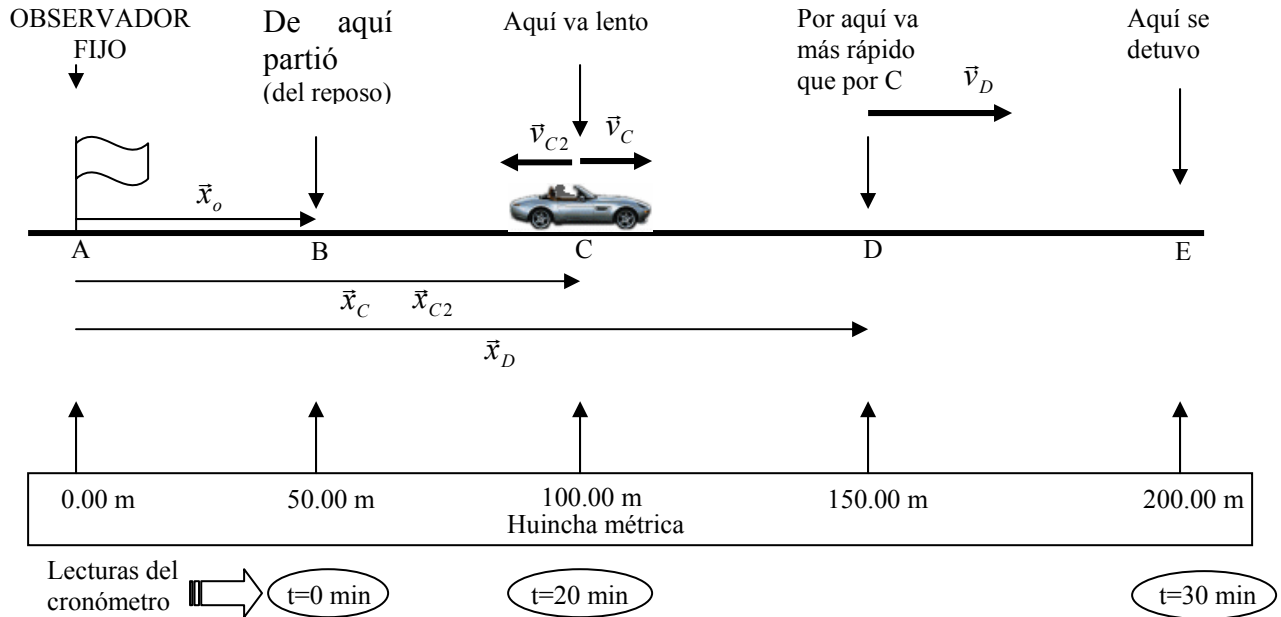
- a. ¿cómo es su vector posición cuando pasa de regreso por el punto C? Dibújelo en el diagrama e identifíquelo con \vec{x}_{C2}
 - b. ¿cómo es el vector velocidad cuando el auto pasa de regreso por el punto C? Dibújelo (eligiendo un tamaño cualquiera) e identifíquelo con \vec{v}_{C2}
20. ¿Cuál es el valor de la aceleración en el viaje de regreso? ¿por qué?
21. ¿Qué distancia total recorrió el auto al ir de B hasta E y luego desde E hasta B?
22. ¿Cuál es el valor del desplazamiento total al completarse el viaje de ida y vuelta desde B hasta E y luego desde E hasta B?

8.05 **ANEXO 04b**

RESPUESTAS

1. Posición inicial: 50.00 m
2. Ver diagrama. Notar que el vector posición tiene siempre su origen en el origen del sistema de referencia, y su extremo en la ubicación del móvil.

DIAGRAMA CON LAS RESPUESTAS A LAS PREGUNTAS 2, 5, 7, 8, 19-A Y 19-B.



3. Velocidad inicial: 0.00 (pues el auto parte del reposo)
4. Posición al pasar por el punto C: 100.00 m
5. Ver diagrama. Ver como va aumentando el tamaño del vector posición, a medida que el móvil se aleja del origen del sistema de coordenadas.
6. Posición al pasar por el punto D: 150.00 m
7. Ver diagrama.
8. Ver diagrama. Notar que los vectores velocidad se dibujan en la ubicación que ocupa el móvil, con la dirección y sentido del movimiento, y con tamaño proporcional al valor numérico de la velocidad (por eso es más grande el vector velocidad en D que en C).
9. Posición final: 200.00 m
10. Velocidad final del auto: 0.00 porque se detiene en el punto E.
11. Distancia total recorrida: $d=150.00$ m, pues partió del punto B, que está a 50.00 m a la derecha del origen.
12. Entre B y C la velocidad aumentó, desde 0.00 (reposo en B) al valor que tiene en C. Entre C y D la velocidad aumentó aún más, pues se indica que por D pasa más rápido que por C. Entre D y E la velocidad disminuyó, desde el valor que tenía en D hasta 0.00, pues se señala que en E se detuvo.
13. Se puede hablar de movimiento acelerado en el tramo B-C y en el tramo C-D, pues en ambos tramos la velocidad experimentó incrementos.

14. Se puede hablar de movimiento retardado en el tramo final D-E, ya que en ese tramo la velocidad disminuyó.
15. En los 2 tramos con movimiento acelerado, el vector aceleración apunta en la misma dirección y en el mismo sentido que el vector velocidad (o sea, hacia la derecha, a favor del movimiento). Se puede plantear la presencia de una fuerza aceleradora o de tracción o empuje.
16. En el tramo con movimiento retardado, el vector aceleración tiene la misma dirección que el vector velocidad pero sentido contrario (o sea, hacia la izquierda, en contra del movimiento). Se puede plantear la presencia de una fuerza retardadora o de frenado.
17. El diagrama N° 7 es el que representaría mejor el gráfico posición en función del tiempo para el viaje desde B hasta E: el valor numérico de la posición aumenta a partir de su valor inicial cada vez más rápidamente para después seguir aumentando pero cada vez más lentamente, hasta el punto de detención.
18. El diagrama N° 1 es el que mejor representaría el gráfico de la velocidad en función del tiempo, pues la velocidad aumenta desde 0.00 hasta su valor máximo, y después disminuye hasta 0.00 en el punto de detención.
19. a) El vector posición al pasar por el punto C de regreso coincide con el vector posición que se dibujó para el viaje de ida pasando por el mismo punto; la única diferencia es que al pasar por C hacia D el vector posición se está alargando, mientras al pasar de vuelta desde D hacia C se está acortando. Ver diagrama.
b) El vector velocidad al pasar el auto de vuelta por C tiene dirección horizontal y sentido hacia la izquierda (el sentido del movimiento de regreso), ya que el vector velocidad se representa sobre el móvil, con la dirección de la tangente a la trayectoria y sentido igual al del movimiento. Ver diagrama.
20. La aceleración en el viaje de regreso es nula, pues se indicó que el auto regresa a velocidad constante.
21. Desde B hasta E el auto recorrió una distancia total de 150.00 m, y desde E hasta B recorrió otros 150.00 m. Por tanto, la distancia total recorrida en el viaje completo fue de 300.00 m.
22. El desplazamiento desde B hasta E tuvo un valor de 150 m; el vector desplazamiento, como diferencia entre el vector posición final y el vector posición inicial, tiene dirección horizontal y sentido hacia la derecha. Pero el desplazamiento desde E hasta B en el viaje de retorno tuvo el mismo valor de 150.00 m, con dirección horizontal pero sentido hacia la izquierda. Por tanto, el desplazamiento total resultante tiene medida 0.00.

ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORMEMENTE ACELERADO

PROPÓSITO DEL ESTUDIO

- ✓ Construir un modelo conceptual y matemático para describir cinemáticamente movimientos rectilíneos con aceleración constante, a partir del análisis de situaciones experimentales con el método de modelamiento, apoyado por hardware y software de adquisición y procesamiento de datos.

RESULTADOS ESPERADOS

Al finalizar el período del estudio, los participantes estarán capacitados para:

- Aplicar el método de modelamiento para determinar matemáticamente la posición, velocidad, aceleración y distancia recorrida por un móvil en un instante dado, empleando las ecuaciones del modelo matemático general propuesto para la descripción cinemática de movimientos rectilíneos uniformemente acelerados, retardados o mixtos, a partir de datos recogidos en situaciones experimentales o de los parámetros dados para una situación problemática teórica.
- Interpretar la información cinemática representada en gráficos posición-tiempo, distancia-tiempo, velocidad-tiempo y aceleración-tiempo o en “mapas de movimiento” correspondientes a movimientos rectilíneos con aceleración constante.

PREPARACIÓN PARA EL TRABAJO EXPERIMENTAL

Repaso de conceptos cinemáticos básicos

Antes de acometer el trabajo experimental, es conveniente repasar algunos conceptos básicos de la Cinemática Unidimensional, es decir, los conceptos que la Física define para realizar lo que se entiende por una “descripción del movimiento”. Aunque por ahora nos limitaremos a movimientos rectilíneos (trayectoria en una dimensión), las definiciones siguientes son aplicables también a movimientos en 2 y 3 dimensiones.

a. Posición de un móvil.

Es un concepto de naturaleza vectorial (direccional), que permite ubicar a un móvil en cualquier instante con respecto a un *sistema de referencia*, donde reside un *observador* que consideraremos fijo.

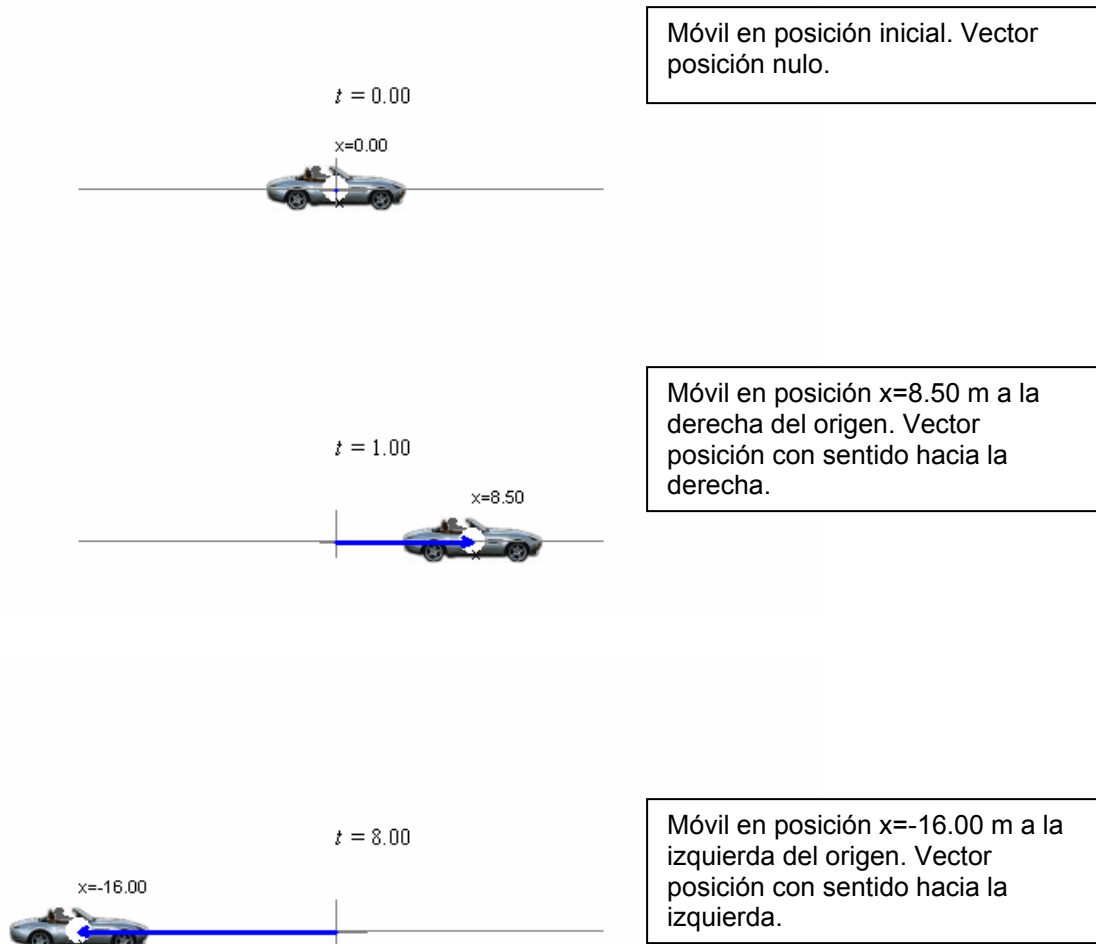
Aunque la elección del sistema de referencia es completamente arbitraria, ella se hace generalmente adaptándose a la forma de la *trayectoria* (lugar geométrico de los puntos del espacio por donde pasa el cuerpo al moverse). Así, el sistema de referencia se acomodará en un *sistema de coordenadas* de 3 dimensiones si la trayectoria está en el espacio; de 2 dimensiones si la trayectoria está en el plano, o de una dimensión si la trayectoria está sobre una recta (horizontal, vertical u oblicua). Dentro del sistema de coordenadas, la ubicación del observador también es arbitraria; sin embargo, generalmente resulta conveniente situarlo en el origen del sistema, pudiendo coincidir o no con el punto en que se inicia el movimiento.

En nuestro caso, el sistema de referencia consistirá en un eje rectilíneo de coordenadas, con las siguientes características:

- ✓ Su origen (coordenada cero) estará fijo en el punto de partida del móvil.
- ✓ Su sentido positivo (de crecimiento del valor absoluto de las coordenadas) será el sentido del movimiento observado. En el caso de un movimiento de dos etapas, el sentido positivo del eje será el del movimiento predominante (de la etapa de mayor duración). Notar que la trayectoria del móvil (con movimiento rectilíneo) quedará alojada sobre el eje del sistema de referencia.

La posición del móvil en cualquier instante estará dada por un vector cuyo origen permanece fijo en el origen del sistema de coordenadas y cuyo extremo está siempre en el móvil. Se puede pensar en este vector como en un vector elástico, que se alarga o acorta entre el origen y el móvil según el movimiento. Cuantitativamente, la posición estará dada por la coordenada que marca el extremo del vector sobre el eje del sistema de referencia en cualquier instante, con el signo que corresponda según el sentido del eje que se haya establecido como sentido positivo.

Ejemplo: Posiciones en 3 distintos instantes de un movimiento rectilíneo horizontal de un auto que primero se aleja del observador y después retrocede y se aleja por el lado opuesto.



Las valores de la posición y del tiempo se pueden obtener experimentalmente, mediante mediciones directas con instrumentos como huincha métrica y cronómetro, o con la ayuda de un sistema informático como el que se describe más adelante (y que usaremos en el laboratorio). Gracias a ello, estos valores de posición en el tiempo se pueden representar de maneras alternativas, tales como una tabla de valores, un gráfico y una función algebraica (función *itinerario*).

b. Velocidad instantánea

Es una magnitud vectorial (direccional) que corresponde a la tasa de variación de la posición en el tiempo durante un intervalo muy pequeño del movimiento, o sea,

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t} = \frac{d\vec{x}}{dt} \text{ (“derivada de la posición con respecto al tiempo”)}$$

Como vector, tiene la dirección y sentido del movimiento en cada instante, y su magnitud o módulo indica qué tan rápido cambia la posición a medida que pasa el tiempo.

Los valores numéricos de la velocidad al transcurrir el tiempo se pueden obtener a partir de cálculos matemáticos realizados sobre los datos de posición recogidos experimentalmente, para lo cual hoy en día se dispone de medios electrónicos o informáticos. Esto podremos verlo en acción al usar el software “Data Studio” en el laboratorio.

Al tratar con los valores numéricos de la representación de la velocidad instantánea v como una función del tiempo t en forma algebraica, igual que al manejar dichos valores en las representaciones alternativas como tabla y como gráfico, pueden presentarse valores positivos y negativos, según el sentido del vector velocidad coincida con el sentido positivo del eje del sistema de referencia o tenga sentido opuesto.

Normalmente, cuando se desea representar este vector en un “mapa de movimiento”, se lo ubica sobre el móvil, como se muestra en las siguientes figuras, que corresponden a los mismos instantes del movimiento rectilíneo del auto descrito en el ejemplo de la sección sobre el concepto de posición. Notar que existe una velocidad inicial hacia la derecha, con módulo 10 m/s:

$t = 0.00$ s
 $x = 0.00$ m
 $v = 10.00$ m/s

Móvil en posición inicial ($t=0$ s), con velocidad inicial hacia la derecha de 10 m/s



$t = 1.00$ s
 $x = 8.50$ m
 $v = 7.00$ m/s

Móvil en posición $x=8.50$ m a la derecha del observador, con velocidad hacia la derecha de 7 m/s



$t = 8.00$ s
 $x = -16.00$ m
 $v = -14.00$ m/s

Móvil en posición $x=-16$ m a la izquierda del observador, con velocidad hacia la izquierda de 14 m/s



Una vez obtenidos los valores numéricos de la velocidad al transcurrir el tiempo, se la puede representar en formas alternativas como una tabla de valores, un gráfico o una expresión algebraica, tal como ocurre con la posición en el tiempo.

c. Distancia recorrida

La *distancia recorrida* es una magnitud escalar (no vectorial) y acumulativa, vinculada no a un instante particular sino al intervalo transcurrido desde el inicio del movimiento hasta el instante elegido para el cálculo. Corresponde a la longitud de la trayectoria descrita por el móvil en ese intervalo, y por tanto, su signo es positivo.

