

**INFORME FINAL DE
TESIS**

Maestría en Educación

Universidad de los Andes -- Centro de investigación y Formación en Educación

(CIFE)

**APRENDIZAJE EN COLABORACIÓN MEDIADO POR SIMULADORES EN COMPUTADOR
Efectos en el aprendizaje de procesos termodinámicos**

Presentado por:

Fernando Becerra Gallón

Dirigido por:

Claudia Lucía Ordóñez. Ed.D.

Julio 2004

Resumen Ejecutivo

En esta investigación exploré los efectos del uso del software Modellus, una herramienta orientada a la simulación y modelización de sistemas, acompañado de actividades de discusión en colaboración, en el aprendizaje de los principios de la termodinámica en estudiantes de 10º grado de un colegio privado de Bogotá. Exploré si el trabajo en colaboración y el programa de simulación incrementan la comprensión de los principios de termodinámica en los estudiantes. Trabajé con 41 alumnos organizados en un grupo control y otro experimental. El grupo control realizó lectura rigurosa del tema, un experimento de presión y volumen de un gas y resolución de problemas propuestos en el libro de texto. El grupo experimental, recibió la misma instrucción del grupo control y además trabajó en parejas para diseñar en Modellus la simulación del evento físico con sus gráficas, y su respectivo análisis. Comparé los resultados del aprendizaje de los grupos por medio de una prueba escrita y un proyecto de aplicación, buscando medir el grado de comprensión del tema y de sus implicaciones en la vida real. Encontré que los alumnos que habían desarrollado la simulación en colaboración obtuvieron mejores resultados en la prueba escrita y en el proyecto de aplicación. Describo cualitativamente el aporte que los alumnos atribuyen al programa y al trabajo en colaboración y discuto las implicaciones pedagógicas de estos hallazgos.

MARCO CONCEPTUAL

Durante mi práctica docente ha sido una observación constante que a los alumnos de la clase de Física II se les dificulta la comprensión de la termodinámica. Esta situación se ha hecho evidente cuando les solicito que elaboren proyectos de investigación que demuestren aplicaciones de lo que han entendido a casos de la vida real. Lo que veo en dichos trabajos es que los estudiantes no alcanzan la comprensión esperada; hay poca claridad en los conceptos y escasa transferencia del conocimiento científico a situaciones concretas.

Por ejemplo, los estudiantes pueden dibujar un proceso isotérmico (una transformación de energía durante la cual la temperatura permanece constante) en una gráfica de Presión vs. Volumen. Igualmente pueden dibujar un proceso adiabático o reversible (aquél en que la transformación de energía ocurre en un sistema térmicamente aislado, de tal manera que no puede haber intercambio de calor con el medio circundante mientras se realiza la transformación). Pero cuando tienen que unir estos procesos en ciclos como el de Carnot, Otto o Diesel e interpretar las gráficas y relacionarlas en términos de calor y trabajo con lo que está pasando físicamente en un motor, por ejemplo, la transferencia es muy pobre y no encuentran aplicaciones más allá de las simples gráficas.

Esto me ha llevado a preguntarme qué estrategias podía utilizar para que mis estudiantes lograran una mejor comprensión de la termodinámica, que les permitiera llegar a aplicar lo aprendido a la comprensión de procesos reales. La opción que escogí para tratar de contestar mi pregunta fue la de llevar a la práctica una simulación usando el programa de computador Modellus, para que los estudiantes trabajaran en colaboración creando e interpretando los datos que la simulación necesita para resultar eficiente. Hacer esto

probablemente les permitiría hacer conexiones entre los lenguajes gráfico y matemático y la realidad del evento físico.

Fue la definición de comprensión proporcionada por Perkins (1999) la que me llevó a pensar que este tipo de intervención pedagógica que combina el uso de un programa de simulación y la discusión en colaboración podría mejorar la de los estudiantes en termodinámica. Según él, comprender implica la habilidad de pensar y actuar con flexibilidad a partir de lo que uno sabe. Comprender un tópico, entonces, significa estar en capacidad de transferir de manera flexible determinados conocimientos a contextos diferentes, volverlos verdaderos desempeños de comprensión, como él los denomina. Esto quiere decir que para que una persona avance en la comprensión de un tema y para apreciar dicha comprensión tiene que hacer algo que ponga su comprensión en juego: por ejemplo, explicar, construir una argumentación para sustentar sus puntos de vista ante otros o armar un producto (Perkins, 1999). En este contexto, resolver un problema real y utilizar Modellus como herramienta que facilite diseñar una simulación virtual del problema y relacionar el evento físico con las ecuaciones y gráficas que el programa hace resulta un buen conjunto de desempeños de comprensión. En el diseño de la simulación de un proceso termodinámico, por ejemplo, la teoría se vuelve realidad cuando el estudiante puede visualizar un pistón y tiene que analizar si el gas que está dentro de él tiene que comprimirse o expandirse para permitir su movimiento. Esto implica darle o quitarle calor y producir trabajo sobre el sistema o que sea éste el que lo haga sobre el pistón. Además, los desempeños de los alumnos tanto en el desarrollo de la simulación como en la discusión con sus compañeros me permiten a mí verificar el grado de comprensión de los procesos termodinámicos a los que vayan llegando.

Boix, Mansilla & Gardner (1999), además, proponen que la comprensión en ciencias tiene ciertas cualidades. Analizando un diálogo entre estudiantes de 14 años para caracterizar el pensamiento científico en aprendices de ciencias, observan su capacidad para usar un rico modelo mental, el cuestionamiento permanente de sus corazonadas con un sano escepticismo, su uso de métodos de investigación científica como el control de variables y el diseño experimental para construir el conocimiento, su uso del lenguaje para hacer público este conocimiento y la reflexión acerca de las diferentes formas de resumir sus resultados. El uso de Modellus implica la modelación del evento, el preguntarse cómo llevarla al lenguaje matemático y al gráfico y el control de variables para entender lo que está pasando en la vida real. Y la discusión en colaboración exige que todo el tiempo el pensamiento se comunique en lenguaje natural y que se comprenda el pensamiento de otros.

Varios estudios teóricos han producido evidencia de que el uso de diferentes recursos proporcionados por el computador, como por ejemplo los simuladores, puede propiciar algunas condiciones que mejoren la comprensión. Brown (1999) indica que aunque una simulación no es el reemplazo de la vida real ofrece alternativas para la preparación en el campo de la experiencia; además, es reversible y permite el control de variables. Las simulaciones han probado, según Brown, que causan mayor satisfacción que las actividades de laboratorio tradicional, dado que los humanos tenemos una atracción natural por el juego. Por ser precisamente un juego, las simulaciones le dan seguridad al participante y ofrecen la posibilidad de reflexionar sobre ellas y replicarlas en contextos nuevos.

Al respecto, Linn (1999) desarrolló un proyecto llamado Computer as Learning Partner (CPL) que utilizó la tecnología del computador para que estudiantes de nivel escolar pudieran explorar simulaciones de eventos térmicos complejos y experimentar con casos de

la vida diaria haciendo recolección de datos en un tiempo real. Se basó para hacerlo en la observación de que los estudiantes en vez de utilizar las explicaciones de los fenómenos científicos dadas por los profesores o recibidas de lecturas o películas tienden a aislarlas y prefieren conservar su punto de vista construido intuitivamente (di Sessa 1998; Caramazza, Mc Closkey & Green 1981; Champagne, Klopfer & Gunstone 1982; Hewson & A'Becket Hewson 1984; Linn 1986; citado por Linn 1999). En el CPL los estudiantes condujeron experimentos, recolectaron información y sintetizaron su comprensión en patrones que se grabaron en un cuaderno electrónico. Se les motivó a que preguntaran, criticaran, analizaran y reflexionaran sobre las explicaciones que iban encontrando. Finalmente, los estudiantes pudieron integrar sus conocimientos usando principios y prototipos en situaciones reales en un proyecto de aplicación manejando con mayor criterio los mecanismos que explican los fenómenos térmicos.