Si el movimiento rectilíneo es en un solo sentido (por ejemplo, hacia la derecha), la distancia recorrida desde el instante inicial hasta un instante t posterior coincidirá con el valor de la posición en el instante t (módulo del vector posición), descontando el valor de la posición inicial si esta fuera diferente de cero. En cambio, si el movimiento incluye avance en un sentido y retroceso (inversión de sentido), para determinar la distancia total recorrida habrá que sumar las distancias recorridas en cada sentido. Notar que a medida que pasa el tiempo, la distancia recorrida solamente puede crecer, en cambio el módulo de la posición puede crecer y disminuir.

d. Aceleración

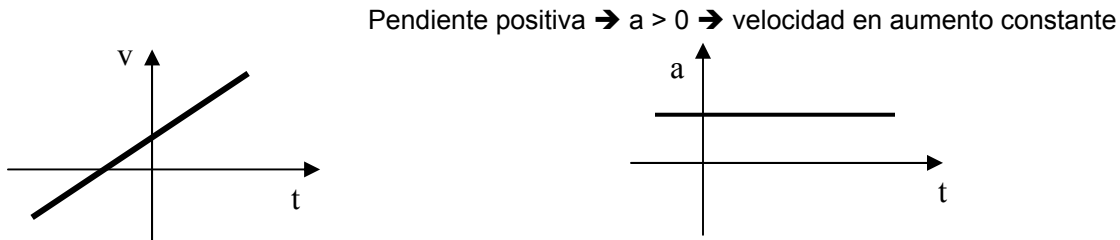
Es un concepto vectorial (direccional), que corresponde a la tasa de variación de la velocidad en el tiempo, o sea,

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

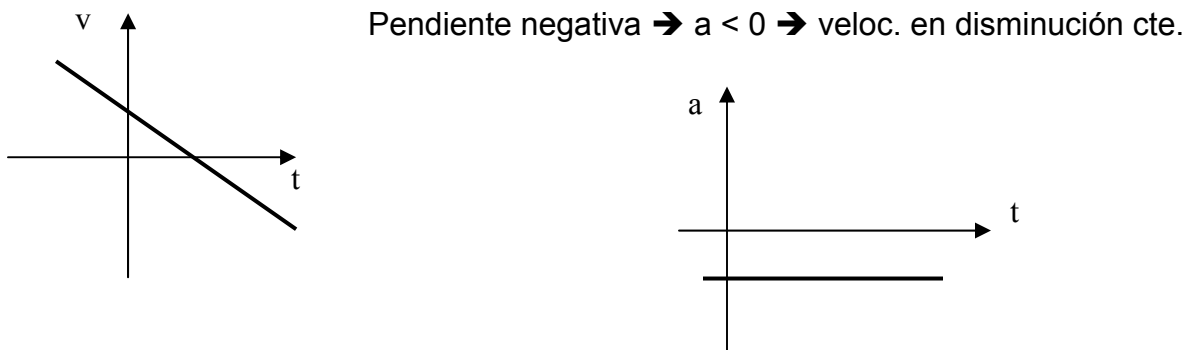
El vector aceleración tiene la dirección del vector velocidad (para un movimiento rectilíneo), pero los sentidos de ambos vectores pueden ser iguales o contrarios en distintos puntos de la trayectoria del móvil, dependiendo de si se está produciendo un incremento del valor de la velocidad (vectores a y v con sentidos iguales) o una disminución del valor de la velocidad (vectores a y v con sentidos opuestos). Notar que el módulo del vector aceleración se expresa en m/s^2 en el Sistema Internacional de Unidades.

En el caso de movimientos con aceleración constante, el valor de la aceleración y su signo (que indica su sentido como vector en relación al sentido de la velocidad), se pueden obtener calculando la **pendiente de la recta del gráfico velocidad-tiempo**:

- ✓ Una aceleración constante positiva está siempre ligada a la acción de una **fuerza neta constante** que actúa sobre el móvil en la dirección y sentido de la velocidad, determinando un aumento constante en el módulo de la velocidad (aceleración propiamente tal).



- ✓ Una aceleración constante negativa está siempre ligada a la acción de una **fuerza neta constante** que actúa sobre el móvil en la dirección de la velocidad pero en sentido contrario, determinando una disminución constante en el módulo de la velocidad (o retardación).



Del análisis del ejemplo del auto anterior, podemos ver que existe una aceleración constante negativa $a = -3 \text{ m/s}^2$. En todo instante, el vector aceleración tiene sentido hacia la izquierda, contribuyendo primero al frenado del auto, y luego a su aceleración pero en reversa, como muestran las imágenes de la página siguiente con “mapas de movimiento” que indican los vectores v y a en distintos instantes.

Móvil en la posición inicial, en $t=0$, con velocidad de 10m/s hacia la derecha y aceleración de -3m/s^2 hacia la izquierda.

$$t = 0.00$$

$$x = 0.00$$

$$v = 10.00$$

$$a = -3.00$$



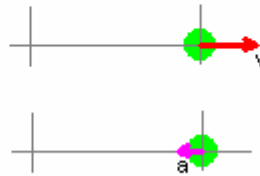
Móvil en la posición $x=8.50\text{m}$ alejándose por la derecha con velocidad de 7.0m/s, manteniendo la aceleración constante de -3m/s^2 hacia la izquierda. Notar que el móvil va frenando, y eventualmente se detendrá por un instante, y luego comenzará a retroceder.

$$t = 1.00$$

$$x = 8.50$$

$$v = 7.00$$

$$a = -3.00$$



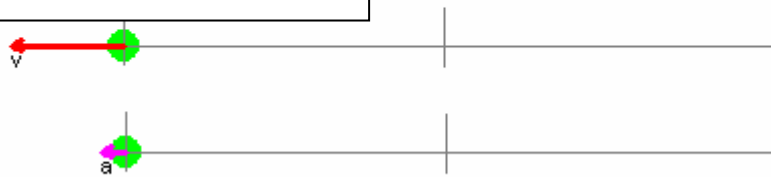
Móvil en la posición $x=-16\text{m}$ a la izquierda del origen, con velocidad de -14m/s hacia la izquierda y aceleración cte. de -3m/s^2 hacia la izquierda. Notar que desde su punto de máximo alejamiento a la derecha del origen, el móvil ha retrocedido acelerando hacia la izquierda.

$$t = 8.00$$

$$x = -16.00$$

$$v = -14.00$$

$$a = -3.00$$



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

Se analizará experimentalmente el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado de un carrito de laboratorio en 3 situaciones distintas:

1. A partir de un impulso inicial (mediante un golpe seco), que produce un movimiento horizontal con respecto a un observador ubicado a cierta distancia del punto de partida.
2. Al dejar caer verticalmente unas pesas unidas por un hilo al carrito, que produce también un movimiento horizontal del carrito alejándose del observador situado en el punto de partida del carro.
3. A partir de un impulso inicial dado al carrito horizontalmente hacia atrás, justo cuando se liberan las pesas unidas a él por un hilo por el extremo opuesto, produciéndose un movimiento horizontal del carrito de 2 etapas con respecto al observador ubicado en el punto de partida.

Para la recolección y procesamiento gráfico de los datos acerca de estos movimientos, cada grupo de estudiantes contará con la ayuda de un sistema informático ad-hoc, consistente en:

- ✓ Un sensor ultrasónico de movimiento, que registrará la posición x (desde la posición del observador hasta la posición del carrito) en cualquier instante t . El sensor registrará, además, los valores de la velocidad y de la aceleración del carrito.
- ✓ Una interfaz electrónica que recibe los datos del sensor, los digitaliza y los entrega a un computador.
- ✓ Un software de procesamiento de datos, llamado "Data Studio", capaz de confeccionar tablas y gráficos con los datos experimentales, y de facilitar la realización de diferentes cálculos con dichos datos. Este software permite obtener rápida y fácilmente tablas y gráficos posición-tiempo, velocidad-tiempo y aceleración-tiempo, a partir de los datos experimentales.

En cada una de las situaciones experimentales mencionadas se tratará de elaborar un modelo cinemático del movimiento, utilizando un método de modelamiento cuyas características se conocerán en el trabajo mismo en el laboratorio de Física. Se espera que el aprendizaje adquirido sea transferible a otras situaciones experimentales y teóricas acerca de movimientos rectilíneos con aceleración constante.

8.07 ANEXO 06

BITÁCORA DE SESIONES DE TRABAJO EXPERIMENTAL EN EL COLEGIO SAINT GABRIEL'S

SESION N° 1: LUNES 20 DE NOVIEMBRE DE 2006

1. Se comenzó con 30 minutos de retraso, por la demora en la llegada del encargado del Laboratorio Multimedia, lo que atrasó la preparación del hardware para adquisición de datos y despeje de mesones.
2. Por el atraso señalado ninguno de los dos grupos alcanzó a llegar a las etapas de Presentación/Discusión ni Aplicación/Transferencia de la metodología. El grupo experimental no alcanzó tampoco a usar Modellus.
3. Se ocuparon 15 minutos iniciales 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 Matemáticas de estos dos grupos (primer año medio). Se envió por e-mail la prueba desarrollada, para que sirviera como material de estudio complementario del apunte sobre conceptos básicos de Cinemática.
4. Se evidenció en general la falta de conocimiento de los vectores como entes geométricos de representación gráfica de conceptos cinemáticos como posición, velocidad y aceleración. Muchas consultas relacionadas con la dirección y sentido de los vectores con respecto al eje del sistema de referencia del observador.
5. Falta de claridad en identificación de variables dependientes e independiente, e insuficiente comprensión del "producto" a obtener como resultado del trabajo experimental de la sesión. Se entiende por el poco desarrollo de la abstracción matemática en los alumnos disponible en este nivel. Fue necesario explicar y definir los conceptos de variable dependiente e independiente, ligándolos con el propósito de la sesión.
6. Dificultades para confeccionar los gráficos cualitativos en la pregunta 4 de la guía, por falta de uso de gráficos en este tipo de situaciones, e inexperiencia en la visualización de los vectores cinemáticos y la forma como sus variaciones de módulo, dirección y sentido se traducen en las gráficas de posición, velocidad y aceleración en función del tiempo. Tendencia a sobrevalorar el origen para trazar estos gráficos (partiendo de cero), y a desatender el signo de la velocidad al trazar su gráfica.
7. Dificultades mayores y generalizadas con el concepto de aceleración. Se la confundía con la velocidad o simplemente no se la entendía en absoluto. No se visualizaba su presencia en el experimento, ante lo cual el profesor optó por vincularla a la acción de la fuerza de roce cinético, tras la constatación de la reducción paulatina de la velocidad. Se les recomendó aplicar a la aceleración las características de la fuerza de roce, para ayudarles a visualizar una aceleración constante, de dirección horizontal y sentido contrario en todo instante al de la velocidad.
8. La palabra "módulo" de la aceleración resultó desconocida para todos. Se lo definió como el valor numérico o medida (magnitud) del vector respectivo. Tendían a buscar un valor numérico para responder, por lo cual se les aclaró que bastaba señalar si el módulo de la aceleración se debería considerar constante o variable a lo largo del movimiento.
9. Un equipo presentó un problema de operación de la interface. Después se vio que se debió a reconocimiento automático erróneo del modelo por Data Studio.
10. El manejo de Data Studio resultó bastante expedito en general. Sin embargo, fue necesario entregar ayuda adicional para el ajuste de las curvas con el software, lo cual se explica por el limitado conocimiento algebraico disponible en los alumnos por su nivel de formación.
11. Se observó un excelente comportamiento y una gran dedicación en los estudiantes al trabajo de la sesión. Se les percibió motivados y satisfechos en su participación en la actividad.
12. Como evidencias complementarias de la sesión se tomaron numerosas fotografías de los alumnos trabajando, y se guardaron copias de algunos archivos Data Studio de alumnos con sus datos y gráficos.

SESION N° 2: JUEVES 23 DE NOVIEMBRE DE 2006

1. Se comenzó puntualmente, gracias al montaje previo del hardware. La sesión estaba dedicada a completar la Sesión N° 1.
2. En consideración al limitado nivel de conocimientos de Física y Matemáticas de los alumnos en el nivel de primero medio, se comenzó por la presentación de un resumen de lo avanzado en la Sesión N°1, destacándose los siguientes puntos:
 - a. Propósito de la sesión, con clarificación del “producto” a obtener y del aprendizaje clave a lograr.
 - b. Ejemplos de expresiones algebraicas y de gráficos de modelos cinemáticos posibles de obtener para la posición x y para la velocidad v como funciones del tiempo t .
 - c. Pistas para el reconocimiento de las ecuaciones correspondientes a los gráficos posición-tiempo y velocidad-tiempo. Obtención de coeficientes con la herramienta Ajustar de Data Studio.
 - d. Ejemplo de cálculos numéricos con las ecuaciones de un modelo cinemático.
 - e. Discusión del significado físico de los coeficientes de las ecuaciones del modelo cinemático.
 - f. En el caso del Grupo Experimental, se agregaron explicaciones sobre la importancia de usar la posibilidad de animación que ofrece Modellus para verificar las ecuaciones construidas para un modelo cinemático, aportando un ejemplo de “buenas” ecuaciones y de “malas” ecuaciones.
3. Después de la presentación de resumen se dio inicio al trabajo de completación de la guía de la Sesión N° 1. Los grupos pudieron usar los datos que habían guardado en Data Studio, pero en general aprovecharon de obtener nuevos registros.
4. En varios casos fue necesario aclarar que al escribir las ecuaciones del modelo cinemático, a partir de los valores de los coeficientes que entrega Data Studio para la curva de ajuste cuadrático posición-tiempo y para la recta de ajuste lineal velocidad-tiempo, se debe incluir a la variable independiente t como tal, es decir, sin reemplazar para t un valor particular del tiempo transcurrido. De nuevo, esto es comprensible a la luz del limitado manejo algebraico de los alumnos en este nivel de su formación.
5. El uso de Modellus no presentó mayores dificultades, aunque hubo que insistir en el carácter unidimensional del movimiento observado, cuando se seleccionaban las variables para la animación (y para vectores, si trataban de incluirlos). Cabe tener presente que el aprendizaje de Modellus en una sesión previa se realizó con casos de movimientos bidimensionales (en el plano X-Y).
6. Lo más destacable de la sesión fue la reacción de los alumnos frente a la animación que construyeron con Modellus a partir de las ecuaciones del modelo cinemático obtenidas con Data Studio:
 - a. En general se construyeron bien las animaciones, pero estas no imitaban exactamente el movimiento observado en el experimento, que se limitaba a un simple movimiento horizontal uniformemente retardado de acercamiento al observador con velocidad decreciente hasta el reposo. Las animaciones logradas, si bien en una primera etapa reproducían lo observado, no cesaban ahí, sino que agregaban un movimiento de retorno del móvil con movimiento uniformemente acelerado.
 - b. La mayoría de los estudiantes pensaron que sus animaciones estaban erradas, y algunos intentaron incluso cambiar signos o coeficientes, por cierto, sin ningún éxito.
 - c. Solamente en un grupo, las alumnas decidieron limitar el tiempo de duración de la animación al tiempo de duración del movimiento experimental, tomando el dato de los gráficos de Data Studio, logrando así la animación correcta. Sin embargo, estas alumnas no se mostraban seguras de la pertinencia de su proceder sobre el tiempo.
 - d. Se entregó al curso la explicación de la necesidad de limitar el tiempo de la animación, con base en la duración limitada de la actuación de la fuerza de roce cinético responsable de la desaceleración del carrito.
7. La explicación del control del tiempo en las animaciones de ecuaciones de modelos cinemáticos, evitando errores “aparentes” por interpretación equivocada, se incluyó en diapositivas adicionales de la presentación Power Point Resumen de la Sesión N° 1, para uso exclusivo por los alumnos del Grupo Experimental.

8. En la última parte de la sesión se planteó el problema (fase de Aplicación/Transferencia de la metodología) de traslado del observador a otro origen, con inversión del eje del sistema de referencia. Se apoyó la explicación general con un diagrama en la pizarra, y se demostró el uso de la herramienta Calcular de Data Studio para resolver el problema aprovechando los datos disponibles del experimento. Luego de estas explicaciones, los grupos resolvieron sin mayores dificultades el problema con el software.
9. Se agregaron algunas diapositivas con las explicaciones del punto anterior a la presentación Power Point de Resumen de la Sesión N° 1. El archivo final se envió por e-mail a todos los alumnos como material de repaso complementario.

SESION N° 3: VIERNES 24 DE NOVIEMBRE DE 2006.

1. En esta sesión se trabajó con el segundo experimento programado, comenzando por el movimiento horizontal uniformemente acelerado de un carrito sobre un riel de aluminio, bajo la acción de la fuerza de tracción constante proporcionada por una pesa atada a un hilo, colgando bajo una polea ubicada en un extremo del riel (se despreció el efecto del roce). Se advirtió a los alumnos que deberían trabajar con la mayor autonomía posible, siguiendo la guía de laboratorio, usando la misma metodología y recursos tecnológicos de las sesiones anteriores, y tratando de optimizar el tiempo para alcanzar a completar todas las etapas de la metodología de modelamiento en la misma sesión.
2. El trabajo se realizó adecuadamente en general, aunque algunos alumnos todavía evidenciaron dificultades con la aceleración. Se les ayudó con la asociación entre la aceleración y la fuerza de tracción sobre el carrito, y comparando con el experimento anterior, donde actuaba en cambio una fuerza de roce.
3. Al menos dos grupos comenzaron a trabajar de inmediato con Data Studio, obteniendo los gráficos antes de discutir especulativamente las características del movimiento observado. Se les hizo ver la importancia de cumplir las etapas de observación, reflexión, formulación de hipótesis y discusión.
4. Algunos alumnos todavía mostraron dificultades para el trazado de los gráficos cualitativos, persistiendo dificultades como las observadas en la sesión anterior.
5. El trabajo con Modellus por el Grupo Experimental para comprobar las ecuaciones del modelo cinemático construidas a partir de los coeficientes entregados por Data Studio, resultó bastante expedito en general. En algunos casos se notaba falta de repaso de algunas herramientas del software. El tiempo alcanzó incluso para agregar los vectores posición y velocidad a la animación.
6. En la segunda parte de la sesión se desarrolló el experimento de la etapa Aplicación/Transferencia planteado en la guía. Se notó un manejo general más expedito, y se consiguieron más rápidamente las respuestas a las preguntas y los gráficos con Data Studio. Lo mismo se aplica al uso de Modellus, con animación, gráficos y vectores.
7. Los alumnos trabajaron a buen ritmo y se mostraron satisfechos con lo realizado. Se guardaron registros de fotos del trabajo y de archivos de algunos grupos.

8.08 ANEXO 07

GUIA DE USO DEL SOFTWARE “MODELLUS” VERSION 2.5

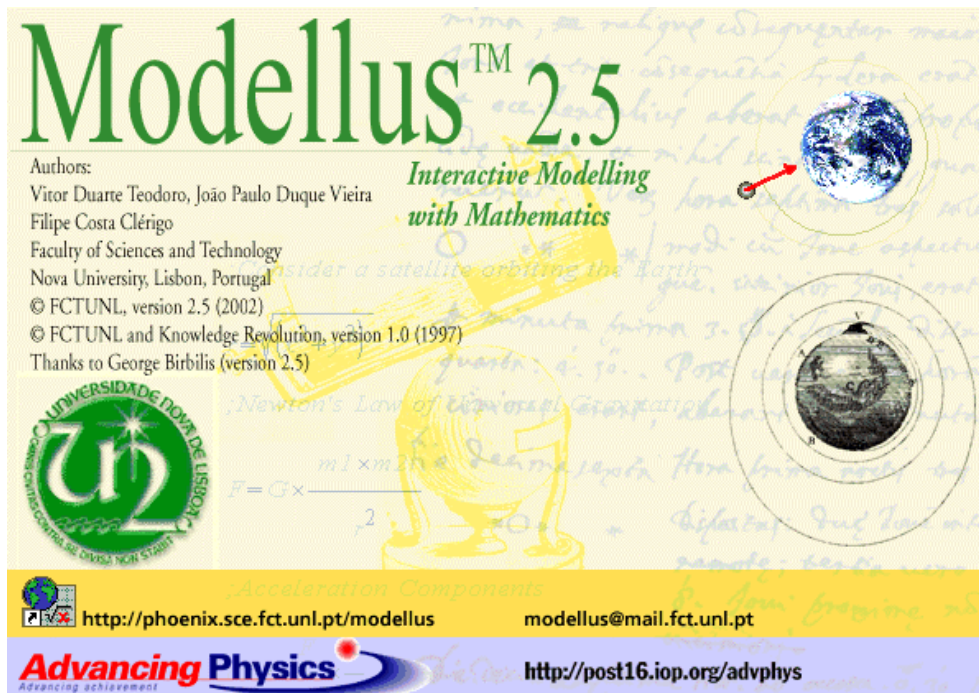
Autor de la Guía: Profesor Claudio Pérez Matzen

PRIMERA PARTE: LECTURA INTRODUCTORIA

1. ¿Qué es 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.

El software, así como el Manual del Usuario y abundante material de apoyo, pueden bajarse libremente del sitio web <http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus/> y todo el material se puede usar sin costo en ambientes educacionales sin finalidad comercial.



2. ¿Qué son los modelos?. ¿Qué es el modelamiento?. ¿Qué es simulación?

Los modelos en ciencias son representaciones simplificadas de sistemas naturales, donde se preservan los rasgos esenciales de un fenómeno o proceso para analizar sus principales características e identificar las variables más importantes que lo gobiernan.

La formulación o construcción de modelos, es decir, de cuerpos coherentes de ideas que pretenden describir procesos o comportamientos observados en el mundo de los fenómenos naturales, es una de las actividades más distintivas del quehacer de un científico. *El modelamiento se entiende entonces como la elaboración de representaciones de las ideas de un modelo.* Estas representaciones pueden adoptar distintas formas, algunas concretas como una maqueta o una construcción a escala, y otras - la mayoría de las veces - abstractas, como un conjunto de ecuaciones matemáticas. Aunque estas representaciones son esenciales para comunicar o difundir un modelo, ellas no se deben confundir con el modelo mismo.

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.

El modelamiento matemático es, en esta perspectiva, la construcción de una representación de las ideas o conceptos y procesos de un modelo en lenguaje matemático, y se constituye en una de las etapas básicas de todo proceso de simulación. La simulación, a su vez, se puede definir como la operación de la representación de un modelo, en el sentido de una experimentación orientada a formular predicciones y extraer conclusiones sobre el fenómeno representado.

Si bien los procesos de modelamiento y de simulación, ya sea en un contexto de investigación científica o en uno de enseñanza de ciencia, se pueden practicar en muchos casos sin recursos informáticos, no cabe duda de que los notables y acelerados avances en desarrollo de hardware y software computacional han contribuido a la revalorización del potencial educativo de dichas estrategias, tanto en el caso de la Física como en la enseñanza de las ciencias y la Matemática en general. Entre los factores que han influido en esta situación se pueden mencionar las crecientes capacidades de procesamiento numérico, de representación gráfica y de interacción con el usuario que ofrecen las computadoras, todo ello unido a la simplificación de la interfaz usuario-máquina y a la significativa reducción en los costos del hardware y software informático.

Pero se debe considerar también la gran oportunidad que el propio sistema educacional está ofreciendo desde hace algunos años a los profesores de ciencias y de Matemáticas, para poner a prueba la efectividad de los nuevos recursos tecnológicos de apoyo a la enseñanza en el contexto de la reforma, con su insistencia en la necesidad de propiciar el aprendizaje significativo y de otorgar mayor protagonismo a los alumnos en la construcción de sus conocimientos. Las estrategias de modelamiento y simulación, tremendamente potenciadas con el apoyo de la Informática, pueden jugar un importante papel en los nuevos escenarios educativos, tanto como facilitadoras de la enseñanza del profesor como estimuladoras del aprendizaje significativo de los alumnos.

3. ¿Cómo se enfrenta el modelamiento con el software Modellus?

Muchos modelos en ciencias básicas se refieren a *sistemas dinámicos*, en los cuales se establecen relaciones matemáticas entre ciertas variables claves y el tiempo, el cual se considera como variable independiente.

Como se explica más adelante, en Modellus se puede recurrir a diferentes formas de representación matemática para el modelamiento de un fenómeno:

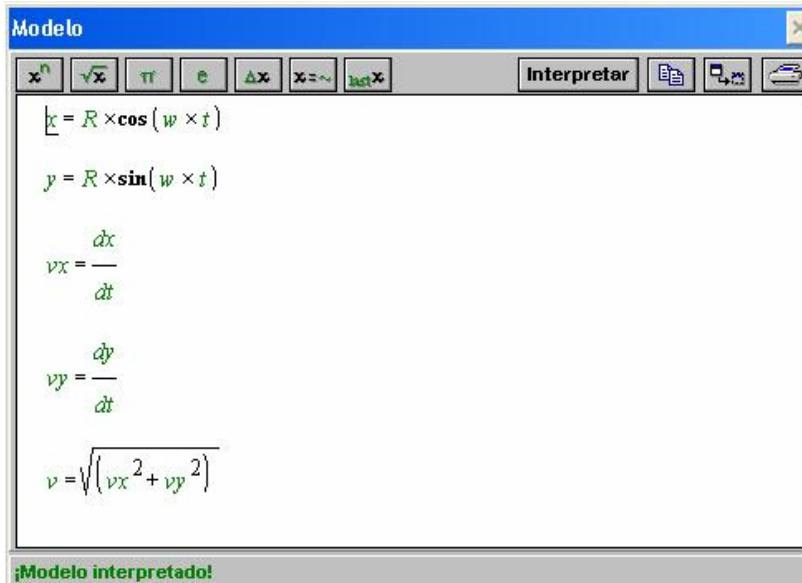
- Mediante una función
- Mediante una ecuación diferencial
- Mediante un gráfico de la función
- Mediante una representación analógica con movimiento (o sea, una animación)

La disponibilidad de representaciones alternativas de la información es un atributo muy apreciado de Modellus, ya que está de acuerdo con una de las prescripciones de las teorías sobre aprendizaje significativo, particularmente en relación con el manejo de abstracciones por sujetos con diferentes capacidades.

El software Modellus permite realizar *experimentos conceptuales*, usando modelos matemáticos expresados como funciones, como ecuaciones diferenciales o como otras formas de representación (tales como razones de cambio y ecuaciones de diferencias).

Este software emplea una *metáfora de no-programación*, ya que el usuario puede escribir las ecuaciones del modelo tal como lo haría sobre un papel, sin tener que recurrir a un lenguaje de programación.

4. ¿Cuál es la ventana básica de Modellus?



Al lado se muestra la **ventana Modelo** del software, en la que se pueden ver, en primer lugar las dos funciones que representan la trayectoria de un movimiento circunferencial uniforme en el plano xy, las que se han digitado mediante el teclado (para la multiplicación se usa el asterisco *). También se muestran las dos ecuaciones que definen las componentes del vector velocidad del móvil, y por último la ecuación del módulo de la velocidad, calculado a partir de los valores de las componentes. En estas ecuaciones R es el radio de la trayectoria, w es la velocidad angular (o sea, el ángulo descrito

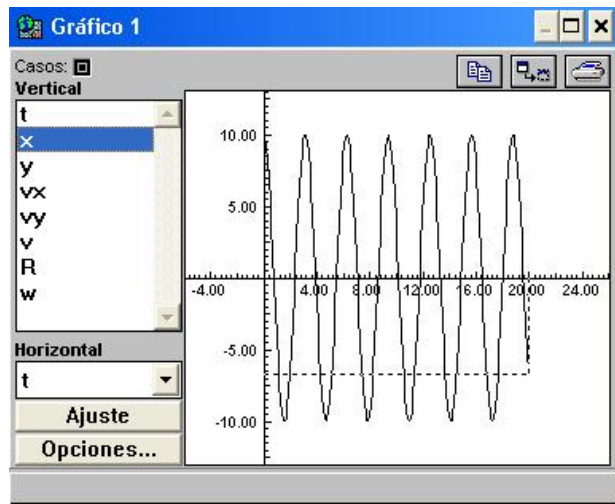
por unidad de tiempo en rad/s) y t es el tiempo transcurrido desde el inicio. Al hacer clic con el mouse en el botón virtual **Interpretar**, Modellus interpreta las ecuaciones en forma completamente transparente para el usuario.

5. ¿Cuáles se visualizan las formas de representación del fenómeno a modelar mediante Modellus?

Tal como se señaló antes, Modellus permite usar 3 formas de representación del fenómeno en estudio, pudiendo el usuario optar por la que estime más conveniente, e incluso todas ellas en conjunto si así lo desea:

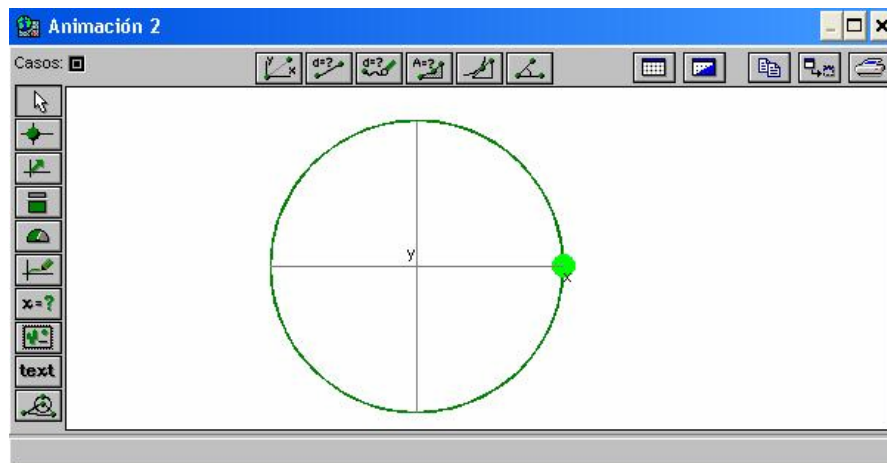
a) **representación analítica**, mediante la introducción de funciones o ecuaciones, como en el caso descrito anteriormente (ventana Modelo). Por ejemplo, $x=R*\cos(w*t)$

b) **representación gráfica**, mediante uno o más gráficos en el plano de la pantalla, que muestran cómo varía una variable en función de otra. Para el ejemplo anterior sería como se ve al lado... (con $R=10$ y $w=2$).



c) **representación analógica**, con apoyo de imágenes de elementos que se comportan en la pantalla como lo harían los objetos reales a que se refiere el modelo. Por ejemplo, se podría mostrar una bolita que se mueve con movimiento circunferencial uniforme en el plano xy , partiendo del punto ubicado en $X=10$ m, $y=0$ m y con velocidad angular constante en sentido antihorario, $w=2$ rad/s. Se trata, en este caso, de una **animación** del fenómeno.

Abajo se muestra una ventana de dicha animación, correspondiente a una vista instantánea del movimiento de una bolita, regido por las ecuaciones paramétricas introducida en la ventana Modelo:

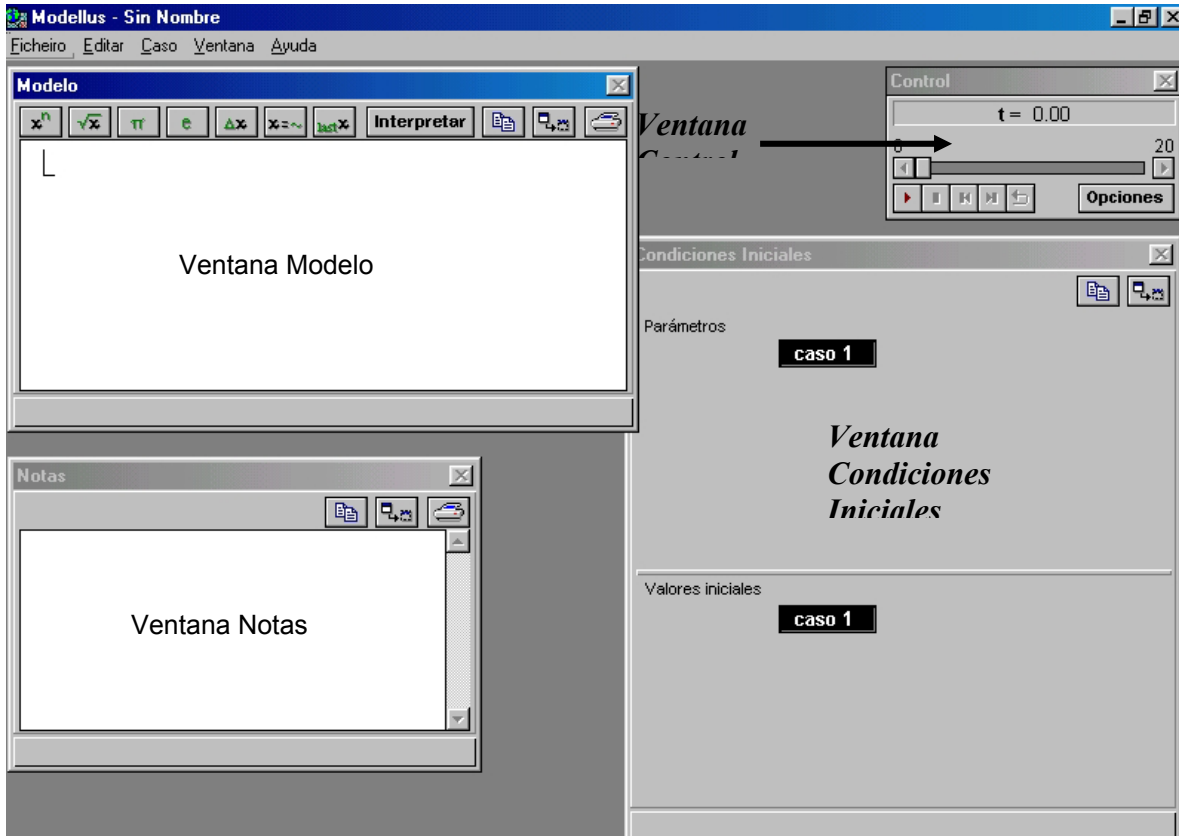


SEGUNDA PARTE: TRABAJO PRACTICO CON “MODELLUS”

- SI TODAVÍA NO HA LANZADO EL PROGRAMA, HÁGALO DESDE INICIO, PROGRAMAS, MODELLUS 2.5 SP.

6. ¿Cuáles son las herramientas básicas de Modellus?

Al activar el programa, se presentan las siguientes ventanas de trabajo:



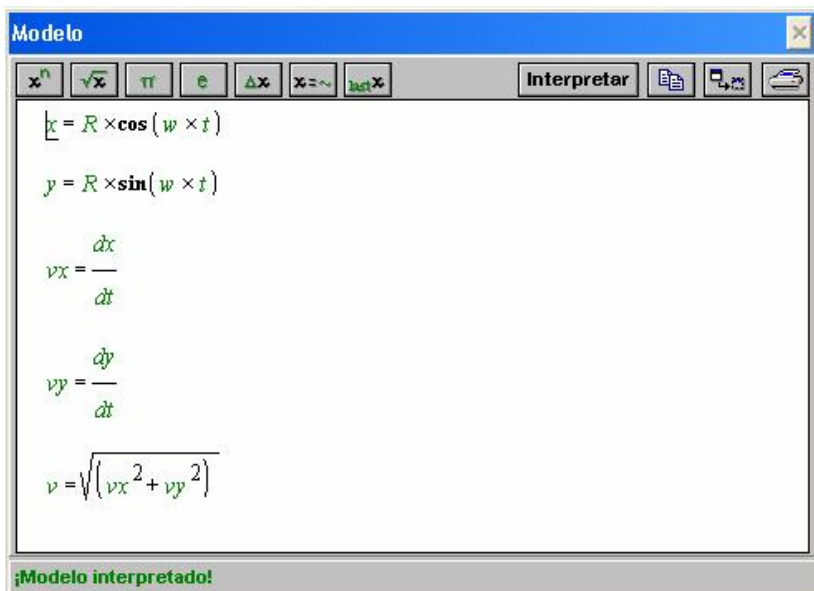
En cada una de las distintas ventanas del entorno gráfico de Modellus se cuenta con un conjunto de herramientas de fácil manejo de cada una de las formas de representación del fenómeno ya nombradas. A continuación se describen las principales de ellas, suficientes para la mayoría de las aplicaciones iniciales. Para detalles sobre las demás herramientas se puede consultar el Manual del Usuario del software.