White (1999), por su parte, describe en un texto teórico cómo desarrolló un modelo de simulación que llamó Intermediate Causal Models (ICM), en el cual trata de aplicar las leyes de la física en una forma causal para predecir lo que sucederá a medida que ocurran los diferentes eventos. Emplea representaciones visuales, usando símbolos gráficos para puntualizar la secuencia de comportamientos de los diferentes fenómenos en forma diagramática. De esta manera, construye con los alumnos modelos de simulación para trabajar el tema de los circuitos y la corriente eléctrica, buscando conectar la matemática con las gráficas que genera un software de simulación. Estos modelos son usados para explicar, entender y conectar la física formal con fenómenos de la vida real.

De la misma manera Edelson (1998) desarrolló un proyecto llamado The Learning Through Collaborative Visualization Project que en los dos primeros años contó con la participación de 300 estudiantes de escuela media y 6 profesores de secundaria de los Estados Unidos.

Se utilizó el computador como herramienta para visualizar y modelar una práctica científica que en este caso se especializó en la tierra y el medio ambiente. La idea de este proyecto era medir si los estudiantes podían explicar más profundamente un fenómeno científico habiendo utilizado tecnología computacional en sus laboratorios. Encontró diferencias significativas en las explicaciones de fenómenos científicos, la recolección de datos y el análisis gráfico entre los que participaron en el proyecto en comparación con los que no lo habían hecho.

Por otra parte, las características del ambiente computarizado parecen ser ideales para un aprendizaje basado en problemas. Buteler (2001) y Tao & Gunstone (1998), hicieron investigaciones teóricas acerca de la solución de problemas de física y encontraron que la habilidad para hacer la conexión entre un evento físico y su representación gráfica es tal vez uno de los desempeños de comprensión más complejos, porque implica conocer muy bien lo que está pasando en el experimento, hacer una abstracción de él y representarlo en una gráfica.

De acuerdo con Laffely, Tupper, Musser, y Wedman (1998) que realizaron un estudio teórico, el aprendizaje mediado por el computador en el Internet es apropiado para el aprendizaje aplicado en proyectos ya que proporciona recursos amplios permitiendo a los estudiantes hacer sus propios planteamientos y presentar nuevas formas de conocimiento, los cuales amplían los mecanismos de colaboración y comunicación.

Lapp (2000), por ejemplo, desarrolla una práctica de aula en la que muestra cómo, a medida que sucede un evento físico, se pueden obtener simultáneamente gráficas del mismo usando para ello modelos computacionales. Usa una interfase, un sensor y una calculadora gráfica para que el estudiante relacione personalmente movimiento con gráficas y pueda inferir de ellos comportamientos físicos. Loverude (2001) hizo un estudio sobre la comprensión de la

primera ley de termodinámica con estudiantes. Encontró que un error importante de comprensión radica en el hecho de no reconocer el trabajo como concepto constitutivo de la primera ley, lo que impide la aplicación de ésta a la comprensión y al análisis gráfico de problemas de la vida real. De la misma manera, Wisnudel, Stratford, Krajcik & Sloway (1998) hacen un estudio de caso en el que un estudiante de ciencias de noveno grado en una escuela pública de Michigan modela sistemas ecológicos haciendo representaciones visuales a través de gráficas animadas con el propósito de establecer la conexión entre éstas y los conceptos de causalidad de fenómenos científicos. La primera aproximación la hace el estudiante cuando modela un esquema animado de la calidad del agua y posteriormente un modelo de los factores del medio ambiente que afectan un ecosistema. Encuentran los autores que la dinámica de hacer modelos ayuda al estudiante a comprender cómo estos pueden ser usados como herramientas para un mejor entendimiento de la ciencia.

Así mismo, se han hecho investigaciones sobre el uso de computador y sobre trabajo en colaboración, algunas de las cuales investigan la utilidad del computador y otras computador y colaboración. Al respecto, Songer (1998) realizó un estudio acerca del clima con ochocientos (800) estudiantes con edades entre los 13 y los 16 años de 26 escuelas y 7 países, usando Internet. Dividió los estudiantes en dos grupos, uno control que trabajaba sin computador y uno experimental que trabajaba con Internet. Al final del estudio los dos grupos resolvieron unas preguntas relacionadas con el comportamiento del clima en sus localidades y después de ocho (8) semanas, los estudiantes del grupo experimental demostraron una mejor recolección de datos como método investigativo, resolvieron las preguntas con más profundidad y tuvieron oportunidad de compartir con sus pares sus respuestas y sus comentarios. Por su parte, Hargis (2001) realizó un estudio acerca de la explosión demográfica usando un software de aplicación soportado por Internet, con 145

voluntarios del Engineering Research Center y el College of Ingeneering de la Universidad de Florida. Los participantes fueron aleatoriamente asignados a dos grupos uno control que trabajó con la información suministrada por los textos y otro experimental lo hizo sobre información que recolectó a través de Internet. Hizo un pre y un post test con los dos grupos en el cual tenían que resolver veinte (20) preguntas. Al final de la investigación encontró diferencias significativas entre los dos grupos que evidenció una mejor recolección de datos, interpretación de las gráficas y en general una mejor comprensión de los participantes del grupo experimental acerca del tema demográfico.

También, Berry (2000) realizó una investigación sobre formas de trabajar en un experimento de electricidad en el laboratorio de física usando computador; con estudiantes que estaban entre los 8 y los 11 años de dos colegios públicos de Melbourne. Hizo entrevistas con los estudiantes antes, durante y después de realizados los laboratorios. Encontró que con el uso de computadores los estudiantes pudieron verificar la teoría que habían aprendido anteriormente y obtuvieron una mejor imagen de un fenómeno eléctrico.

De la misma manera, McFarlane & Friedler (1998) realizaron un estudio con una población de 625 estudiantes entre los 11 y 17 años de cuatro países, usando simuladores en computadores portátiles en un proyecto de ciencias en la que los alumnos tenían que relacionar Temperatura vs. Tiempo y encontrar en ellos patrones en la gráfica lineal y en los eventos descritos. Organizaron un grupo control en el que desarrollaron dos proyectos prácticos sin el uso de computadores y un grupo experimental que usaba computadores portátiles en el que desarrollaban la misma investigación; monitoreando la lectura de patrones, su representación y su interpretación por medio de cuestionarios anteriores y posteriores al trabajo de investigación. Los resultados mostraron que los alumnos del grupo experimental lograron más progreso en la habilidad para leer e interpretar gráficas de

temperatura vs. Tiempo y fue particularmente significativo la mejora para dibujar las curvas de temperatura vs. Tiempo y poder de ellas predecir el comportamiento en nuevos sistemas.

Además de la utilidad de las simulaciones computarizadas en la comprensión de conceptos, el trabajo en colaboración también parece ser un estimulante de la comprensión. Springer, Stanne y Denovan (2000) revisaron 39 estudios que compararon el trabajo en pequeños grupos con el individual. Los resultados muestran que, en general, con el trabajo en pequeños grupos los alumnos tienen mejor desempeño académico, mejor actitud hacia el aprendizaje y más persistencia en el trabajo.

En un estudio realizado por Alavi (1994) con 77 hombres y 50 mujeres distribuidos en dos grupos; uno de 78 estudiantes que trabajarían con GDGS (group decision support system) que es una herramienta de software en el computador que da soporte a los estudiantes mientras los grupos trabajan en colaboración los ejercicios, y un grupo de 48 estudiantes que recibieron la instrucción tradicional de lecturas y discusión en clase. Encontró que los estudiantes que trabajaron con el computador colaborativamente tuvieron efectos significativos en las reacciones afectivas: percibieron desarrollo de habilidades, auto reporte e interés por el aprendizaje, evaluación de la experiencia en el salón de clase y del aprendizaje en grupo.

Por ejemplo, Boxtel (2000) hizo una investigación sobre el nivel de comprensión de conceptos eléctricos en la colaboración entre pares. Trabajó con 56 estudiantes de 15 y 16 años en dos clases, en dos colegios. Encontró diferencias estadísticamente significativas en la solución de preguntas a favor de estudiantes que trabajaron en colaboración. Las medidas fueron tomadas del pre y post test y se midió el cambio que hubo en la habilidad de comunicar la comprensión de los conceptos y la relación entre ellos.