- Ventana Modelo
- Ventana Condiciones Iniciales
- Ventana Control
- Ventana Gráfico
- Ventana Tabla
- Ventana Animación

A continuación se presentará un descriptor de cada una de estas ventanas y sus herramientas básicas.

A. Ventana Modelo:

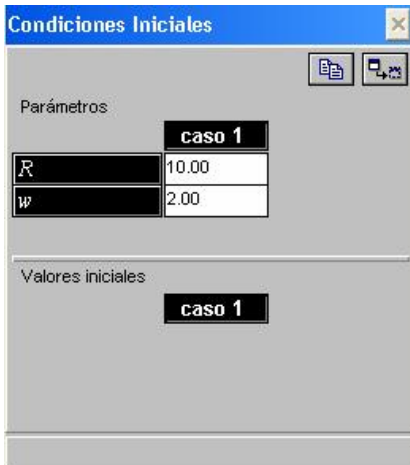
- ✓ Las funciones o ecuaciones del modelo se escriben en esta ventana en forma directa, usando * para multiplicaciones y / para cuocientes (también para derivadas). El símbolo para decimales es el punto.
- ✓ Notar que hay botones para anotar potencias y raíces de una variable, y para introducir los números irracionales e y pi.
- ✓ También hay un botón para copiar el contenido de la ventana al portapapeles del escritorio de Windows, lo que es muy útil para exportar las funciones o ecuaciones a un documento de texto, a una hoja de cálculo o a una presentación multimedia.
- ✓ Los otros botones de esta ventana no se emplearán por el momento.
- ✓ Si el modelo incluye varias funciones o ecuaciones, ellas se escriben en líneas separadas, usando la tecla Enter (Return) para pasar de una línea a la siguiente.
- ✓ Al terminar de introducir todas las funciones o ecuaciones del modelo, hacer clic en el botón **Interpretar** para que Modellus las incorpore a sus posibilidades de trabajo.



ACTIVIDAD 1:

En la ventana Modelo, introducir las ecuaciones que se indican en la imagen anterior; después hacer clic en el botón **Interpretar**.

B. **Ventana Condiciones Iniciales :**



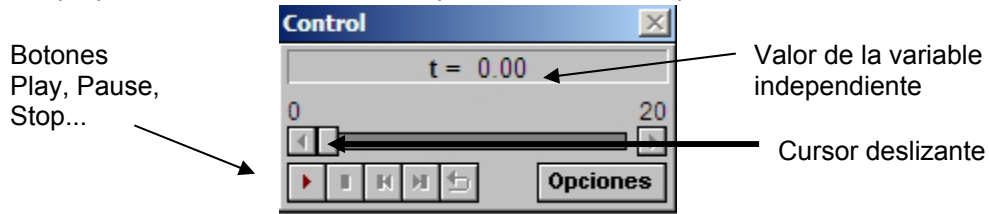
- ✓ Aquí se deben introducir los valores de los parámetros del modelo, y de los valores iniciales de las variables, cuando corresponda (cuando se han introducido ecuaciones diferenciales en la ventana Modelo). A la izquierda se muestran los valores de los parámetros R y w del ejemplo anterior.

ACTIVIDAD 2:

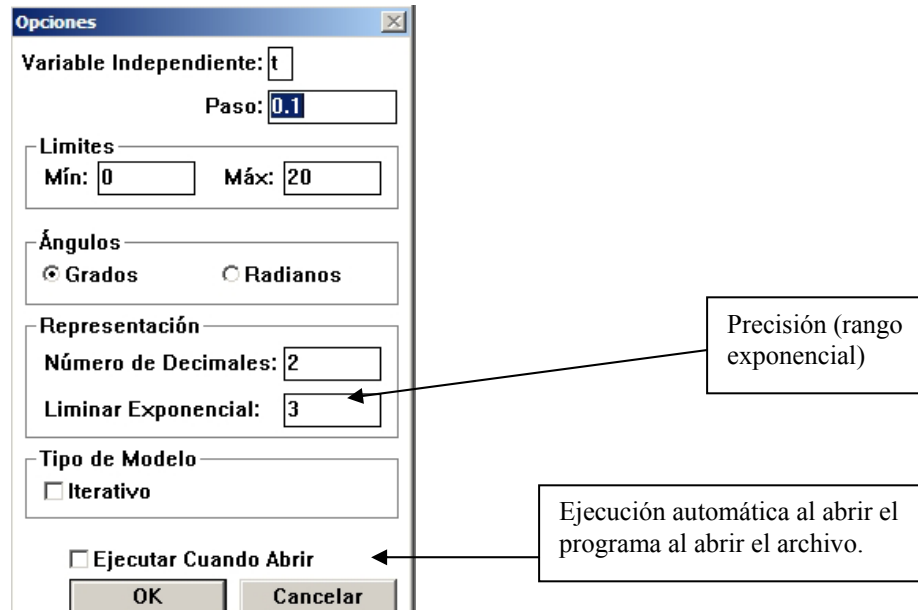
En la ventana **Condiciones, Iniciales**, introducir los valores que se indican para los parámetros R y w. En este caso no se requiere especificar valores iniciales de las variables.

C. **Ventana Control:**

- ✓ Es una pequeña ventana con controles para la variable independiente del modelo.



- ✓ La ventana **Control** muestra el comportamiento de la variable independiente (por lo general, el tiempo t), y permite manejar procesos tales como la generación de tablas de valores, la construcción de gráficos de funciones y el desarrollo de las animaciones creadas por el usuario.
- ✓ En esta ventana, al pulsar el botón **Opciones**, se muestran los valores que por defecto asume Modellus para representar el fenómeno en estudio (por ejemplo, variación de t entre 0 y 20 unidades de tiempo compatibles con las ecuaciones de la ventana Modelo, en este caso, segundos).

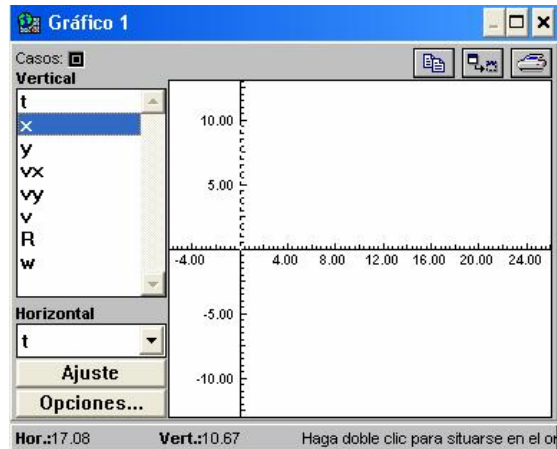


- ✓ El botón **Opciones** permite especificar la variable independiente (que puede ser lineal o angular), establecer sus límites inferior (mínimo) y superior (máximo), así como el paso entre valores sucesivos de dicha variable, el tipo de unidades angulares (cuando corresponda), la cantidad de decimales y precisión de la variable, e indicar al software si se trata de un modelo iterativo (cuando se usan ecuaciones de diferencias).
- ✓ La botonera inferior de la ventana **Control** contiene los comandos para activar el modelo (**Play**), para detenerlo en algún instante intermedio (**Pause**), para pararlo (**Stop**), volver al inicio y repetir.
- ✓ El cursor deslizable se puede trasladar con el mouse, habitualmente después de una pausa o tras terminar la ejecución del modelo, para observar paso a paso las variaciones en gráficos, tablas o animaciones.

D. Ventana Gráfico:

- ✓ Como se indicó anteriormente, Modellus puede proporcionar una representación gráfica de la situación en estudio. Ello se consigue mediante hasta 3 ventanas Gráfico, a las que se accede desde el menú **Ventana**, opción **Nuevo Gráfico**.

- ✓ Al hacer clic en **Nuevo Gráfico** del menú **Ventana**, se presenta una ventana en cuyo sector izquierdo se puede seleccionar con un clic del mouse la variable dependiente (en el eje vertical) y la independiente (en el eje horizontal).
- ✓ A veces interesa mostrar en una misma ventana de gráficos las representaciones gráficas de 2 o más de las funciones de la ventana Modelo. Para eso basta mantener pulsada la tecla Control del teclado de la computadora mientras se selecciona con el mouse cada una de las variables dependientes (en el eje vertical) de las funciones que se quiere visualizar.



ACTIVIDAD 3: En ventana **Control**, hacer clic en **Opciones** y marcar **Radianes** para los **Angulos**.

Abir Una ventana de gráficos y seleccionar la variable x en el eje vertical y t en el horizontal. Hacer clic en el botón **Play** de la ventana **Control**. Al obtenerse el gráfico de la función $x=x(t)$, hacer clic en **Ajuste** para que las escalas del gráfico se ajusten automáticamente al área disponible. Después abrir una nueva ventana gráfica (sin cerrar la anterior) desde el menú **Ventana**. Obtener un gráfico de y en función de t.

E. Ventana Tabla:

- ✓ A veces es conveniente obtener con Modellus una tabla de valores de la(s) variable(s) dependiente(s) en función del tiempo (o de la variable independiente de que se trate).
- ✓ Por ejemplo, puede ser necesario obtener dicha tabla para luego exportar los datos a MS Excel (o a otro programa de procesamiento numérico) para un tratamiento estadístico más acabado. Esto se hace mediante el botón Copiar de la ventana Tabla, que copia el contenido al portapapeles del escritorio.

	t	x	y
t			
x	0.00	10.00	0.00
y	0.10	9.80	1.99
vx	0.20	9.21	3.89
vy	0.30	8.25	5.65
v	0.40	6.97	7.17
R	0.50	5.40	8.41
w	0.60	3.62	9.32
	0.70	1.70	9.85
	0.80	-0.29	10.00
	0.90	-2.27	9.74
	1.00	-4.16	9.09
	1.10	-5.89	8.08
	1.20	-7.37	6.75

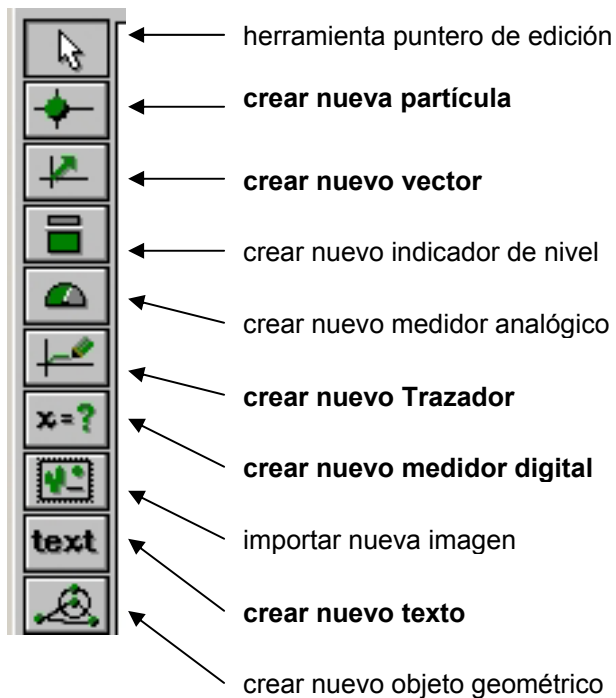
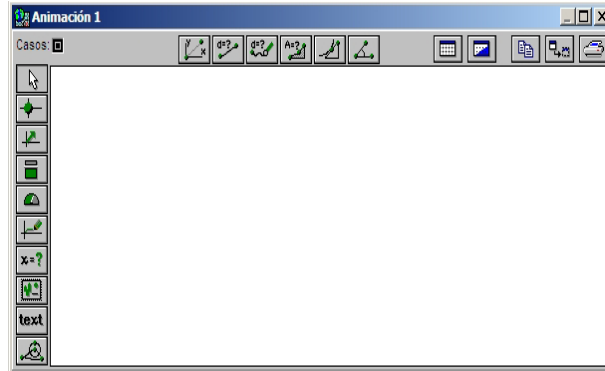
- ✓ Para obtener una tabla se debe seleccionar la opción **Nueva Tabla** del menú **Ventana**, y seleccionar con el mouse en el sector izquierdo de la ventana las variables que se desea presentar en la tabla. En la imagen anterior se muestra el resultado cuando se seleccionan las variables t, x e y con el método de la tecla Control del teclado, igual que en la ventana de Gráficos (puede ser necesario agrandar la ventana para ver todas las columnas de datos).

ACTIVIDAD 5:

Generar una tabla con los valores de las siguientes variables del modelo: t , x , y , v_x , v_y .

F. Ventana Animación:

- ✓ Una de las posibilidades más interesantes de Modellus es la de representación analógica, mediante animaciones.
- ✓ Para ello se debe seleccionar la opción **Nueva animación** del menú **Ventana**. Además de animaciones, en esta ventana se pueden mostrar gráficos, textos, elementos de control de variables y medidores.

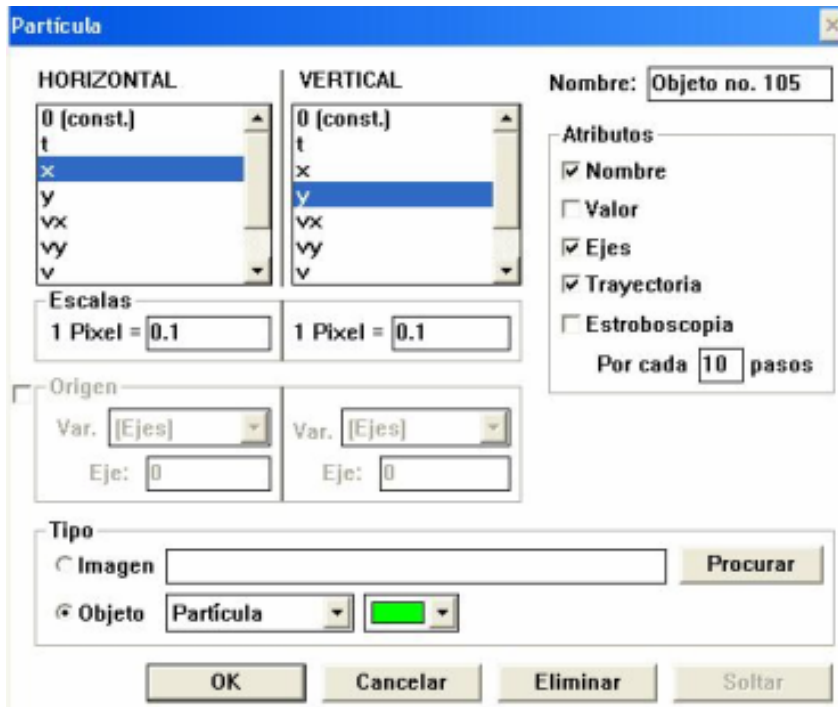


NOTA: Por ahora se emplearán solamente las herramientas gráficas cuyos nombres aparecen enfatizados (en negritas-cursivas).

ACTIVIDAD 6:

Abrir una ventana de animación.

- ✓ Haga clic en la herramienta gráfica **Crear Nueva Partícula**. Verá que el cursor se transforma en una cruz. Hacer clic en el área grande despejada, cerca de las herramientas gráficas. Se abrirá una ventana como la que se muestra a continuación:



- ✓ En el cuadro Horizontal elegir con el mouse la variable x.
- ✓ En el cuadro Vertical elegir y.
- ✓ En Escalas bajo los cuadros Horizontal y Vertical, hacer clic dentro del rectángulo 1 **Pixel=**, y cambiar el valor 1 por 0.1. Esto acomoda la animación a la escala del modelo.
- ✓ En Atributos, marcar la casilla a la izquierda de Trayectoria, para que se trace la trayectoria que seguirá la bolita en su movimiento.
- ✓ Al hacer clic en **Ok** se cierra esta ventana y al hacer clic

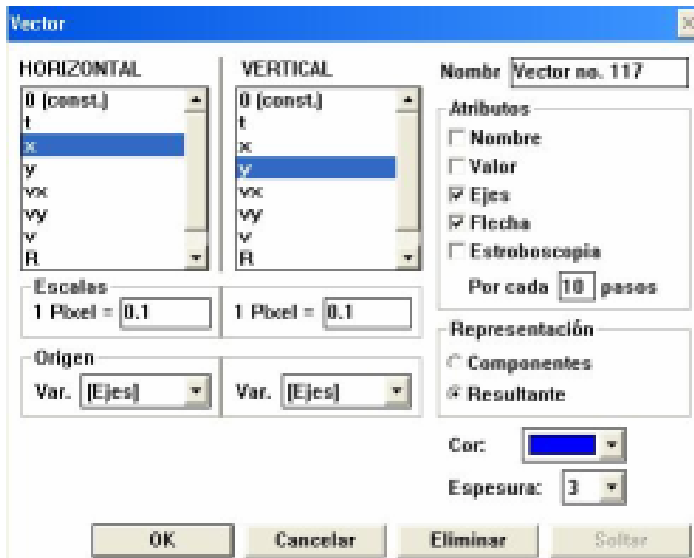
en **Play** de la ventana **Control** se verá la animación de la partícula con el movimiento circunferencial uniforme en el plano xy en sentido anti-horario, como se especificó en las ventanas Modelo y Condiciones Iniciales.

ACTIVIDAD 7:

- ✓ Después de observar la animación de la partícula en movimiento, poner el cursor sobre la partícula y hacer clic con el botón derecho del mouse, para volver a presentar el cuadro de diálogo que permite modificar las propiedades de la animación.
- ✓ Hacer clic en la casilla **Estroboscopia** del recuadro **Atributos** y cambiar el valor de la casilla **Por cada 10 pasos** por **5**.
- ✓ Después hacer clic en Ok para cerrar la ventana de diálogo y activar **Play** en la ventana **Control**.