Uribe, Klein, y Sullivan (2003), hacen un estudio cuyo propósito era investigar los efectos de del uso del computador trabajando en colaboración en la solución de problemas. Participaron 59 estudiantes de la Fuerza Aérea; 47 de ellos eran hombres y 12 mujeres. Una vez completada la instrucción del programa se les administraba un quiz de conocimiento acerca de modelos aeroespaciales. Se dividieron los participantes en dos grupos; uno de los cuales trabajaba individualmente con la Web y el otro grupo trabajaba con la Web en colaboración. Durante el trabajo los dos grupos tenían que resolver unos problemas propuestos y el estudio mostró mejoras estadísticamente significativas en la solución de los problemas en los estudiantes que además de trabajar con la Web lo hicieron en colaboración. Los participantes que trabajaron con un compañero parecieron haber recibido beneficios gracias a la habilidad de discutir el problema y las posibles soluciones.

Por su parte Klein & Doran (1999) hicieron una investigación para medir los efectos de trabajar en pequeños grupos una simulación en computador acerca del manejo de herramientas tecnológicas. Trabajó con 105 estudiantes de un colegio (63 mujeres, y 42 hombres) que tomaron el curso de College of Business divididos en dos grupos, uno control que trabajaba la recolección y manejo de datos manual e individualmente y un grupo experimental que trabajaba en pequeños grupos con el simulador de computador. Encontró diferencias significativas entre los dos grupos que evidenciaron que aquellos que habían trabajado en colaboración en pequeños grupos con el simulador manejaron la información en forma más práctica, tuvieron una mejor retroalimentación y revisaron con más profundidad sus resultados.

Por último, es importante anotar que no encontré investigaciones sobre metodologías de enseñanza de procesos termodinámicos lo que me motivó a llevar a cabo el presente trabajo

tratando de encontrar algún mecanismo que me orientara al mejoramiento de la comprensión de éste tema específico de física.

2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Con base en la revisión bibliográfica que constituye mi marco conceptual, apliqué durante un semestre una innovación en mi curso de física II que consistió en trabajar en colaboración el diseño de una simulación en computador de un proceso termodinámico. El propósito de esta investigación fue explorar el efecto de esta innovación en la comprensión de termodinámica de mis estudiantes de 10º grado. Busqué respuesta a las siguientes preguntas de investigación:

2.1 ¿Mejora la intervención la comprensión de termodinámica en estudiantes de Física II del Colegio los Nogales?

2.2. Si lo hace

a) ¿Cuál es el aporte de Modellus a esta mejora? Y...

b) ¿Cuál es el aporte del trabajo en colaboración a esta mejora?

METODOLOGÍA

Trabajé el curso de Física con dos grupos de alumnos y en ambos enseñé la unidad de termodinámica en 20 clases de una hora cada una. Uno de los grupos vivió la innovación y el otro funcionó como grupo control. Ambos grupos compartieron instrucción basada en las lecturas y las conexiones que realizaban los estudiantes con los laboratorios hechos en clase, a la cual se le añadió la simulación en Modellus en grupos de colaboración en el grupo experimental. Mi acercamiento a la respuesta a las preguntas es tanto cuantitativo, en

la medición de la comprensión de los conceptos de termodinámica, como cualitativo, al distinguir la contribución de Modellus y del trabajo en colaboración a esa comprensión.

3.1 Participantes

Los alumnos participantes estudiaban en una institución educativa privada de la ciudad de Bogotá en donde a partir de noveno grado cursan las materias por semestres. Durante los dos semestres de noveno, dos de décimo y el primero de undécimo, los alumnos deben tomar dos cursos de física, dos de química y uno de biología. Física II puede ser tomada en décimo o en undécimo grados, de modo que cuento en mi curso con estudiantes que estaban entre los 16 y los 18 años.

Cuarenta y un (41) estudiantes tomaron física II durante el segundo semestre de 2003, divididos en dos grupos: uno de veinte (20) alumnos fue el grupo control y otro de veintiuno fue el grupo experimental. Los estudiantes fueron asignados aleatoriamente a los grupos por la dirección de bachillerato, sin intervención de profesores.

Esta investigación contó con la aprobación de los estudiantes y directivas del colegio. Por ser alumnos de semestralizado y trabajar con ellos el valor de la autonomía fue que se recogió la opinión de ellos a participar en la investigación encontrando unanimidad en su aprobación. Así mismo, las grabaciones hechas a las parejas durante el diseño de la simulación tenía la aprobación de los estudiantes.

3.2 Recolección y análisis de datos

3.2.1. Para contestar la primera pregunta de investigación sobre el impacto de la intervención en el aprendizaje de la termodinámica, recogí datos con una evaluación escrita

y un proyecto final de aplicación, ambos individuales, que apliqué tanto en el grupo experimental como en el grupo control.

- *Evaluación escrita* (Ver anexo 1): Contení diez preguntas, cada una con un valor de 10/100. Cuatro de las preguntas eran teóricas y medían el grado de comprensión de las lecturas del libro de texto y las conexiones que realizaban los estudiantes con los laboratorios hechos en clase. Las otras seis preguntas eran de aplicación y buscaban medir la transferencia de los conceptos al análisis de casos de la vida real.
- *Proyecto final de aplicación*. (Ver instrucciones en el Anexo 2): Aquí los estudiantes debían aplicar un proceso termodinámico a un caso de la vida real. Lo evalué por medio de una matriz de evaluación diseñada para tal fin (Ver anexo 3), cuyos criterios y valores fueron los siguientes: presentación del proyecto (3/20); coherencia del procedimiento (3/20); gráficas y tablas utilizadas (2/20); calidad de los cálculos (5/20); conclusiones (5/20); y profundización del tema (2/20).

Realicé análisis estadísticos de los resultados numéricos de estos dos instrumentos, comparando los promedios de los resultados de los grupos control y experimental por medio de la prueba estadística t-Student.

3.2.2. Para contestar la segunda pregunta distinguiendo la contribución de Modellus y del trabajo en colaboración al aprendizaje de los estudiantes del grupo experimental, hice grabaciones de las discusiones en grupo durante el desarrollo de la intervención y entrevistas semi-estructuradas y en profundidad al final de la misma.

- *Grabaciones*. Grabé las discusiones de cuatro parejas distintas de estudiantes mientras diseñaban la simulación con Modellus, en tres momentos diferentes de la intervención: al inicio, en un momento intermedio y al final. Conformé las parejas

de modo que un estudiante de bajo rendimiento trabajara con otro de alto rendimiento para que se sintiera tranquilo y participara y aportara en el diseño. En los dos momentos siguientes de grabación roté las parejas de manera que el estudiante de bajo rendimiento tuviera que trabajar con un compañero de rendimiento promedio, con quien tendría oportunidad de mostrar su avance en la discusión en grupo y en el aporte de ideas, y por último trabajaría con otro de igual rendimiento, para tratar de detectar si hubo o no mejora en la comprensión. Logré un total de doce grabaciones, cada una de una hora de duración.

- *Entrevistas.* Entrevisté a seis (6) estudiantes del grupo experimental una vez finalizada la intervención (Ver protocolo en el Anexo 4). Escogí dos estudiantes que habían tenido promedio alto en la evaluación y en el proyecto, dos que habían tenido promedio medio y dos que habían alcanzado un promedio mínimo aceptable, tres mujeres y tres hombres para evitar sesgos de género.

Categoricé la información de las entrevistas con el criterio general de buscar tipos de aportes tanto de Modellus como del trabajo en colaboración a la calidad de la comprensión del tema. Después hice triangulación con las grabaciones de la interacción, buscando evidencia que corroborara lo dicho en las entrevistas. El propósito de esta triangulación fue comprobar si en efecto lo que los alumnos identificaban como aportes a la comprensión al final de la experiencia eran fenómenos verbalizados durante su desarrollo.