¿Qué utilidad le puede prestar esta opción de *Estroboscopia* para la descripción del movimiento de la partícula?

ACTIVIDAD 8:

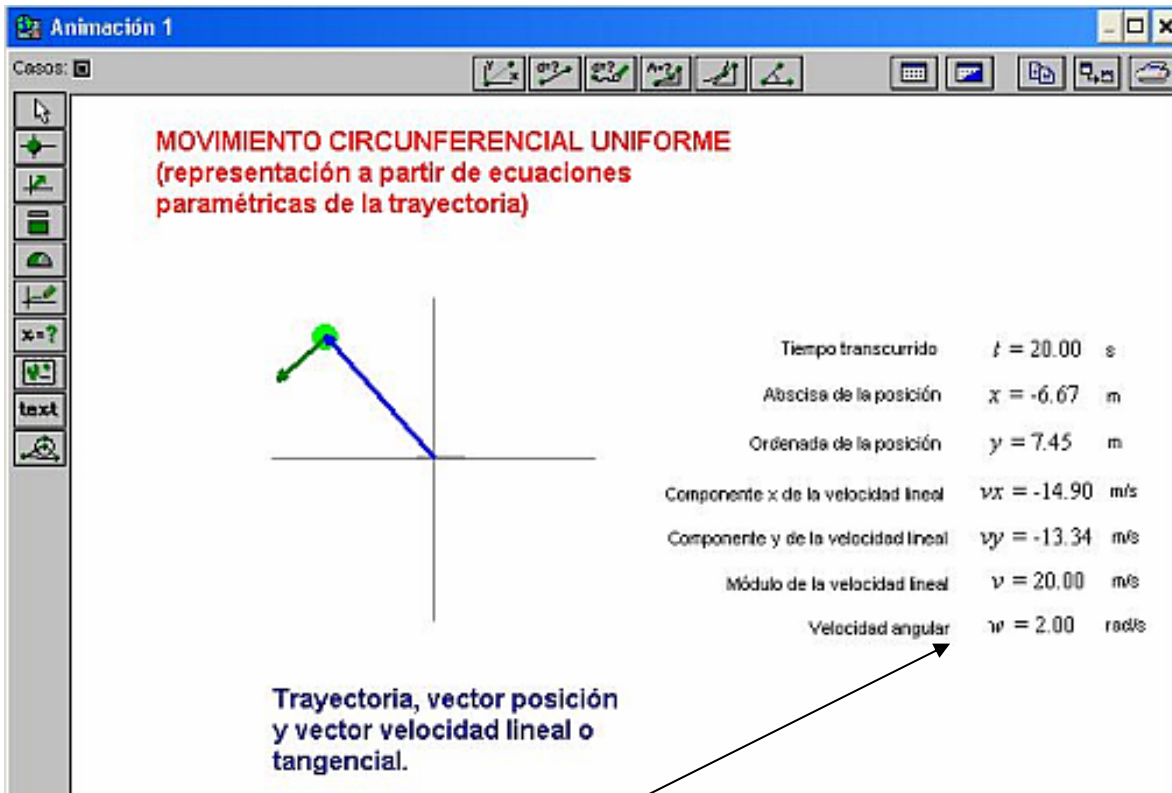


Atributos solamente marcar Ejes y Flecha.

- ✓ En la misma ventana de animación anterior, hacer Clic en la herramienta **Nuevo Vector**.
 - ✓ Luego llevar el cursor a cualquier punto del área de la animación y hacer clic. Se presentará una ventana de diálogo que permite especificar las características del nuevo vector que se desea agregar (ver al lado).
 - ✓ Hacer clic en la variable x del recuadro Horizontal, y en la variable y en el Vertical, ya que se desea agregar el vector posición (que tiene su origen o base en el origen de coordenadas y su extremo en el punto donde esté la partícula). En
- ✓ Cambiar las Escalas horizontal y vertical a 0.1 y seleccionar el color azul para el vector resultante, con Espesura 3. Después hacer clic en **OK**.
 - ✓ Se podrá ver el vector posición de color azul, pero en el lugar donde se puso el cursor al elegir la herramienta **Nuevo Vector**.
 - ✓ Proceder a arrastrar el vector hasta situarlo sobre el origen del sistema xy.
 - ✓ Soltar el botón izquierdo del mouse cuando el vector esté sobre el origen al ver aparecer un pequeño lazo. El sistema preguntará si se desea unir el vector a la partícula.
 - ✓ Responder **No**. Al hacer clic en **Play** de la ventana **Control** se podrá ver a la partícula moverse girando, mostrando el vector posición, con módulo constante pero con dirección y sentido variables (radialmente desde el origen hasta la partícula sobre la trayectoria).
 - ✓ Repetir los pasos anteriores para agregar ahora el vector velocidad lineal o tangencial v a la partícula. **ATENCIÓN:** En Escalas horizontal y vertical usar 0.5. Dar al vector color verde. Arrastrarlo sobre la partícula y responder **Sí** para unirlo a ella al moverse.

ACTIVIDAD 9:

- ✓ Usar la herramienta Texto de la ventana Animación para insertar los textos que se muestran en la imagen siguiente. Puede elegir fuentes, estilos, tamaños y colores de los textos desde la ventana de edición de textos. **ATENCIÓN:** Para los valores de las magnitudes físicas del listado de la derecha se usan *medidores digitales*, como se indica en la Actividad 10.



ACTIVIDAD 10:

- ✓ Usar la herramienta Medidores Digitales para que en la ventana Animación se presenten los valores de las magnitudes físicas que se indican en el listado de la parte derecha de la imagen anterior. Las unidades de medición se anotan con la herramienta de texto.

ACTIVIDAD 11:

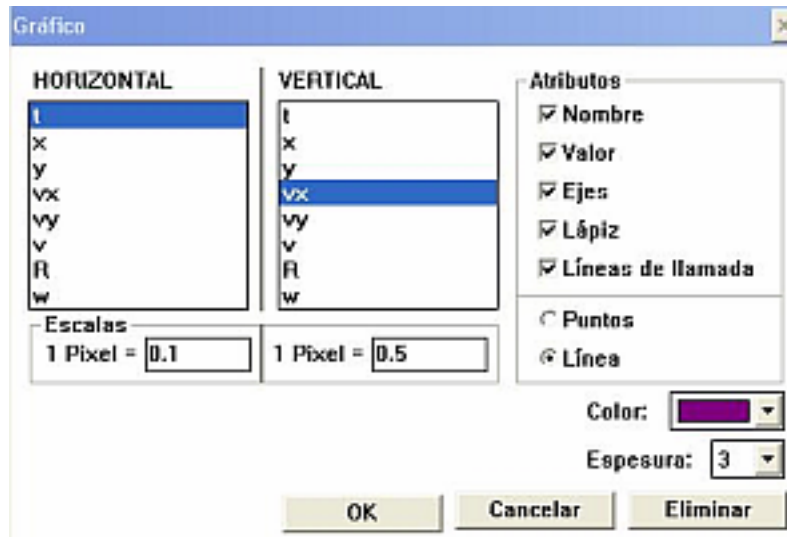
- ✓ En el menú **Caso** de Modellus, elegir la opción **Añadir** para agregar un nuevo caso al estudio de este movimiento, modificando el valor de uno o de ambos parámetros.

- ✓ Hacer clic en la opción **Condiciones Iniciales** del menú **Ventana** para ver la ventana de condiciones iniciales.
- ✓ Notar que habrá aparecido una nueva columna para los valores de los parámetros del nuevo caso. Allí, en las casillas del Caso 2, introducir los valores 10 para R y 4.00 para w.
- ✓ Hacer clic en la ventana de la animación (Animación 1) y sobre la pequeña casillita de más a la derecha bajo el título, junto a **Casos** (cerca del extremo superior izquierdo de la ventana de la animación).
- ✓ Poner en marcha la animación. ¿Observa lo que esperaba? Seleccione Gráfico 1 en el menú **Ventana** y haga clic en la casillita del caso 2.
- ✓

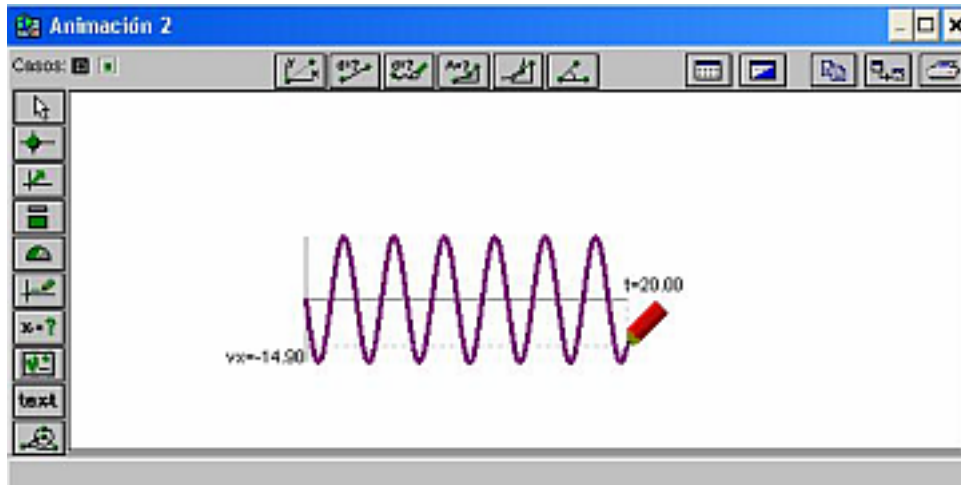


ACTIVIDAD 12

- ✓ Otra de las herramientas útiles de Modellus en su ventana Animación es el **Trazador**, que permite construir gráficos junto a las animaciones. Si bien son gráficos similares a los de la ventana Gráfico, los que se construyen con el Trazador pueden contener curvas en colores y grosores variados, sobre cualquiera de los fondos que permite elegir la ventana Animación. Para apreciar esta herramienta, desde el menú **Ventana** elegir **Nueva animación**.
- ✓ Tomar las decisiones necesarias en la ventana de diálogo para graficar vx en función de t, como se muestra en la imagen siguiente:



- ✓ Se podrá observar el trazador funcionando en cuanto se cierre la ventana anterior y se inicie la animación con Play:



- ✓ En la misma ventana, bajo el gráfico anterior, usar la herramienta Trazador para construir el gráfico de v_y versus t , con la misma escala del gráfico de v_x versus t en la horizontal y en la vertical.

EJERCICIO PARA AUTOEVALUACION DEL APRENDIZAJE

Aplicar lo aprendido sobre las herramientas de Modellus para construir gráficos x versus t e y versus t , una tabla que contenga t , x , y , v_x , v_y y una animación con vectores posición y velocidad lineal para el movimiento de un proyectil en un plano vertical xy , sin roce con el aire, únicamente bajo la acción de la fuerza de gravedad (peso del proyectil), sabiendo que las ecuaciones paramétricas de la trayectoria son:

$$x = v_o \cdot \cos(\theta) \cdot t$$

$$y = v_o \cdot \sin(\theta) \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

donde v_o es el módulo de la velocidad inicial, θ es el ángulo de inclinación del vector velocidad inicial con respecto a la horizontal (eje x) y g es el módulo de la aceleración de gravedad del lugar. A estas magnitudes se les puede dar los siguientes valores: $v_o=25$ m/s; $\theta=45^\circ$; $g=9.8$ m/s².

ATENCIÓN: Modellus no incluye tipografía griega. Usar A (o bien, Ang) para el ángulo θ .

Para las ecuaciones que definen las componentes y módulo de la velocidad, usar las mismas del ejemplo del movimiento circunferencial uniforme. En otra ventana de Animación, agregar gráficos de v_x y de v_y versus t con la herramienta Trazador.

Santiago, septiembre de 2006.-

8.09 ANEXO 08

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE MOVIMIENTOS RECTILÍNEOS CON EL METODO DEL MODELAMIENTO

Autor de la Guía: Profesor Claudio Pérez Matzen

PRIMERA PARTE

MOVIMIENTO RECTILÍNEO HORIZONTAL PROVOCADO POR UN IMPULSO

Se analizará en primer lugar el movimiento rectilíneo horizontal de un carrito al que se pone en marcha mediante un golpe seco denominado *impulso* (o fuerza impulsiva). Esta es una fuerza intensa pero cuya duración es brevísima (típicamente unas pocas milésimas de segundo), que sirve nada más que para proporcionar al cuerpo una velocidad inicial, pero que no acompaña al cuerpo en su movimiento tras la partida. Se empleará el software *Data Studio* para la adquisición de datos de posición, velocidad y aceleración, mediante un sensor ultrasónico de movimiento conectado a una interfase.

¿Para qué sirve Data Studio?

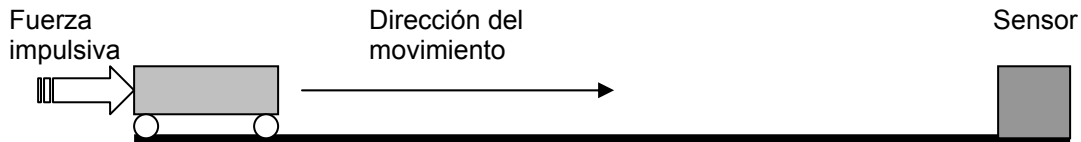
Data Studio es un software de la empresa norteamericana PASCO (<http://www.pasco.com>), cuya principal finalidad es facilitar la representación gráfica y el procesamiento matemático de datos experimentales en tiempo real. Para ello, el software recibe los datos capturados por sensores y transmitidos a la computadora por intermedio de una interface analógica o digital.



Existe una amplia gama de sensores, para capturar datos de movimientos de traslación o de rotación (posición, velocidad, aceleración), de temperatura, de presión, de intensidad o de potencial eléctrico, de intensidad luminosa o sonora, y muchos más. La fotografía muestra, a modo de ejemplo, el montaje experimental para el estudio de las oscilaciones de un péndulo en un plano vertical.

INDICACIONES PARA EL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para evitar que el sensor capte el movimiento de la mano que entrega el impulso al carrito, se lo ubicará a cierta distancia sobre la línea del movimiento mirando hacia el carrito, como se indica en la figura siguiente:



PROPÓSITO DE LA ACTIVIDAD:

Desarrollar un **modelo cinemático** del movimiento del carrito, es decir, un conjunto de representaciones gráficas y de expresiones algebraicas que permitan describir cómo cambian la **posición**, la **velocidad** y la **aceleración** del carrito al transcurrir el tiempo, y calcular los valores de estas magnitudes físicas en cualquier instante $t > 0$, usando el **método de modelamiento** en la recolección y análisis de los datos experimentales.

Para caracterizar los cambios de posición, velocidad y aceleración en el tiempo, conviene observar con cuidado el movimiento del carrito tal como lo vería un observador ubicado en la posición en que se encuentra el sensor, para quien el sistema de referencia lo constituye su propia ubicación en el origen (punto cero) de un eje horizontal de coordenadas de posición, con sentido positivo desde ese punto hacia el punto de partida del carrito.

METODO EXPERIMENTAL

El primer paso del método de modelamiento consiste en describir en la forma más completa y detallada posible el movimiento, observando cuidadosamente la situación experimental desde que se pone en marcha el carrito hasta que se detiene cerca del sensor. Sin trabajar todavía con los elementos informáticos, poner en marcha el carrito mediante un golpe seco, pero cuidando que no choque con el sensor, es decir, con un impulso que permita al móvil detenerse antes de alcanzar la posición del sensor (al menos a unos 15 cm de distancia). Observar lo que sucede e intentar responder las preguntas siguientes (si se estima necesario, el experimento se puede repetir tantas veces como se desee):

1. Después del impulso inicial, el carrito ¿se está alejando o acercando con respecto al observador (recordar: el observador está en la posición del sensor)?

RESPUESTA: (justificar)

2. ¿Cuáles deben ser las variables dependientes e independientes en el experimento para lograr el propósito de esta actividad?

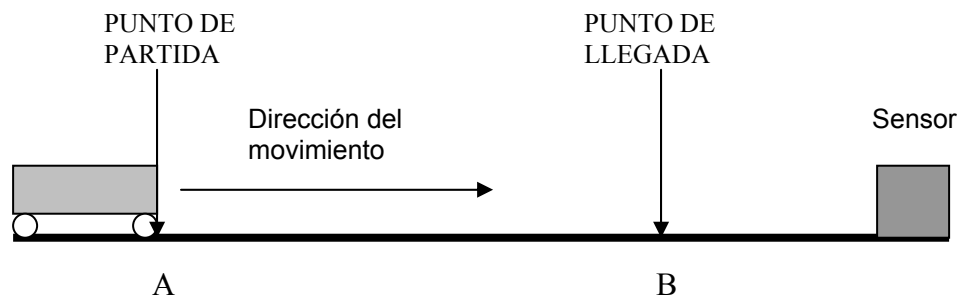
RESPUESTA:

Variable(s) independiente(s):

Variable(s) dependiente(s):

3. Representar en el diagrama siguiente los vectores posición inicial (para el punto en que se inicia el movimiento) y posición final (para el punto donde el carrito se detiene).

RESPUESTA:

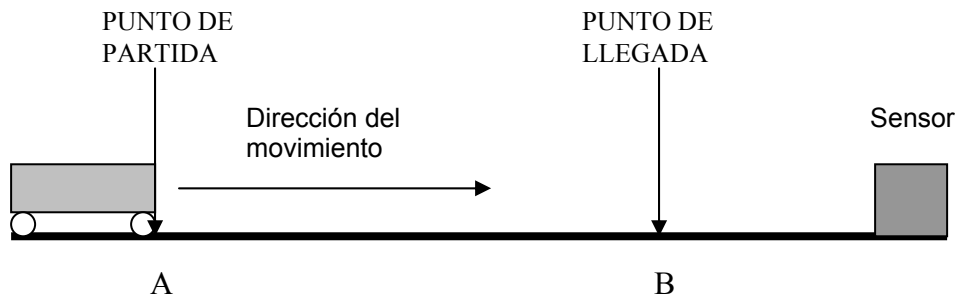


4. Al atender al movimiento del carrito, ¿se aleja o acerca respecto al observador siempre con la misma velocidad, o cada vez más rápidamente, o cada vez más lentamente?

RESPUESTA: (Justificar)

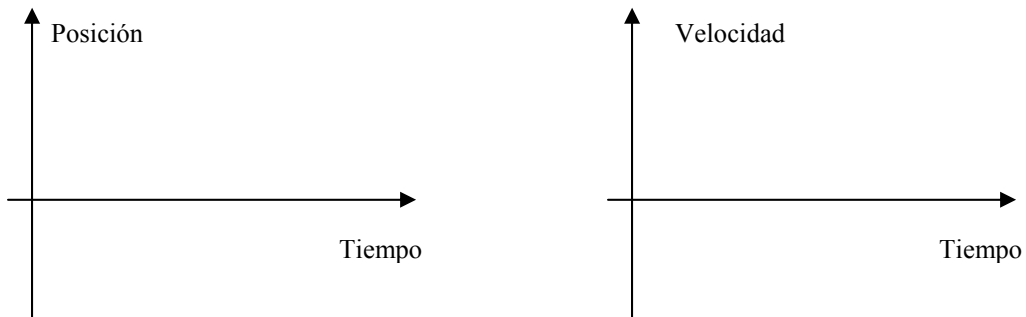
5. Representar en el diagrama siguiente los vectores velocidad inicial (en el punto en que se inicia el movimiento) y cuasi-final (en un punto ubicado un poco antes del punto de detención).

RESPUESTA:



6. ¿Qué aspecto aproximado tendría el gráfico posición versus tiempo? ¿y el gráfico velocidad versus tiempo? Hacer una representación gráfica aproximada (cualitativa) de cada función.

RESPUESTA:

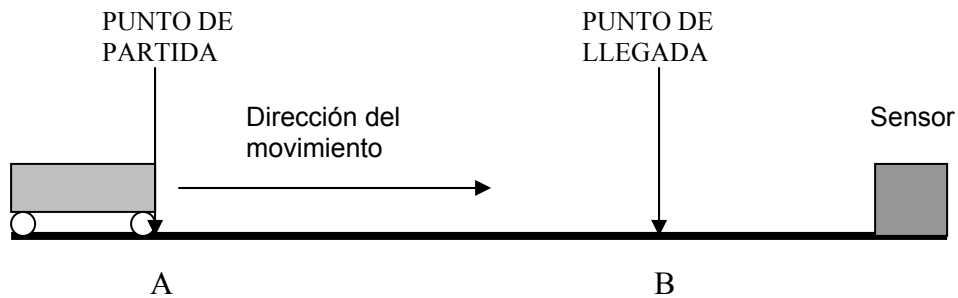


7. ¿qué se puede esperar para la aceleración del carrito en este experimento, en cuanto a módulo, dirección y sentido?

RESPUESTA:

- Módulo:
 - Dirección:
 - Sentido:
8. Representar en el diagrama siguiente los vectores aceleración correspondientes a los mismos dos instantes indicados en la pregunta 5.

RESPUESTA:



9. ¿A qué causa se podría atribuir la disminución de la velocidad del carrito hasta su detención? ¿existirá alguna relación entre dicha causa y la aceleración del carrito?

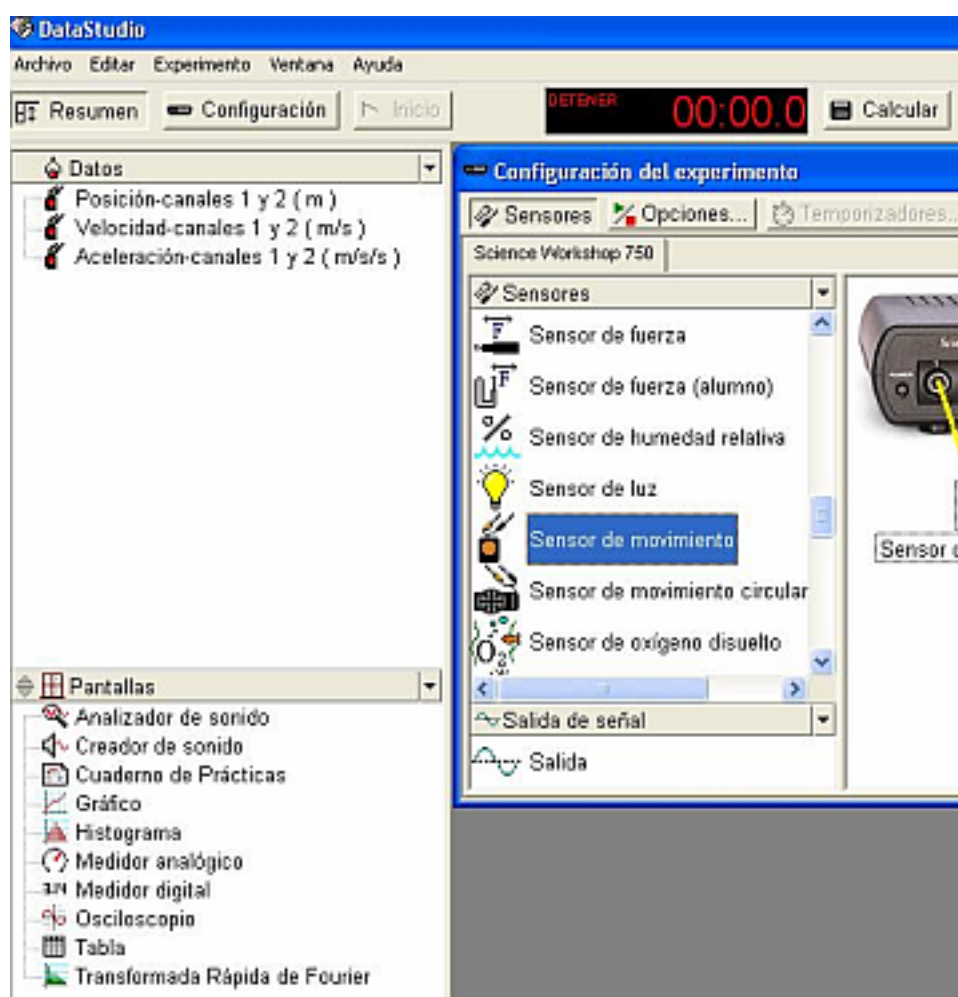
RESPUESTA:

10. Realizar ahora el experimento con ayuda del sensor, la interfaz y el software Data Studio para adquirir los datos de posición, velocidad y aceleración del carrito. Con el software obtener gráficos posición versus tiempo, velocidad versus tiempo y aceleración versus tiempo, siguiendo los pasos que se detallan a continuación.

- a) Disponer el equipamiento como se ha indicado en las figuras anteriores.
- b) Abrir el programa Data Studio en la computadora. En la ventana de bienvenida, ante la pregunta sobre cómo se desea usar Data Studio, elegir Crear experimento. Después elegir la interface SW750.
- c) En la ventana Configuración del Experimento se verá una imagen de la interface seleccionada, y en la columna de la izquierda una lista de sensores que se pueden conectar a ella. Seleccionar el sensor de movimiento y arrastrarlo hasta los canales 1 y 2 de la interface para conectarlo. Unir físicamente los cables del sensor a esos canales de la interface.



- d) La pantalla Configuración ya puede ser minimizada. Notar que en la parte izquierda Data Studio presenta, arriba la lista de datos que el sensor entregará, y abajo la lista de pantallas que se podrán desplegar con la información recogida (principalmente tablas y gráficos) o con cálculos realizados sobre los datos con el software (ver página siguiente).
- e) Hacer clic en el botón Inicio de Data Studio para poner en marcha el sensor, y aplicar el impulso al carrito para que se ponga en movimiento. Hacer clic en Detener para parar el registro justo al detenerse el carrito en su posición final. En la lista Datos, bajo los rótulos de posición, velocidad y aceleración, aparecerá el rótulo Ensayo 1 para identificar los datos de la primera medición realizada por el sensor. Si se recogen nuevos datos, estos aparecerán como Ensayo 2, Ensayo 3, etc. para cada variable medida por el sensor.



- f) Si se desea confeccionar automáticamente un gráfico de los datos de posición versus tiempo del Ensayo 1, basta arrastrar el rótulo Ensayo 1 desde Datos hasta el rótulo Gráfico en la parte baja (Pantallas). Se podrá ver el Gráfico 1.
- g) Si se desea confeccionar un gráfico de datos de velocidad versus tiempo del Ensayo 1, hay que arrastrar ese rótulo hasta el rótulo Gráfico. Se podrá ver el Gráfico 2. De forma análoga se puede generar el Gráfico 3 de datos de aceleración versus tiempo.
- h) También se pueden visualizar en una misma ventana los 3 gráficos anteriores, con una escala de tiempo común a los tres. Para ello, teniendo a la vista la ventana del Gráfico 1, arrastrar sobre ella el rótulo Ensayo 1 de datos de velocidad, y después arrastrar hacia la parte baja de la ventana el rótulo Ensayo 1 de datos de aceleración.
- i) En el laboratorio se explicará el uso de algunas otras herramientas de Data Studio. También se puede explorar la Ayuda del programa en busca de más información.
- j) Observando atentamente los 3 gráficos obtenidos con Data Studio, determinar entre qué valores del tiempo se puede afirmar que el movimiento del carrito es de aceleración constante, con una razonable aproximación.

RESPUESTA: (JUSTIFICAR)

11. Comparar los gráficos obtenidos con el software en el intervalo seleccionado en el paso anterior con los realizados en el paso 6. Comentar semejanzas y diferencias, según el caso. ¿Está el gráfico aceleración versus tiempo de acuerdo con lo respondido en los pasos 7 y 8? Explicar.

RESPUESTA:

12. En el gráfico posición-tiempo de Data Studio, seleccionar con el mouse la sección comprendida en el intervalo donde el movimiento se puede considerar con aceleración constante. Usar la herramienta *Ajustar*, y dentro de ella elegir *Ajuste Cuadrático* para obtener la parábola de aproximación a los datos experimentales y los coeficientes de la expresión algebraica que relaciona las variables posición y tiempo.

RESPUESTA: (Anotar los valores de los coeficientes entregados por data Studio para el ajuste cuadrático).

13. Escribir la expresión algebraica de la relación matemática existente entre la posición y el tiempo. Discutir sobre el posible significado físico que se puede atribuir a los coeficientes numéricos de la función.

RESPUESTA:

Expresión algebraica de la posición en función del tiempo:

Significado físico de los coeficientes (justificar):

14. Repetir con los gráficos velocidad-tiempo y aceleración-tiempo de Data Studio los pasos 12 y 13, pero usando *Ajuste Lineal*.

RESPUESTA:

Expresión algebraica de la velocidad en función del tiempo:

Significado físico de los coeficientes (justificar):

Con las respuestas anteriores se habrá construido un **modelo cinemático del movimiento rectilíneo con aceleración constante del carrito**, pudiéndose así dar por logrado el propósito de esta primera actividad de modelamiento.

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Cada grupo de trabajo deberá exponer sus resultados, exhibiendo los datos recogidos y los gráficos obtenidos con Data Studio: posición-tiempo, velocidad-tiempo y aceleración-tiempo. Se debe explicar claramente cómo se determinó el tramo donde el movimiento del carrito se asimila a un movimiento uniformemente acelerado (MUA), y cómo se obtuvieron las ecuaciones algebraicas del modelo cinemático.

APLICACIÓN – TRANSFERENCIA

- Discutir cómo se pueden obtener los gráficos posición-tiempo, velocidad-tiempo y aceleración-tiempo con los mismos datos experimentales disponibles, pero realizando las transformaciones algebraicas necesarias para que correspondan al modelo cinemático elaborado por un observador ubicado en el punto donde se inicia el movimiento del carrito y para el cual el eje de coordenadas es positivo hacia la derecha, o sea, en la dirección del movimiento. SUGERENCIA: Indagar acerca del uso de la herramienta Calculadora de Data Studio, para realizar transformaciones matemáticas sobre los datos experimentales ya disponibles, sin ser necesario tomar nuevos datos cambiando de ubicación el sensor.
- Cada grupo deberá estar preparado para realizar una breve presentación de su trabajo ante el profesor y los compañeros, explicando los procedimientos y el modelo cinemático elaborado para el movimiento en estudio.

8.10 ANEXO 09

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE MOVIMIENTOS RECTILÍNEOS CON EL METODO DEL MODELAMIENTO

Autor de la Guía: Profesor Claudio Pérez Matzen

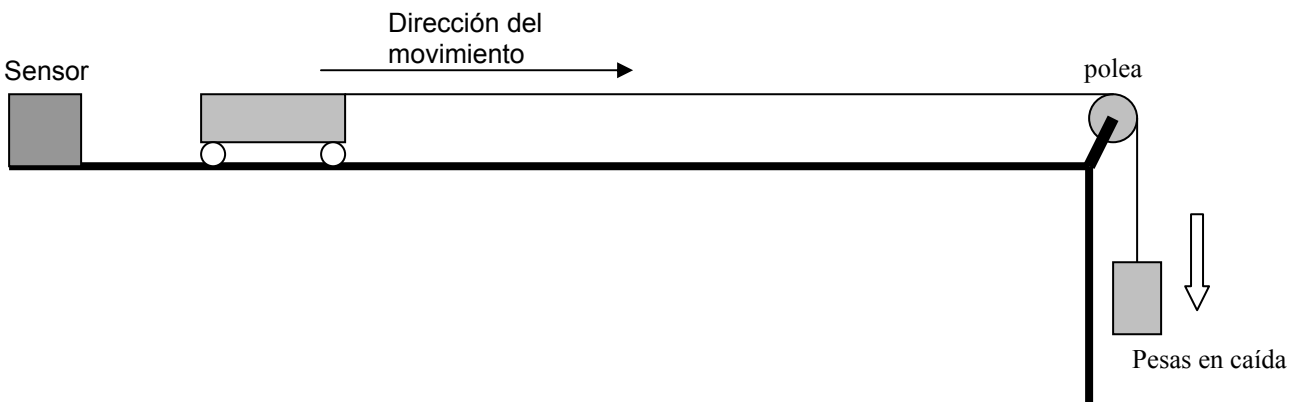
SEGUNDA PARTE

MOVIMIENTO RECTILÍNEO HORIZONTAL PROVOCADO POR UNA FUERZA CONSTANTE

Se analizará en esta oportunidad el 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. Se empleará nuevamente el software *Data Studio* para la adquisición de datos de posición, velocidad y aceleración, mediante un sensor ultrasónico de movimiento conectado a una interfase. Se deben seguir las mismas instrucciones de uso del equipamiento de la sesión anterior.

INDICACIONES PARA EL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El sensor se ubica a cierta distancia (mínimo a 15 cm) sobre la línea del movimiento mirando hacia el carrito, como se indica en la figura siguiente:



PROPÓSITO DE LA ACTIVIDAD:

Desarrollar un **modelo cinemático** del movimiento del carrito, es decir, un conjunto de representaciones gráficas y de expresiones algebraicas que permitan describir cómo cambian la **posición**, la **velocidad** y la **aceleración** del carrito al transcurrir el tiempo, y calcular los valores de estas magnitudes físicas en cualquier instante $t > 0$, usando el **método de modelamiento** en la recolección y análisis de los datos experimentales.

Para caracterizar los cambios de posición, velocidad y aceleración en el tiempo, conviene observar con cuidado el movimiento del carrito tal como lo vería un observador ubicado en la posición en que se encuentra el sensor, para quien el sistema de referencia lo constituye su propia ubicación en el origen (punto cero) de un eje horizontal de coordenadas de posición, con sentido positivo desde ese punto hacia el punto de partida del carrito.

METODO EXPERIMENTAL

El primer paso del método de modelamiento consiste en describir en la forma más completa y detallada posible el movimiento, observando cuidadosamente la situación experimental desde que se pone en marcha el carrito hasta que se lo detiene antes de que choque con la polea. Sin trabajar todavía con los elementos informáticos, poner en marcha el carrito dejando caer las pesas, pero cuidando que el móvil no choque con la polea. Observar lo que sucede e intentar responder las preguntas siguientes (si se estima necesario, el experimento se puede repetir tantas veces como se desee):

1. Después de soltar las pesas, el carrito ¿se está alejando o acercando con respecto al observador?

RESPUESTA: (justificar)

2. ¿Cuáles deben ser las variables dependientes e independientes en el experimento para lograr el propósito de esta actividad?

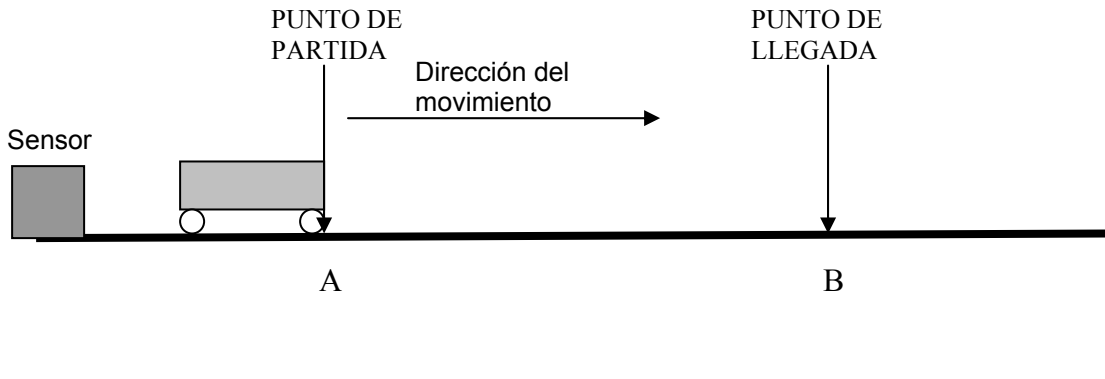
RESPUESTA:

Variable(s) independiente(s):

Variable(s) dependiente(s):

3. Representar en el diagrama siguiente los vectores posición inicial (para el punto en que se inicia el movimiento) y posición final (para el punto donde el carrito es detenido).