Por último, es importante anotar que no hice una evaluación inicial con los dos grupos para tratar de establecer una línea de base porque los estudiantes hasta ese momento no habían

recibido ninguna instrucción sobre termodinámica y, no habían trabajado con el diseño de una simulación por lo que concluí que el resultado de los grupos debería ser igual.

4. RESULTADOS

Tanto el análisis cuantitativo como el cualitativo arrojaron resultados positivos de la intervención y de cada una de sus partes, en relación con el aprendizaje de termodinámica de los estudiantes. Igualmente mostraron interesantes aprendizajes sociales.

4.1 Aprendizaje de los conceptos de la termodinámica

Tanto la prueba escrita como el proyecto final de aplicación mostraron aprendizaje patente en la aplicación de los conceptos de la termodinámica al análisis de situaciones reales. La Tabla 1 muestra que aquellos estudiantes que participaron en la intervención obtuvieron, en promedio, resultados totales significativamente mejores en la prueba escrita que los del grupo control, a un nivel de confiabilidad de 0.005. Además la desviación estándar para los resultados del grupo experimental es menor, de modo que después de la intervención parecen haber disminuido las diferencias de comprensión entre los estudiantes que la experimentaron.

Tabla 1. Resultados comparados de la evaluación grupo experimental y grupo control.

Grupo	Promedio	Desviación estándar	Estadística t
Experimental	77.38	10.7957	
Control	63.0	17.1985	3.1887***

$\approx p < .10; * p < .05; ** p < .01; *** p < .005$

La Tabla 2 compara los resultados de las preguntas teóricas y de las preguntas de aplicación en la misma prueba escrita. En cuanto a las preguntas teóricas los resultados no muestran una diferencia significativa entre los grupos experimental y control. Por el contrario, al

comparar los resultados de las preguntas donde había que aplicar conceptos al relacionar ecuaciones, gráficas y eventos físicos, hay resultados significativamente más altos, en promedio, en el grupo experimental, a un nivel de confiabilidad de 0.005. Además la desviación estándar es considerablemente menor en este grupo experimental, lo que indica un aprendizaje más homogéneo entre los estudiantes.

Tabla 2. Resultados comparados de las preguntas teóricas y las preguntas de aplicación entre el grupo control y el experimental.

Grupo	Promedio	Desviación	Estadística t	Promedio	Desviación	Estadística t
	preguntas	estándar	Preguntas	preguntas	estándar	Preguntas
	teóricas	preguntas	teóricas	de	preguntas	de
		teóricas		aplicación	de	aplicación
					aplicación	
Experimental	18.5	0.577		14.32	2.5033	
Control	19.25	0.957	1.3416	8.17	6.7355	2.1021***

$\approx p < .10$; * $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .005$

El análisis cuantitativo del proyecto final de aplicación corrobora estos resultados, como indica la Tabla 3. Al aplicar conceptos de la termodinámica a casos reales aquellos estudiantes que participaron en la intervención obtuvieron en promedio resultados significativamente mejores que los del grupo control, a un nivel de confiabilidad de 0.005. Igualmente la desviación estándar es menor para el grupo experimental.

Tabla 3. Resultados comparados del proyecto final de aplicación del grupo experimental y grupo control.

Grupo	Promedio proyecto final de aplicación	Desviación estándar	Estadística t
Experimental	81.1905	7.229	
Control	66.50	10.143	5.3608***

$\approx p < .10$; * $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .005$

Al complementar este análisis con uno cualitativo, guiado por los criterios de la matriz de evaluación encuentro que los proyectos de aplicación de los alumnos del grupo experimental contienen mejores aplicaciones a los procesos termodinámicos que las del grupo control porque logran mayor coherencia entre los datos recolectados y los procesos para llegar a conclusiones argumentadas y demostrables. También muestran un análisis más amplio y concreto de las gráficas y los cálculos para obtener diferentes ciclos en los que intervienen procesos termodinámicos. Encuentro además que muchos alumnos del grupo control resultan replicando las gráficas y las aplicaciones leídas en el libro de texto, mientras que en el grupo experimental las aplicaciones son mas originales, producto de las relaciones establecidas durante el diseño de la simulación.

4.2. Contribución de Modellus y del trabajo en colaboración.

El análisis cualitativo de las entrevistas hechas al final de la intervención y de las conversaciones durante el diseño de la simulación revela, en palabras de los alumnos, aportes diferentes del trabajo con Modellus y del trabajo en colaboración a los resultados

positivos que demostró el análisis de las pruebas. Modellus les permitió a los alumnos visualizar procesos termodinámicos, relacionar representaciones diferentes de estos procesos y entender la importancia de la representación del proceso en una gráfica y de la interpretación que es posible hacer de ella. Por su parte, el trabajo en colaboración los ayuda a aprender porque los pone a trabajar con personas que están en igualdad de condiciones de conocimiento, les permite compartir información diferente que cada uno posee y complementarse en conocimientos y, finalmente, les permite conocer diferentes formas de entender y de proceder para lograr conocimiento.

4.2.1. El aporte de Modellus

4.2.1.1. Visualizar un proceso termodinámico

Una simulación en Modellus tiene la característica de mostrar simultáneamente las ecuaciones, las gráficas y la simulación virtual de un evento físico. Por ejemplo se puede escribir la ecuación de los gases ideales, ver la gráfica de presión contra volumen de dichos gases y simultáneamente simular un pistón cuyo gas interior se comprime y se expande, como sucedería en un motor de combustión. Ante la pregunta sobre Cómo creían que Modellus había ayudado a entender mejor un proceso termodinámico, los seis (6) estudiantes entrevistados coincidieron en que, gracias a Modellus ver el proceso les ayuda a comprender mejor el tema. Uno de los estudiantes, por ejemplo, comenta: "Pues una imagen vale más que mil palabras. Finalmente creo que es en lo que ayuda Modellus." Otro entrevistado dijo: "Me gusta ver la curva y cómo se devuelve en cada parte del proceso: Le da a uno la idea general de lo que está pasando."

Revisando las grabaciones hechas durante el diseño de la simulación, encontré que diez (10) de las doce (12) parejas grabadas tienen conversaciones grabadas similares a las

siguientes, en las que los integrantes claramente están observando diferentes aspectos del fenómeno que modelan en la pantalla de su computador y se llaman la atención unos a otros hacia lo que observan:

S1: Mire que nos da una línea recta en un proceso isobárico donde, se puede uno dar cuenta de que la variación del volumen por la presión da el trabajo realizado.

S2: Pero mire el pistón; para que se mueva tengo que calentar el gas, si quiero que la presión permanezca constante.

S1: Por eso, o sea que hay calor y trabajo; la variación de energía interna da cero.

S2: Es más fácil verlo en la gráfica; si el volumen cambia hay trabajo, si la presión cambia no, ¿Si ve?

Otra de las parejas comenta:

S3: ¿Será que uno puede unir un proceso adiabático con un isotérmico?

S4: Claro, eso es lo hace Carnot en su ciclo.

S3: Pero, ¿Cómo se haría?

S4: Yo creo que en los puntos de presión y volumen donde termina uno empieza el otro. Mire, cojamos estos puntos donde termina el isotérmico y hagamos una expansión adiabática.

S3: Listo,..... pero los píxeles no me cuadran.

S4: Pues, cambiemos entonces de escala en la segunda gráfica y vera.

S3: ¿Si ve? Listo, mire como se ve, después de uno le sigue el otro, ¡Que chévere!

4.2.1.2. Relacionar

Encontré que cinco (5) de los seis estudiantes me dijeron en sus entrevistas que el programa Modellus les ayudó a relacionar gráficas con eventos físicos en un proceso termodinámico. Todos ellos concuerdan con lo expresado por uno de ellos: “Las animaciones y las simulaciones le ayudan a uno a entender qué le pasa al calor, si sube o si baja, dependiendo del pistón o de lo que pasó”. A la pregunta de si se entiende mejor con Modellus un estudiante dijo: “Esas cosas que uno no entiende leyendo lo entiende mejor al relacionar los pistones con la gráfica al mismo tiempo. Eso me pareció chévere”.

El ejemplo más claro del comentario de esta estudiante lo encontré en ella misma, en una de sus conversaciones en parejas mientras diseñaban el ciclo de Carnot. Sus comentarios, en los que relaciona modelo, gráfica y ecuación resultan semejantes a los de otras nueve (9) de las doce parejas grabadas. Ella dice en la grabación:

S1: “Vea que la clave está en el pistón; mientras en un isotérmico el calor que le agrega se vuelve trabajo, luego hay que hacer lo contrario”.

Más adelante dice:

S1: “Mire, es más fácil entender un proceso adiabático si usted lo relaciona con el movimiento del pistón; mire el calor que hay que agregarle para que se expanda y ahora mire que hay que hacer para que se contraiga [comprima]”.

Así mismo, otra de las parejas grabadas durante el diseño de la simulación comentaba:

S2: Yo no entiendo lo que está pasando ahí.

S3: Pues hombre vea....Mire que es una compresión adiabática; póngale cuidado que el gas se está comprimiendo y no hay calor sobre el sistema. La energía interna es igual a menos el trabajo.

S2: Espere a ver.... Cuando hicimos el primer adiabático que se expandía tampoco había calor.

S3: Claro, ¿no ve que necesito cerrar el ciclo?, O sea que el pistón vuelva a su posición inicial.

S2: Pero nosotros hicimos dos isotérmicos y dos adiabáticos para cerrar el ciclo. En los dos primeros la temperatura permanece constante y en los adiabáticos no hay calor, o pasa muy lentamente, al final entonces ¿no tenemos nada de calor durante el proceso?

S3: Por eso es un modelo ideal, ¿entiende?

S2: Si, claro, el modelo le da a uno todos los datos, lo tenaz es relacionarlos.

4.2.1.3. La importancia de la gráfica

Analizar una gráfica significa darle una representación a una ecuación, recolectar en forma ordenada e interpretar nueva información a partir de dicha gráfica. Estos procesos parecen revestir especial dificultad para los alumnos. De los seis (6) entrevistados cinco (5) mencionan estos procesos como elementos importantes en la comprensión del proceso termodinámico e indican que Modellus facilita su comprensión. Uno de los estudiantes, por ejemplo, nos dice: “Para mi es muy difícil describir un fenómeno basado en una gráfica. Mire que Modellus me da la posibilidad de hacerlo. Y yo tengo que analizar la gráfica si quiero simular virtualmente algo que está pasando en la realidad”. Otro estudiante expresa que la conexión entre la gráfica y el evento físico mejoró su comprensión: “la simulación me ayudó porque tenía el dibujito y al mismo tiempo uno podía analizar la gráfica de qué pasaba cuando subía o bajaba el pistón y qué pasaba cuando subía o bajaba la gráfica”.

Igualmente encontré gran cantidad de comentarios acerca de la importancia de las gráficas en las grabaciones durante el diseño de la simulación. Los siguientes diálogos entre estudiantes los ilustran. El primer diálogo fue grabado al inicio del diseño de la simulación y muestra a los estudiantes tratando de conectar los movimientos simultáneos de la gráfica y del pistón:

S1: Ahora lo difícil es conectar ésta gráfica con el pistón

S2: Pero por qué, si va siguiendo el orden de la curva va

entendiendo cómo es que se mueve el pistón.

S1: ¿Sabe?, yo prefiero hacerlo al revés, primero el pistón y luego la gráfica.

S2: Bueno, hágale a ver y yo veo cómo lo hace.

El segundo diálogo, que fue grabado en un punto medio de la intervención, muestra la interpretación también simultánea que los estudiantes están haciendo de la necesidad de calor, para que el gas se expanda, y sus consecuencias en términos de trabajo:

S3: ¿Si ve que no da la misma gráfica del libro?

S4: Sí, yo vi. el dibujo en el libro pero yo en el libro no lo entiendo.

S3: Pues analicemos. Mire lo que pasa cuando se le agrega calor, ¿si ve que en la gráfica el volumen se agranda?

S4: O sea que diseñamos el pistón para que se expanda durante ese proceso....[se expande el gas dentro del pistón]

S3: Exacto, y así todo el ciclo. Sí ve que analizando la gráfica puede uno saber cómo es que se está moviendo el pistón y ¿qué es lo que está pasando?

S4: Claro, déjeme hacer el resto a mí.

4.2.2. El aporte del trabajo en colaboración

4.2.2.1. Igual situación de conocimiento.

Al hablar del trabajo en colaboración, de los seis (6) estudiantes entrevistados, tres (3) le dieron importancia al hecho de que con sus parejas estaban en una situación de igualdad, lo que permitió comprender mejor: “...con un compañero uno está en la misma situación de conocimiento, por así decirlo, y está al mismo nivel; o sea, el profesor va a saber la respuesta mientras que con el compañero uno tiene que explorarla porque ninguno de los

dos la va saber. Entonces es como trabajar los dos para sacar algo que ninguno de los dos sabe”.

Algunos diálogos que encontré en las grabaciones confirman esto. El primero ocurrió al inicio del trabajo de la simulación, cuando los estudiantes estaban empezando por trabajar las ecuaciones para de ellas generar las gráficas correspondientes. En la primera los dos alumnos encuentran juntos una dificultad común, exploran y deciden un camino para solucionarla.

S1: ¿Qué ponemos de R?

S2: Ni idea, póngale cualquier valor.

S1: No creo, porque entonces nos daría cosas diferentes.

S2: Pero, ¿qué es R?

S1: no se, veamos en el libro.....Mire, aquí está...R es una constante de proporcionalidad de gases ideales, mire que tiene un valor constante, ¿si ve?

S2: Listo ya podemos graficar la ecuación.

La siguiente conversación fue grabada en la etapa final del diseño de la simulación donde había que buscar la manera de hacer coincidir el comportamiento de la gráfica cuando el gas del pistón se comprime. Se puede identificar de nuevo el deseo de los estudiantes por encontrar la solución al problema, buscar juntos una alternativa y ponerla a prueba. Se nota de nuevo que en el punto de partida están en igualdad de condiciones de conocimiento. Además parecería que el uso del programa los estimula a explorar autónomamente primero, antes de buscar ayuda del “experto”.

S3:¿ Cómo hacemos para que la gráfica se devuelva?

S4: No sé, ¿le preguntamos a XXXX [el profesor] ?

S3: No, intentémoslo nosotros. Si no podemos pues le preguntamos.

S4: A ver ¿qué alternativas tenemos? Una sería darle un “condicional” con ciertas condiciones y otra.....¿Hum?

S3: Y ¿por qué no le cambiamos de signo?

S4: Ja, ja...pues sí, de pronto.

S3: Mire, si cambiamos el signo y mejoramos los píxeles podemos ¿Si ve?

S4: Claro, hágale.

4.2.2.2. Compartir información.

Tres (3) de los seis estudiantes entrevistados coincidieron en la importancia de compartir información durante el trabajo en colaboración. Resaltan la ayuda mutua y la posibilidad de compartir fortalezas y disminuir debilidades: “Me ayudó [el trabajo en colaboración] porque personalmente a mí se me dificultaba la física, y el hecho de que tuviera unas persona al lado con quien compartir las dudas me sirvió” Más adelante comenta la misma persona: “porque uno comparte ideas y si tenía dudas las compartíamos, las respondíamos juntas o nos dábamos la maña para sacar la respuesta”. Y otro alumno hace énfasis en la importancia de complementar mutuamente la información de cada cual, ya que se equilibran diferencias. Dice: “Como no soy bueno en matemáticas y estoy con un compañero, hay probabilidad [de] que sea mejor que yo en la parte de ecuaciones que yo no tenga seguras. La otra persona me lo va a complementar y si la otra persona tiene algún problema al ver la gráfica yo le puedo ayudar en eso”. Posteriormente el mismo estudiante comenta: “Me gustó esta estrategia porque es básicamente una forma de complementar y si uno tiene a alguien que le complemente las falencias es mucho mejor”.

Escuchando las grabaciones encontré que en cuatro de ellas hay evidencia de que el compartir información es una constante. En la primera es evidente la complementación entre conocimientos diversos:

S1: A mí esta ecuación no me dice nada.