RESPUESTA:

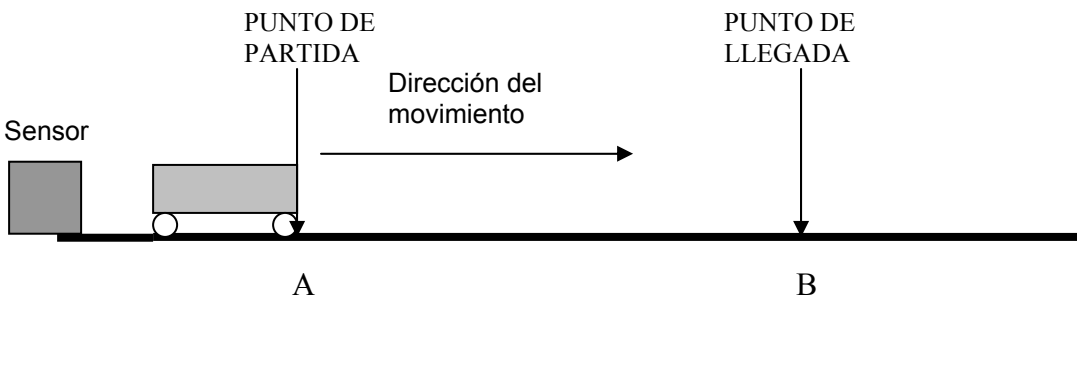


4. Al atender al movimiento del carrito, ¿se aleja o acerca respecto al observador siempre con la misma velocidad, o cada vez más rápidamente, o cada vez más lentamente?

RESPUESTA: (Justificar)

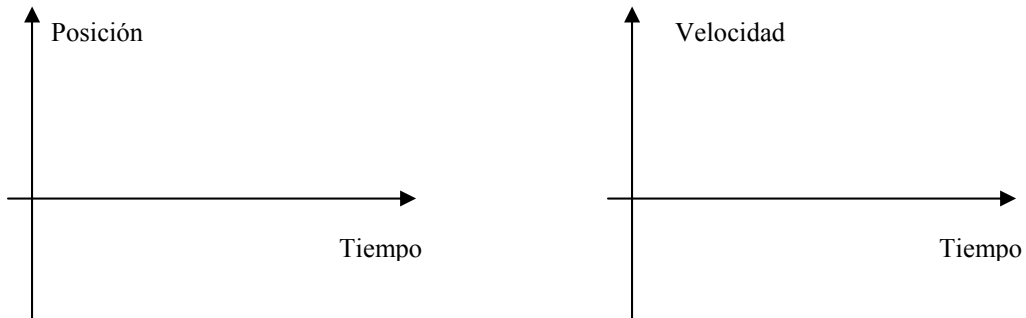
5. Representar en el diagrama siguiente los vectores velocidad inicial (en el punto en que se inicia el movimiento) y final (en el punto de detención).

RESPUESTA:



6. ¿Qué aspecto aproximado tendría el gráfico posición versus tiempo? ¿y el gráfico velocidad versus tiempo? Hacer una representación gráfica aproximada (cualitativa) de cada función.

RESPUESTA:



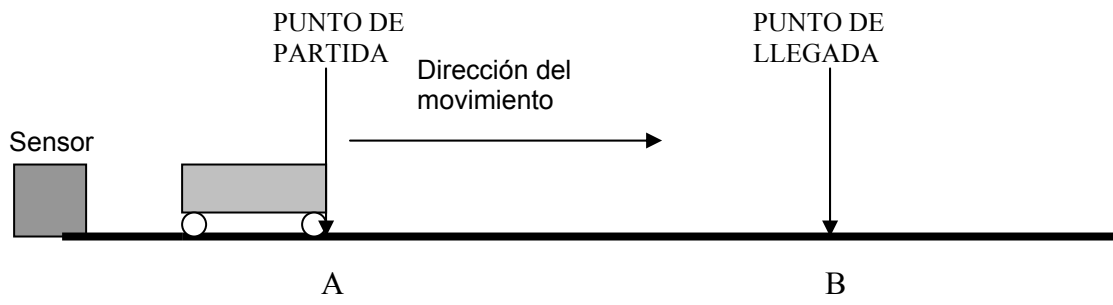
7. ¿qué se puede esperar para la aceleración del carrito en este experimento, en cuanto a módulo, dirección y sentido?

RESPUESTA:

- Módulo:
- Dirección:
- Sentido:

8. Representar en el diagrama siguiente los vectores aceleración correspondientes a los mismos dos instantes indicados en la pregunta 5.

RESPUESTA:



9. ¿A qué causa se podría atribuir la variación de la velocidad del carrito desde el punto de partida hasta su detención? ¿existirá alguna relación entre dicha causa y la aceleración del carrito?

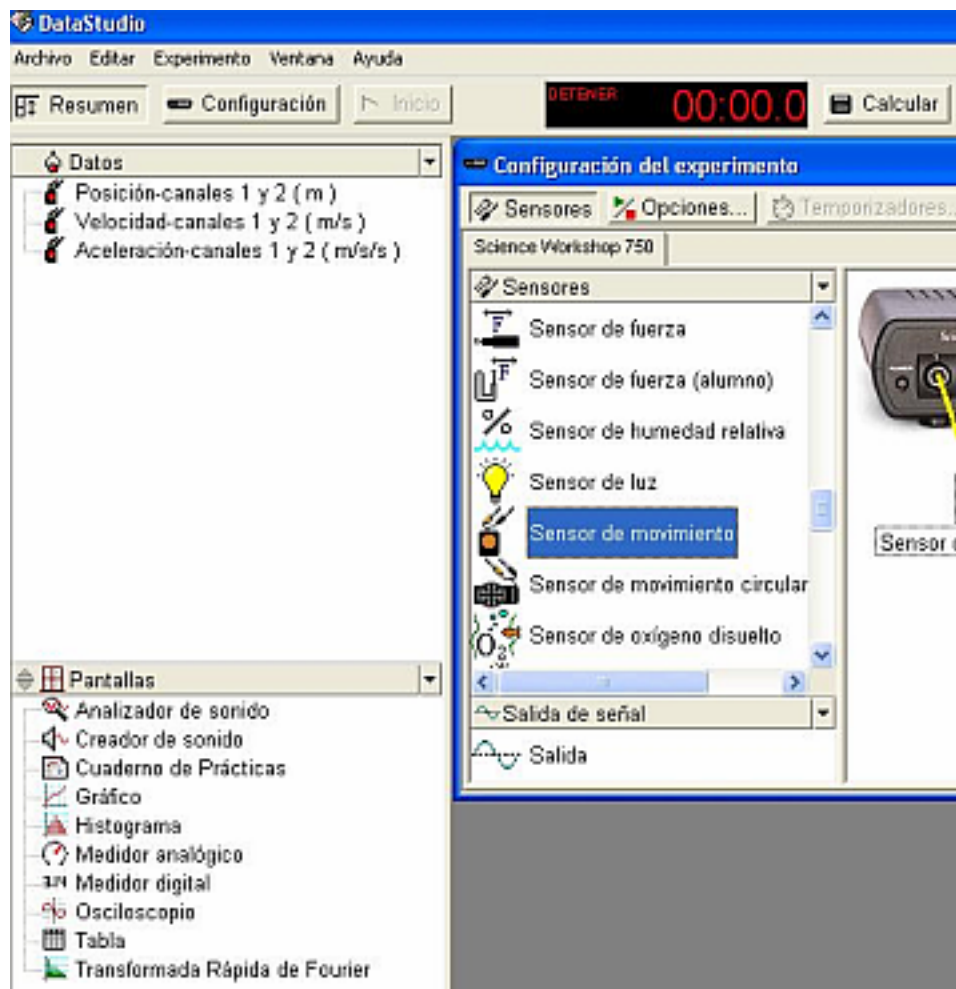
RESPUESTA:

10. Realizar ahora el experimento con ayuda del sensor, la interfaz y el software Data Studio para adquirir los datos de posición, velocidad y aceleración del carrito. Con el software obtener gráficos posición versus tiempo, velocidad versus tiempo y aceleración versus tiempo, siguiendo los pasos que se detallan a continuación.

- Disponer el equipamiento como se ha indicado en las figuras anteriores.
- Abrir el programa Data Studio en la computadora. En la ventana de bienvenida, ante la pregunta sobre cómo se desea usar Data Studio, elegir Crear experimento. Después elegir la interface SW750.
- En la ventana Configuración del Experimento se verá una imagen de la interface seleccionada, y en la columna de la izquierda una lista de sensores que se pueden conectar a ella. Seleccionar el sensor de movimiento y arrastrarlo hasta los canales 1 y 2 de la interface para conectarlo. Unir físicamente los cables del sensor a esos canales de la interface.



- d) La pantalla Configuración ya puede ser minimizada. Notar que en la parte izquierda Data Studio presenta, arriba la lista de datos que el sensor entregará, y abajo la lista de pantallas que se podrán desplegar con la información recogida (principalmente tablas y gráficos) o con cálculos realizados sobre los datos con el software (ver página siguiente).
- e) Hacer clic en el botón Inicio de Data Studio para poner en marcha el sensor, y aplicar el impulso al carrito para que se ponga en movimiento. Hacer clic en Detener para parar el registro justo al detenerse el carrito en su posición final. En la lista Datos, bajo los rótulos de posición, velocidad y aceleración, aparecerá el rótulo Ensayo 1 para identificar los datos de la primera medición realizada por el sensor. Si se recogen nuevos datos, estos aparecerán como Ensayo 2, Ensayo 3, etc. para cada variable medida por el sensor.



Si se desea confeccionar automáticamente un gráfico de los datos de posición versus tiempo del Ensayo 1, basta arrastrar el rótulo Ensayo 1 desde Datos hasta el rótulo Gráfico en la parte baja (Pantallas). Se podrá ver el Gráfico 1.

- f) Si se desea confeccionar un gráfico de datos de velocidad versus tiempo del Ensayo 1, hay que arrastrar ese rótulo hasta el rótulo Gráfico. Se podrá ver el Gráfico 2. De forma análoga se puede generar el Gráfico 3 de datos de aceleración versus tiempo.
- g) También se pueden visualizar en una misma ventana los 3 gráficos anteriores, con una escala de tiempo común a los tres. Para ello, teniendo a la vista la ventana del Gráfico 1, arrastrar sobre ella el rótulo Ensayo 1 de datos de velocidad, y después arrastrar hacia la parte baja de la ventana el rótulo Ensayo 1 de datos de aceleración.
- h) En el laboratorio se explicará el uso de algunas otras herramientas de Data Studio. También se puede explorar la Ayuda del programa en busca de más información.
- i) Observando atentamente los 3 gráficos obtenidos con Data Studio, determinar entre qué valores del tiempo se puede afirmar que el movimiento del carrito es de aceleración constante, con una razonable aproximación.

RESPUESTA: (JUSTIFICAR)

11. Comparar los gráficos obtenidos con el software en el intervalo seleccionado en el paso anterior con los realizados en el paso 6. Comentar semejanzas y diferencias, según el caso. ¿Está el gráfico aceleración versus tiempo de acuerdo con lo respondido en los pasos 7 y 8? Explicar.

RESPUESTA:

12. En el gráfico posición-tiempo de Data Studio, seleccionar con el mouse la sección comprendida en el intervalo donde el movimiento se puede considerar con aceleración constante. Usar la herramienta *Ajustar*, y dentro de ella elegir *Ajuste Cuadrático* para obtener la parábola de aproximación a los datos experimentales y los coeficientes de la expresión algebraica que relaciona las variables posición y tiempo.

RESPUESTA: (Anotar los valores de los coeficientes entregados por data Studio para el ajuste cuadrático).

13. Escribir la expresión algebraica de la relación matemática existente entre la posición y el tiempo. Discutir sobre el posible significado físico que se puede atribuir a los coeficientes numéricos de la función.

RESPUESTA:

Expresión algebraica de la posición en función del tiempo:

Significado físico de los coeficientes (justificar):

14. Repetir con los gráficos velocidad-tiempo y aceleración-tiempo de Data Studio los pasos 12 y 13, pero usando *Ajuste Lineal*.

RESPUESTA:

Expresión algebraica de la velocidad en función del tiempo:

Significado físico de los coeficientes (justificar):

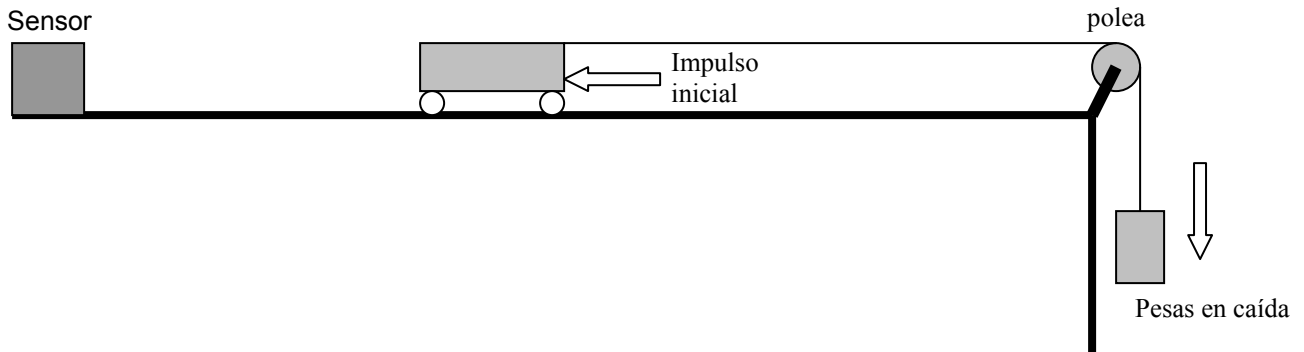
Con las respuestas anteriores se habrá construido un **modelo cinemático del movimiento rectilíneo con aceleración constante del carrito**, pudiéndose así dar por logrado el propósito de esta segunda actividad de modelamiento.

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Cada grupo de trabajo deberá exponer sus resultados, exhibiendo los datos recogidos y los gráficos obtenidos con Data Studio: posición-tiempo, velocidad-tiempo y aceleración-tiempo. Se debe explicar claramente cómo se determinó el tramo donde el movimiento del carrito se asimila a un movimiento uniformemente acelerado (MUA), y cómo se obtuvieron las ecuaciones algebraicas del modelo cinemático.

APLICACIÓN – TRANSFERENCIA

- Realizar el estudio de modelamiento cinemático para la siguiente variante del experimento anterior:
 - En forma simultánea, soltar las pesas que cuelgan del hilo bajo la polea y dar un impulso horizontal en sentido contrario (hacia la izquierda) al carrito, de manera de comunicarle una velocidad inicial hacia la izquierda. **ATENCIÓN:** Tomar las medidas para que el carrito se detenga tras el impulso en un punto situado a lo menos a 15 cm del sensor, evitando el choque entre ambos elementos.



- Responder cada una de las preguntas 1 a 14 del experimento anterior, agregando a esta guía las hojas necesarias.
- Cada grupo deberá estar preparado para realizar una breve presentación de su trabajo ante el profesor y los compañeros, explicando los procedimientos y el modelo cinemático elaborado para el movimiento en estudio.

8.11 **ANEXO 10**

RESUMEN
DE LA PRIMERA SESION EXPERIMENTAL EN EL COLEGIO SAINT GABRIEL'S
Autor de la Guía: Profesor Claudio Pérez Matzen

Investigación sobre el Método de Modelamiento
para Aprendizaje Significativo en Física

RESUMEN
DE LA PRIMERA SESION EXPERIMENTAL
EN EL COLEGIO SAINT GABRIEL'S



Propósito de la actividad



- Desarrollar un *modelo cinemático* del movimiento del carrito, es decir, un conjunto de representaciones gráficas y de expresiones algebraicas que permitan describir cómo cambian la *posición*, la *velocidad* y la *aceleración* del carrito al transcurrir el tiempo, y calcular los valores de estas magnitudes físicas en cualquier instante $t > 0$, usando el método de modelamiento en la recolección y análisis de los datos experimentales.
- “PRODUCTOS” A OBTENER:
 - Ecuación que permita calcular la posición x en cualquier instante t
 - Ecuación que permita calcular la velocidad v en cualquier instante t
- APRENDIZAJE CLAVE A OBTENER:
 - Capacidad de adaptar el modelo cinemático (“manejar” las 2 ecuaciones obtenidas) a cualquier otra situación experimental o teórica de movimientos del mismo tipo del analizado.

Ejemplos de ecuaciones de modelos sobre movimientos rectilíneos...

Posición $\longrightarrow x = 5.50 + 2.35 \cdot t + 0.24 \cdot t^2$

Velocidad $\longrightarrow v = 2.35 + 0.48 \cdot t$

Posición $\longrightarrow x = -12.68 + 4.65 \cdot t - 2.36 \cdot t^2$

Velocidad $\longrightarrow v = 4.65 - 4.72 \cdot t$

El tiempo t es la variable *independiente*.

La posición x y la velocidad v son las variables *dependientes*.



Importante tener presente que...

... A toda ecuación de un modelo le corresponde una representación gráfica, que puede dar una curva compleja, una curva sencilla o una recta...