S2: Tranquilo, a mí me pasa lo mismo, pero con la gráfica.

S1: Hagamos ambas cosas y vemos a ver si nos podemos ayudar, yo le explico la gráfica y usted me explica la ecuación.

S2: Listo, pero acuérdesse que hay que conectarlo con un pistón.

S1: Bueno, ya veremos cuando lleguemos ahí.

En las siguientes se ve que los estudiantes exploran juntos y que no importa si durante el proceso se cometen errores. Éstos ayudan a encontrar el camino correcto:

S3: Pero qué variable utilizamos?

S4: Usemos presión a ver qué nos da ¿sí? Creo....

S3: OK, Pero ¿Sí estaremos usando P como variable independiente?

S4: Hagámosle a ver qué nos da. ¡Uy! Mire qué grafica tan terrible, eso no está bien.

S3: Ah, mire, la variable independiente es volumen. ¿No ve que es un proceso isobárico y es la presión la que permanece constante?

S4: Claro, el que va cambiando es el volumen.

Otra pareja en las grabaciones comentó:

S5: ¿Por qué será que le doy la ecuación y cuando le digo que interprete me da error?

S6: Muestre a ver....claro es que la está escribiendo [la ecuación] al revés, mire que la variable independiente hay que escribirla en el comando control y si no pues hace una cosa diferente de la que queremos.

S5: Listo, mire, ya nos aceptó los datos.

S6: Ahora le daré la instrucción para que dibuje la gráfica....Uy! nos dio rarísima, ¿Qué será esto?

S5: Espere, tranquilo.....ah! pues es que estamos graficando presión contra temperatura y no presión contra volumen, ¿se da cuenta?

S6: Claro, listo, ya....me imagino yo haciendo esto solo me había sacado un ojo.

S5: Dígamelo a mí, imagínese....Ja,ja,ja.

En otra conversación llama la atención que un estudiante permite que otro lo guíe en el proceso de entender:

S7: ¿Usted ha entendido bien eso de los píxeles?

S8: Más o menos, ¿Qué quiere que hagamos?

S7: Pongamos esta gráfica como mejor distribuida.

S8: Listo, pero hágalo usted y yo le ayudo. ¿Qué es lo que quiere?

S7: Mire, yo quiero cambiar el eje vertical y hacerlo más grande.

S8: Listo, entonces lo que hay que hacer es reducir la escala.

S7: ¿Cómo? ¿Acaso no hay que agrandarla?

S8: ¿No ve que esta vaina es al contrario?

S7: Pongámosle por ejemplo 0.001. Claro ahora nos da algo más decente. Listo ya entendí.

4.2.2.3. Entender en forma diferente.

Dos (2) de los seis (6) estudiantes entrevistados dieron importancia al hecho de entender en forma diferente, ya que se da el espacio para metodologías y estilos personales distintos que pueden resultar favorables a nivel de la comprensión : “Me ayudó [el trabajo en colaboración] porque cada uno entiende y cada uno explica en forma distinta”. Otro estudiante dice: “...pues es interesante ver el punto de vista de otra persona, cómo entiende gráficamente”.

Oyendo a dos (2) parejas de estudiantes trabajar durante la intervención, encuentro interpretaciones diferentes de los mismos fenómenos y búsquedas distintas de caminos de solución, que resultan reveladoras para el otro compañero:

S1: La simulación está perfecta, listo.

S2: Cómo así ¿Ya acabamos?

S1: Claro, ¿Qué cree que hace falta?

S2: No sé, la gráfica no está completa, eso no es así de simple.

S1: Cómo que no, mire que a medida que la gráfica se va dibujando el pistón se está comprimiendo, ¿No ve que [es]un proceso isotérmico donde el calor que se pierde lo gana el trabajo?

S2: Yo no lo había visto de esa forma, claro, ya le entiendo.

S3: Espere, espere, ¿Qué está haciendo?

S4: Pues dándole valores hasta que la gráfica me coincida.

S3: Pero no acabaría nunca, es como armar un rompecabezas poniendo todas las fichas hasta que la que es le coincida.

S4: Pero hermano yo siempre he trabajado las gráficas así.

S3: Pero, por qué no trata de buscar un patrón, mire que si mira uno de los ejes le da un valor y en el otro eje le da el otro valor, ya tiene los datos que necesita. Eso por ensayo y error es muy complicado.

S4: No crea, uno resulta cogiendo mucha práctica.

S3: Bueno, es una forma diferente de ver las cosas, piense que puede simplificar el trabajo y no es tan complicado.

4.2.2.4. Finalmente, tres entrevistados coincidieron en que esta estrategia de trabajo y de aprendizaje no fue efectiva para ellos porque : “La verdad yo creo que este aspecto [el trabajo en colaboración] no me hizo cambio” Otro estudiante dice que a él personalmente le gusta trabajar solo, pero admite que “A otras personas les sirve más. Claro, es cuestión de comunicación.”

5. 1 DISCUSIÓN

Los resultados de la presente investigación muestran que los estudiantes del grupo experimental lograron desarrollar mejores habilidades en el manejo de las relaciones entre

ecuaciones, gráficas y simulaciones virtuales de fenómenos físicos, en comparación con el grupo control. El trabajar simultáneamente estos tres aspectos parece brindar al estudiante la posibilidad de establecer mejores conexiones entre conceptos y aplicaciones. Parece entonces que con la lectura del texto, la explicación del profesor y los laboratorios hechos en clase se podrían resolver preguntas de tipo teórico como lo demostró la tabla 2 pero, si a esto le sumamos el diseño de la simulación y el trabajo en colaboración se alcanzaría, según parece demostrarlo el grupo experimental, una mejor comprensión de los procesos termodinámicos porque se desarrollarían habilidades para resolver preguntas de tipo aplicativo como lo está mostrando de nuevo la tabla 2.

Por otro lado, el estudio muestra la importancia de someter la opinión de los estudiantes a sujetos diferentes al profesor, el compartir inquietudes y resolver dudas con sus pares, parece ser uno de los puntos vitales en la comprensión de los conceptos que se vio reflejado en los resultados de la evaluación y el proyecto de aplicación. De lo anterior se deriva la necesidad de reflexionar acerca de mi rol como profesor, ahora creo que es más importante tratar de ser un guía y un colaborador en la construcción del conocimiento de mis estudiantes en lugar de limitarme a ser un transmisor de contenidos. El diálogo en clase deja de ser unilateral entre estudiante y profesor, entre el que sabe y el que no, entre la autoridad y el subordinado, para convertirse en un diálogo entre compañeros, para aprender a valorar y respetar la opinión de un igual, y fundamentalmente para enriquecer la construcción del conocimiento a través de la socialización con los demás.

Finalmente, este estudio muestra la importancia de la evaluación continua; el profesor y el estudiante están en continua revisión y corrección del trabajo, lo que facilita un seguimiento más cercano del proceso de aprendizaje del estudiante. Además, permite al alumno una mejor disposición y mayor motivación ya que equivocarse no trae esas

consecuencias académicas negativas inmediatas sino que por el contrario, verbalizar el error, aprender de él y continuar el trabajo parece ser relevante en el aprendizaje.

5.2 Limitaciones y ajustes

Uno de los aspectos que creo frenó el inicio del diseño de la simulación fue el hecho de que algunos estudiantes no conocieran el programa de simulación, aspecto que me hizo gastar varias sesiones de clase. Esto podría ser resuelto si por ejemplo se implementa este tipo de estrategia desde física I; no solo para aprender el programa sino para poder medir la mejora en el aprendizaje en otro tipo de temas de física.

Otro aspecto que me parece importante sería el poder realizar esta investigación en una institución educativa de bajos recursos y comparar los resultados. Esta investigación no se puede generalizar a otros contextos o a otras poblaciones ya que trabajamos con un grupo de estudiantes con características bien definidas. Si embargo, es importante aclarar que el programa Modellus es gratuito en la red y hoy las escuelas públicas cuentan con computadores para poder realizar este tipo de práctica lo que motivaría a realizarla.

Por último, me hubiera gustado haber hecho seguimiento a uno o varios estudiantes a lo largo de los tres momentos de grabación, para describir más en detalle los cambios que se sucedieron en sus aprendizajes y compararlos.

Bibliografía

- Alavi M. Computer-mediated collaborative learning: An empirical evaluation. *MIS Quarterly*, June, 159-174; 1994
- Berry A. Helping students learn from laboratory work. *Australian Science Teachers Journal*, Canberra, Mar 1999.
- Boix Mansilla & Gardner, ¿Cuáles son las cualidades de la comprensión?, en Stone M. (compiladora), *Enseñanza para la comprensión*, Argentina 1999
- Bostel C., The use of textbooks as a tool during collaborative Physics learning. *The Journal of Experimental Education*. Washington, Fall 2000
- Brown A.H., Simulated classrooms and artificial student: The potential effects of new technologies on teacher education. *Journal of Research on Computing in Education*; Washington; Winter 1999
- Buteler L., La resolución de problemas en Física y su representación: un estudio en la escuela media. *Investigación científica. Enseñanza de las Ciencias*. Vol. 19 (2) pag. 285-295, 2001.
- Caramazza, A., McCloskey, M. & Green, B.: "Naïve Beliefs in "Sophisticated" Subjects: Misconceptions about Trajectories of Objects", *Cognition* 9; 117-123, 1981.
- Champagne, A.B., Klopfer, L.E. & Gunstone, R.F. : "Cognitive Research and the Design of Science Instruction ", *Educational Psychologist* 17; 31-53, 1982.
- Di Sessa, A. : " Knowledge in Pieces ", in G. Forman & Pufall (eds), *Constructivism in the Computer Age*, Lawrence Erlbaum Hilldale, NJ,49-70, 1998

- Edelson D., Realising Authentic Science Learning through the Adaptation of Scientific Practice; Northwestern University, Evanston. Illinois, USA, 1998
- Hargis J., Can students learn science using the Internet ? Journal of Research on Computing in Education; Washington; Summer, 2001.
- Hewson, P., & A Becket Hewson, M.: “The Role of Conceptual Conflict in Conceptual Change and the Design of Science Instruction”, Instructional Science 13, 1-13, 1984.
- Klein, J. & Doran, M. : Implementing Individual and Small Group Learning Structures with a Computer Simulation. Educational Technology, Research and Development; 47, 1; 1999
- Laffey, J., Tupper, T., Musser, D., & Wedman, J., A computer-mediated support system for project based learning. Educational Technology Research and Development, 46 (1); 73-86; 1998
- Lapp D., Using Data – Collection Devices to Enhance Students’ Understanding, Mathematics Teachers Vol. 93, #6, Sep. 2000.
- Linn, M., “Science , in R Dillon & R.J. Sternberg (eds), Cognition and Instruction, Academic Press, N.Y. , 155-204, 1986.
- Linn M., The impact of Technology on Science Instruction: Historical Trends and Current Opportunities, University of California, Berkeley, USA, 1999
- Loverude M., & Colaboradores, Student Understanding of the first law of Thermodynamics: Relating work to the adiabatic compression of an ideal Gas. Department of Physics, University of Washington, Seattle, Sep. 2001

- Mac Farlane A., & Friedler Y., You want it, When you want it: The Role of Portable Computers in Science Education, Homerton College, University of Cambridge, UK, The Hebrew University of Jerusalem, Israel, 1998
- Perkins D., ¿Qué es la comprensión? En Stone M. (compiladora), Enseñanza para la comprensión, Argentina 1999
- Springer, L., Stanne, M. & Donovan S.: Effects of Small-Group Learning on Undergraduates in Science, Mathematics, Engineering, and Technology: A Meta-Analysis. Review of Educational Research; Spring 2000
- Songer N., Can Technology Bring Students Closer to Science? , University of Michigan, Ann Arbor; USA 1998
- Tao, P. & Gunstone, R., The process of conceptual change in force and motion during computer supported physics instruction. Journal of Research Science Teaching. Vol 36, No 7, 859-882; 1999
- Uribe D., Klein J., Sullivan H., The effect of computer-mediated collaborative learning on solving ill defined problems. Educational Technology, Research and Development. Washington: Vol 51; 5-15; 2003
- White B., Computer microworlds and scientific inquiry: an alternative approach to science education, University of California, Berkeley, USA, 1999

- Wisnudel M., Stratford S.,Krajcik J. & Soloway E., Using Technology to Support Students' Artifact Construction in Science, University of Michigan, Ann Arbor, USA, Maranatha Baptist Bible College, Watertown. 1998

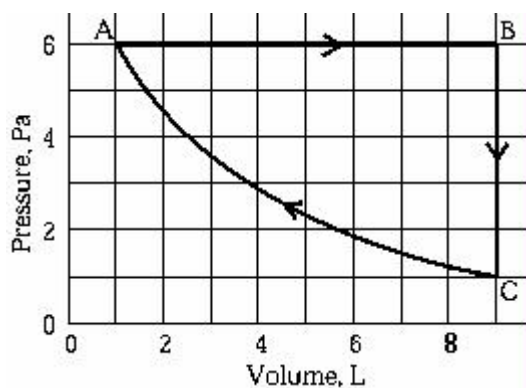
Anexo 1

COLEGIO LOS NOGALES
EVALUACIÓN FÍSICA II
TERMODINÁMICA

NAME _____ DATE _____

PLEASE SHOW YOUR PROCEDURE IN A CLEAR, ORGANIZED WAY

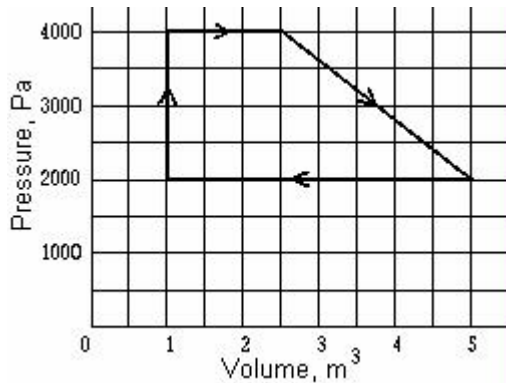
1.



The work done by the system shown in the graph in expanding from 5 to 6 L is

- A. the same as for any 1-L interval between A and B.
- B. 3.8 mJ
- C. 2.2 mJ
- D. 26 mJ
- E. 9.0 mJ

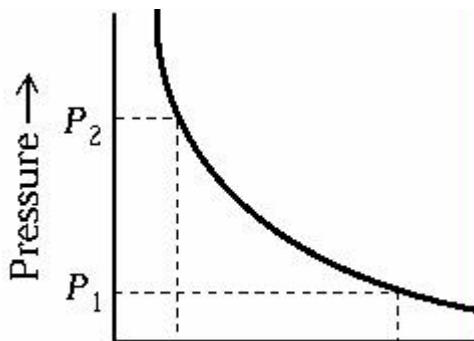
2.



A reversible heat engine has the PV graph shown. The net work performed in one cycle is approximately

- A. zero
- B. 2.0 kJ
- C. 4.2 kJ
- D. 5.5 kJ
- E. 10 kJ

3.



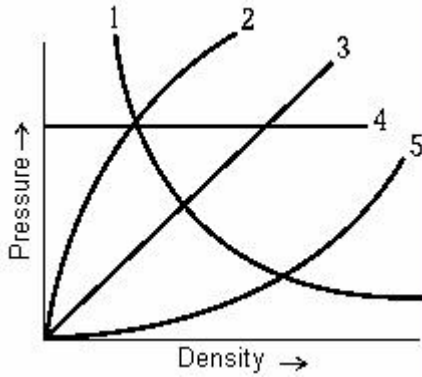
The work done by a gas on a piston can be obtained from the graph, provided the abscissa represents the

- A. internal energy.
- B. temperature.
- C. density.

D. volume.

E. time.

4.