Por ejemplo, a estas ecuaciones

$$x = 5.50 + 2.35 \cdot t + 0.24 \cdot t^2$$

$$v = 2.35 + 0.48 \cdot t$$

corresponden estas gráficas:

Gráfico posición v/s tiempo

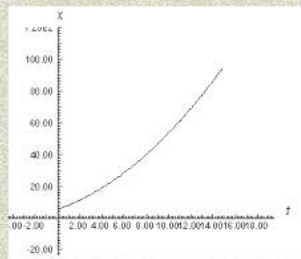
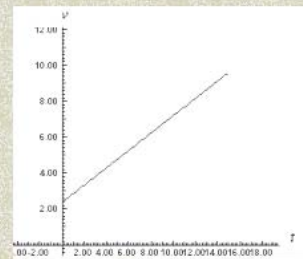


Gráfico velocidad v/s tiempo



Y por cierto, a toda gráfica le corresponde igualmente una representación algebraica por medio de una ecuación...

Por ejemplo, las gráficas siguientes

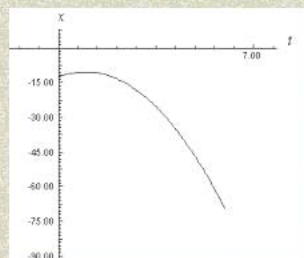


Gráfico posición v/s tiempo

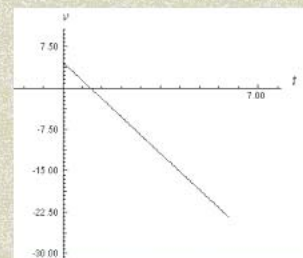


Gráfico velocidad v/s tiempo

corresponden, respectivamente, a las ecuaciones

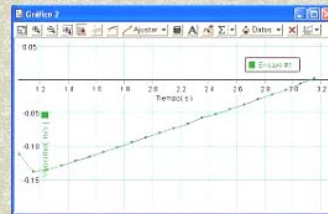
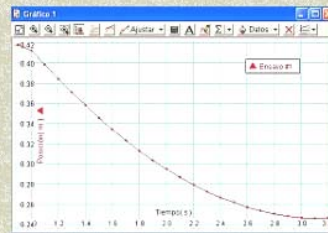
$$x = -12.68 + 4.65 \cdot t - 2.36 \cdot t^2$$

$$v = 4.65 - 4.72 \cdot t$$



¿Cuál era nuestra situación ante el movimiento del carrito?

- Teníamos gráficos
 - Posición – tiempo
 - Velocidad – tiempo
 - Aceleración – tiempo
 - CUALITATIVOS, como hipótesis (a partir de observaciones, reflexión y discusión)
 - CUANTITATIVOS, generados por "Data Studio" a partir de los datos registrados por el sensor
- PROBLEMA: ¿Cómo saber qué ecuaciones corresponden a esos gráficos?



Pistas para encontrar la ecuación general que corresponde a una curva experimental sencilla, con el tiempo t como variable independiente...



- La ecuación general de una recta es de la forma

$$\Rightarrow x = m \cdot t + n$$

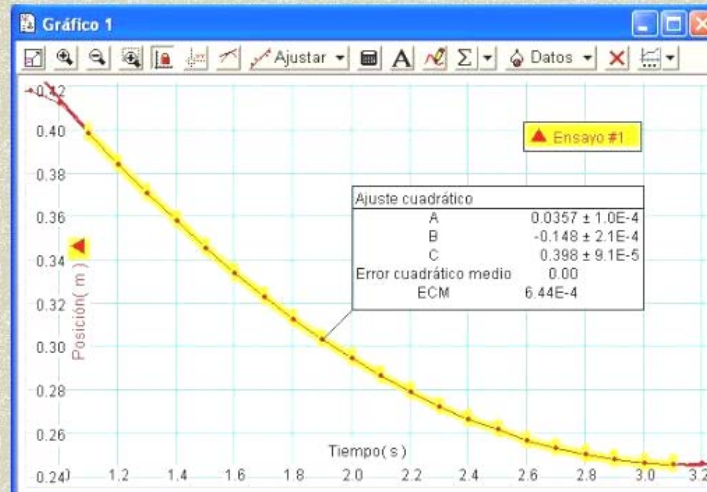


- La ecuación general de una curva posición versus tiempo, cuando la gráfica de la velocidad es una recta, es de la forma

$$\Rightarrow x = A \cdot t^2 + B \cdot t + C$$

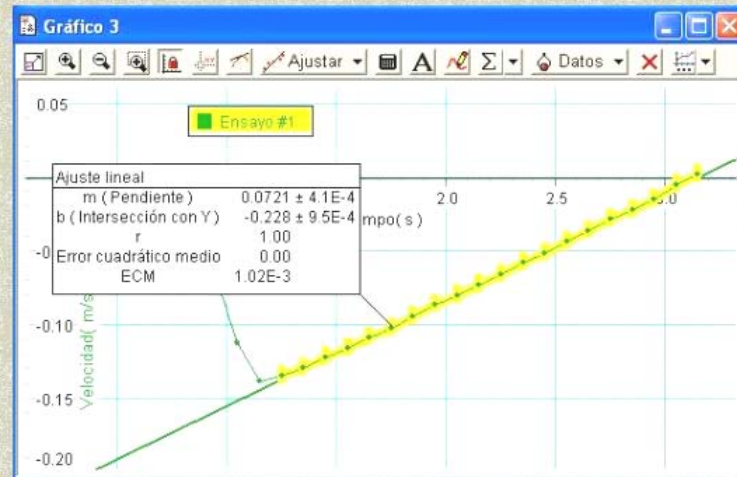
ATENCIÓN: La herramienta *Ajustar* de Data Studio, aplicada a una curva (o recta) en una gráfica, entrega los valores de las Magnitudes m , n , A , B y C para la curva (o recta) analizada.

Por ejemplo,



$A=0.0357 \quad B=-0.148 \quad C=0.398 \quad \Rightarrow \quad x = 0.0357 \cdot t^2 - 0.148 \cdot t + 0.398$

Para curvas de grado 2 en t como esta, se habla de **Ajuste Cuadrático**



$m=0.0721 \quad n=-0.228 \quad \Rightarrow \quad v = 0.0721 \cdot t - 0.228$

Para curvas de grado 1 en t como esta, se habla de **Ajuste Lineal**



Cálculos con las ecuaciones del modelo...

PROBLEMA:

- a) ¿cuál es la posición del carrito en el instante 2.3 s?
- b) ¿cuál es la velocidad del carrito en ese instante?

RESPUESTAS:

$$x = 0.0357 \cdot t^2 - 0.148 \cdot t + 0.398 = 0.0357 \cdot 2.3^2 - 0.148 \cdot 2.3 + 0.398 = 0.246$$

$$v = 0.0721 \cdot t - 0.228 = 0.0721 \cdot 2.3 - 0.228 = -0.062$$

Posición en metros (m)

Velocidad en metros/segundo (m/s)

El signo (-) indica que el móvil avanza hacia el observador (en sentido negativo).

El signo (+) indica que el móvil está todavía en el lado positivo del eje de coordenadas de posición.



Significado físico de los coeficientes de las ecuaciones del modelo

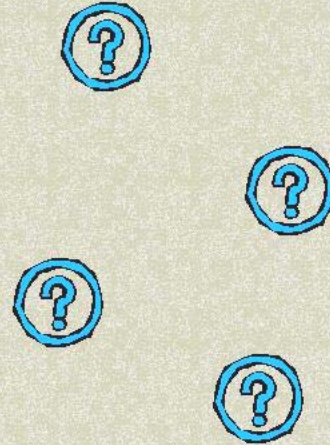
- En la ecuación para la posición x , cada término debe tener unidades de posición (o sea, m). Entonces, en $x = A \cdot t^2 + B \cdot t + C$
 - A debe estar en m/s^2 (unidades de *aceleración*)
 - B debe estar en m/s (unidades de *velocidad*)
 - C debe estar en m (unidades de *posición*)
- En la ecuación para la velocidad v , cada término debe tener dimensiones de velocidad (o sea, m/s). Entonces, en $v = m \cdot t + n$
 - m debe estar en m/s^2
 - n debe estar en m/s
- Si $t=0$ (instante inicial), entonces la primera ecuación nos da $x=C$, por tanto, **C=posición inicial (x_o)**. A su vez, la segunda ecuación nos da $v=n$, por tanto, **n=velocidad inicial (v_o)**.
- El coeficiente m de la segunda ecuación nos da la **aceleración** del móvil (**a**).
- Además se observa que

$$A = \frac{1}{2} \cdot a$$

$$B = v_o$$

Comprobando el modelo...

- PROBLEMA: ¿Cómo podemos comprobar si las ecuaciones construidas para el modelo cinemático de un determinado movimiento son correctas?
 - Si se tiene Data Studio, la herramienta *Ajustar* permite obtener los coeficientes correctos para la ecuación de cada gráfico.
 - ¿Y si no se tiene acceso a *Data Studio*?



Animación con “Modellus”: un recurso para verificación de las ecuaciones de un modelo...

- Si se entregan a Modellus las ecuaciones correctas, **la animación** debe imitar exactamente el movimiento observado en el experimento (a escala).
- Si la animación generada a partir de las ecuaciones no imita exactamente el movimiento observado en el experimento, debe haber errores en las ecuaciones (o en las condiciones iniciales).

Ejemplo de modelo correcto:
La animación imita bien el movimiento real observado.



Modellus Document

Animación con “Modellus”: un recurso para verificación de las ecuaciones de un modelo...

- Una animación que no imita exactamente el movimiento real observado en el experimento, sirve como **señal de alarma**: se debe revisar o reformular las ecuaciones del modelo cinemático.

Ejemplo de modelo incorrecto:
La animación *no* imita bien el movimiento real observado.



Modellus Document

Animación con “Modellus”: un recurso para verificación de las ecuaciones de un modelo...

- Pero **¡Cuidado con los errores aparentes!...**
- El archivo Modellus incrustado al lado parece no imitar bien el movimiento del carrito:
 - En una primera etapa se observa una buena imitación...
 - ... Pero aparece después una segunda etapa, con un movimiento que no se observa en el experimento real.
- **VEAMOS:** Abrir el archivo incrustado y observar atentamente.



Modellus Document



Animación con “Modellus”: un recurso para verificación de las ecuaciones de un modelo...

- Pero **¡Cuidado con los errores aparentes!...**

Modellus asume por defecto un tiempo máximo de 20 s para la duración del movimiento modelado, y supone que las condiciones que determinan el movimiento se mantienen actuando todo ese tiempo.

¿Es razonable afirmar que la fuerza de roce cinético, opuesta a la velocidad y que causa la retardación del carrito, sigue actuando después de su detención?



Animación con “Modellus”: un recurso para verificación de las ecuaciones de un modelo...

¿Es razonable afirmar que la fuerza de roce cinético, opuesta a la velocidad y que causa la retardación del carrito, sigue actuando después de su detención?



Si la respuesta fuera afirmativa, dicha fuerza explicaría el movimiento que muestra la animación en la segunda etapa...

Pero la respuesta es

¡No!

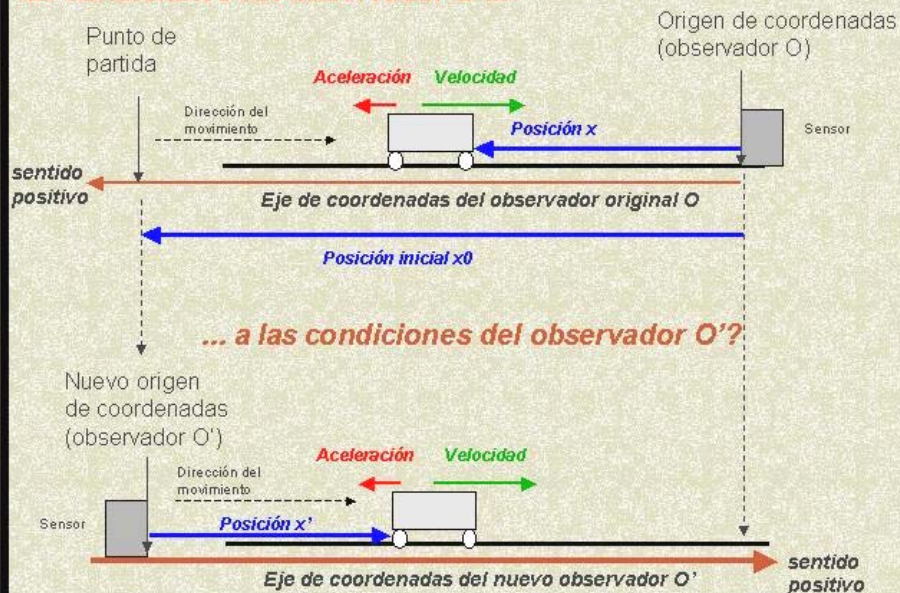
La fuerza de roce cinético actúa solamente mientras existe movimiento.

Por tanto, hay que limitar el tiempo máximo de duración de la animación al tiempo que dura el movimiento real en el experimento. El valor se puede sacar de los gráficos de Data Studio.

Aplicación – Transferencia del Modelo

- ¿Cómo se puede lograr que Data Studio genere los gráficos posición-tiempo, velocidad-tiempo y aceleración-tiempo que prediciría un nuevo observador O' , ubicado en el punto de partida del carrito y con el eje de coordenadas de su sistema de referencia positivo en el sentido del movimiento, pero sin tomar nuevos datos, sino que aplicando alguna transformación matemática apropiada a los datos de posición x ya disponibles del observador O en las condiciones en que se hizo el experimento en el laboratorio?

¿Qué transformaciones matemáticas se requieren para pasar de las condiciones del observador O ...





RESPUESTA:

2 transformaciones geométricas:

1. Inversión del eje del sistema de referencia:

- Se cambia x por $-x$

2. Traslación del origen del sistema de referencia:

- Corrimiento horizontal de longitud x_0

En consecuencia, la ecuación de transformación de coordenadas buscada es

$$y' = x_0 - x$$

Para x_0 , se puede usar El valor de C del ajuste Cuadrático hecho con Data Studio



Ejemplo

Ecuación posición-tiempo del observador O:

$$x = 0.0394 \cdot t^2 - 0.271 \cdot t + 0.715$$

Transformación de coordenadas para el cambio de O a O':

$$y' = 0.715 - x$$

Luego,

$$y' = 0.715 - (0.0394 \cdot t^2 - 0.271 \cdot t + 0.715)$$

Ecuación posición-tiempo del nuevo observador O':

$$x' = -0.0394 \cdot t^2 + 0.271 \cdot t$$

Datos de posición Data Studio para O: $y=x$



Datos de posición Data Studio para O': $y'=x'$



8.12 **ANEXO 11**

ENCUESTA DE EVALUACIÓN DE ACTIVIDADES

	COMPLETAMENTE DE ACUERDO	PARCIALMENTE DE ACUERDO	TOTALMENTE EN DESACUERDO
1. Al comienzo, el tema me era desconocido.			
2. El tema me era conocido, pero me faltaban conocimientos matemáticos.			
3. Durante la evaluación diagnóstica, sentí frustración por no poder responder.			
4. Mi resultado en la evaluación diagnóstica me motivó a esforzarme para aprender en las sesiones de laboratorio siguientes.			
5. Las explicaciones del desarrollo de la prueba de diagnóstico me ayudaron a estar mejor preparado(a) para las actividades experimentales.			
6. El apunte sobre conceptos básicos de Cinemática entregado tras la prueba de diagnóstico, me sirvió para comprender mejor los experimentos siguientes.			
7. En el futuro me gusta aprender Física mediante actividades experimentales, cada vez que sea posible.			
8. Prefiero aprender Física atendiendo a las explicaciones teóricas y a la resolución de ejercicios realizados por el profesor.			
9. Las preguntas de las guías me ayudaron a comprender mejor los experimentos.			
10.- El uso de elementos informáticos fue de gran ayuda para mi comprensión de los experimentos.			
11. El uso de elementos informáticos fue motivador para mí, haciendo más entretenido e interesante el trabajo.			
12. El software Data Studio me resultó fácil de manejar para recolectar y graficar los datos experimentales.			
13. El análisis matemático de los experimentos se me hizo muy difícil.			
14. Sin la ayuda del profesor no habría sido capaz de completar el trabajo indicado en las guías de laboratorio.			
15. Prefiero que el profesor no intervenga cuando trato de responder las preguntas de las guías de laboratorio con mis compañeros(as) de grupo.			

	COMPLETAMENTE DE ACUERDO	PARCIALMENTE DE ACUERDO	TOTALMENTE EN DESACUERDO
16. El resumen de la primera sesión experimental, explicado con Power Point, me fue de utilidad para el trabajo de las restantes sesiones de trabajo.			
17. Me siento capaz de enfrentar sin ayuda del profesor ni de guías de laboratorio <u>un experimento</u> de modelamiento de movimiento rectilíneo con aceleración constante.			
18. Me siento capaz de enfrentar sin ayuda del profesor ni de guías, <u>un problema teórico</u> de modelamiento de un movimiento rectilíneo con aceleración constante.			
19. Necesito saber más Matemáticas para ser capaz de aplicar el método de modelamiento al análisis de experimentos o de problemas teóricos de movimiento rectilíneo con aceleración constante.			
20. Me gustaría aprender nuevos conceptos de Física mediante el método de modelamiento.			
21. Me gustaría seguir aprendiendo Física mediante experimentos con apoyo informático.			
22. El software Modellus me permitió comprobar las ecuaciones que desarrollé con el método de modelamiento.			
23. Todas las herramientas que conocí de Modellus me fueron igualmente útiles para sentirme seguro(a) frente a las ecuaciones que desarrollé con el método de modelamiento.			

OBSERVACIONES, COMENTARIOS, SUGERENCIAS

POR FAVOR ESCRIBE A CONTINUACION CUALQUIER COMENTARIO O SUGERENCIA QUE DESEES PLANTEAR A LOS PROFESORES A CARGO DE ESTA INVESTIGACION, ACERCA DE TU PARTICIPACION EN ESTE TRABAJO.