The curve on the graph of pressure versus density that best represents an isothermal process is

A. 1

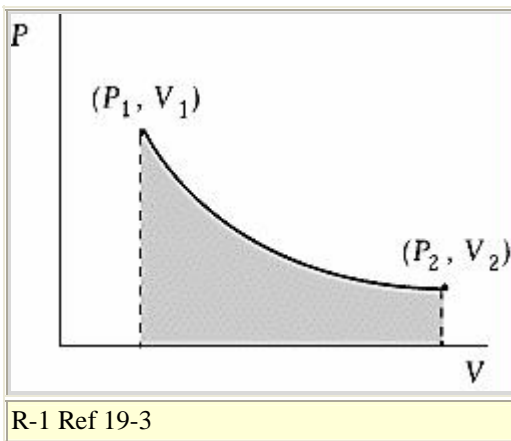
B. 2

C. 3

D. 4

E. 5

5.



An ideal gas initially at 50°C and pressure $P_1 = 250 \text{ kPa}$ occupies a volume V_1

= 4.5 L. It undergoes a quasi-static, isothermal expansion until its pressure is reduced to 150 kPa. How much work was done by the gas during this process? $R = 8.314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$
 $= 8.206 \text{ L}\cdot\text{atm/mol}\cdot\text{K}$.

- A. 116 J
- B. 320 J
- C. 575 J
- D. 640 J
- E. 850 J

6. The equation of state for a certain gas under isothermal conditions is

$$PV = 31.2$$

where the units are SI. The work done by this gas as its volume increases isothermally from 0.2 m^3 to 0.8 m^3 is approximately

- A. 2.86 J
- B. 28.6 J
- C. 43.3 J
- D. 71.8 J
- E. 115 J

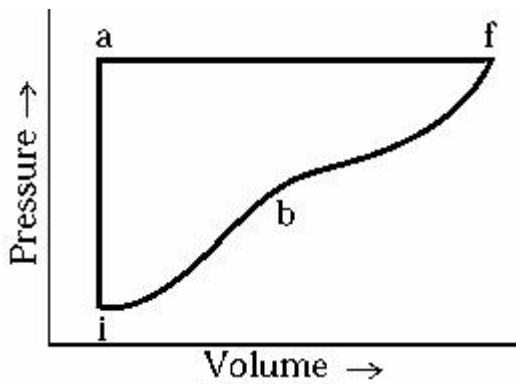
7. The Carnot cycle consists of

- A. a quasi-static isothermal absorption of heat from a hot reservoir.
- B. a quasi-static adiabatic expansion to a lower temperature.
- C. a quasi-static isothermal exhaustion of heat to a cold reservoir.
- D. a quasi-static adiabatic compression to the initial state of the system.
- E. All of these are correct.

8. When you make ice cubes, the entropy of the water

- A. decreases.
- B. remains unchanged.
- C. increases.
- D. is unchanged as the water cools but decreases as the water freezes.
- E. decreases while the water is cooling but does not change as it turns to ice.

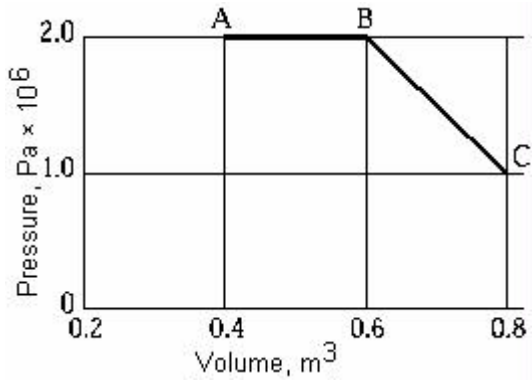
9.



An ideal gas system changes from state i to state f by paths iaf and ibf. If the heat added along iaf is $Q_{iaf} = 50$ cal, the work along iaf is $W_{iaf} = 20$ cal. Along ibf, if $Q_{ibf} = 40$ cal, the work done, W_{ibf} , is

- A. 10 cal
- B. 20 cal
- C. 30 cal
- D. 40 cal
- E. 50 cal

10.



A gas expands along path ABC. The work done by the gas in this expansion is

- A. 4.0 10^{-5} J
- B. 5.0 10^{-5} J
- C. 6.0 10^{-5} J
- D. 7.0 10^{-5} J
- E. 8.0 10^{-5} J

Anexo 2

COLEGIO LOS NOGALES PROYECTO FÍSICA II PRIMERA LEY DE TERMODINÁMICA

- **Propósito.**

Encontrar alguna aplicación de la primera ley de termodinámica en un caso de la vida real tomando como base la construcción del ciclo de Otto y el de Diesel analizando el calor y el trabajo que en ellos sucede.

- **Procedimiento**

1. Construya una tabla de valores y grafique cada uno de los siguientes procesos: isotérmico, adiabático, isocórico e isobárico.
2. Investigue y describa los ciclos de Otto y de Diesel en cuanto a sus procesos consecutivos y qué representan físicamente cada uno de ellos.
3. Construya en Excel o en Graphical Análisis los ciclos de Otto y de Diesel mostrando la tabla de datos en forma continua.
4. Desarrolle el siguiente cuestionario:
 1. ¿Cómo analiza usted el calor en cada uno de los procesos de los dos ciclos?
 2. ¿Cómo analiza usted el trabajo en cada uno de los procesos de los dos ciclos?
 3. ¿Qué ventaja tiene cada uno de los ciclos sobre el de Carnot?

- **Conclusión**

Usted debe explicar en términos termodinámicos qué significa cada uno de los ciclos y como transferir esta información a un caso de la vida real.

Anexo 3

COLEGIO LOS NOGALES
TABLA DE CORRECCIÓN PARA PROYECTOS

NOMBRES: _____ MATERIA: _____ FECHA: _____

Verifique cada opción y encierre el número del puntaje asignado. na = no aplica, nr = no responde

<p>A. FORMA DEL PROYECTO (3 Pts.)</p> <p>_____ El título es sugerente y acorde con el proyecto</p> <p>_____ La presentación visual es adecuada</p> <p>_____ Cita las Fuentes usadas e incluye anexos de la información relevante</p> <p>B. COHERENCIA DEL PROCEDIMIENTO (3 Pts.)</p> <p>_____ Hay suficientes datos e información que sustenten las conclusiones</p> <p>_____ Explica al lector el proceso para llegar a las conclusiones</p> <p>_____ Los procesos son consistentes con la conclusión</p> <p>C. GRÁFICAS Y TABLAS (2 Pts.)</p> <p>_____ Las escalas y las unidades están bien manejados</p> <p>_____ La presentación de las gráficas y tablas es de fácil lectura</p> <p>D. CALIDAD DE LOS CALCULOS (5 Pts.)</p> <p>_____ La conclusión esta bien obtenida</p> <p>_____ Los datos de calor están bien analizados.</p> <p>_____ Los datos de trabajo están bien analizados.</p> <p>_____ Distingue diferencias entre los dos ciclos.</p> <p>_____ Las ventajas de los ciclos están bien establecidas.</p> <p>E. CONCLUSION (5 Pts.)</p> <p>_____ Consistente en términos termodinámicos</p> <p>_____ Consistente con el propósito</p> <p>_____ Consistente con el procedimiento</p> <p>_____ Las preguntas planteadas son respondidas</p> <p>_____ Proporciona las citas necesarias</p> <p>F. PROFUNDIZACIÓN (2 Pts.)</p> <p>_____ Profundiza o va mas lejos del trabajo planteado inicialmente</p>	<p>nr 1 2 3 na</p> <p>nr 1 2 3 na</p> <p>nr 1 2 na</p> <p>nr 1 2 3 4 5 na</p> <p>nr 1 2 3 4 5 na</p> <p>nr 1 2 na</p> <p>_____ / 20 = _____%</p> <p>Total Pts.</p>
--	--

Comentarios:

PROTOCOLO DE ENTREVISTA

1. ¿Considera Usted que Modellus le ayudó a entender mejor un proceso termodinámico?

¿Cómo cree usted que le ayudó? Y ¿Por qué le ayudo?

2. En el diseño de la simulación ¿le ayudó a usted el hecho de hacerlo en colaboración con alguien? ¿Cómo le ayudó?

3. Le gusto la estrategia del trabajo en colaboración para comprender mejor el tema? ¿Por qué le gustó?