



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

UNA PRESENTACIÓN DEL CONCEPTO DE ENERGÍA PARA UN CURSO INTRODUCTORIO DE FÍSICA CLÁSICA



T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

FÍSICO

PRESENTA:

GABRIEL DE ANDA LÓPEZ

DIRECTORA DE TESIS:

M. en C. MATILDE MORENO-BELLO CAÑIBE



2005

m. 342314



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA 11
MEXICO

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito:

"Una presentación del concepto de energía para un curso introductorio de Física Clásica"

realizado por De Anda López Gabriel

con número de cuenta 07302262-0 , quien cubrió los créditos de la carrera de: Física.

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis
Propietario

Propietario

M. en C. Matilde Moreno-Bello Cañibe

Matilde Moreno-Bello Cañibe

Propietario

Dr. Ramiro García García

Ramiro García García

Propietario

Dra. María del Pilar Segarra Alberú

María del Pilar Segarra Alberú

Suplente

Dra. Patricia Goldstein Menache

Patricia Goldstein Menache

Suplente

M. en C. Héctor Domínguez Álvarez

Héctor Domínguez Álvarez

Consejo Departamental de Física

Alicia Zarzosa Pérez
M. EN C. ALICIA ZARZOSA PEREZ

ESTADO DE GUERRERO
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN
UNIVERSIDAD NACIONAL AVENIDA 11
MEXICO

Dedico este trabajo con mucho cariño a:

Mis hijas: Viridiana, Ximena y María
Fernanda, quienes son la fuente inagotable
de mi inspiración, alegría y esfuerzo.

A mi esposa Juana, que ha tenido la entrega
y fortaleza en todo momento para mi plena
realización.

A mis padres Juana y Rafael, sin los cuales
no hubiera sido posible la realización de este
proyecto.

Agradecimientos

De entre las muchas personas que de una, u otra, manera contribuyeron en la realización de este trabajo, quiero brindar mi más sincero agradecimiento a la M. en C. Matilde Moreno-Bello Cañibe, ya que con su gran disponibilidad, dirección y apoyo he tenido la oportunidad de llevarlo a cabo.

También, quiero hacer un explícito reconocimiento al Fis. Andrés Porta, así como al M en. C. David Vázquez Santa Ana, por sus valiosas sugerencias y comentarios que me permitieron enriquecer, ampliar y profundizar lo que un principio era un proyecto.

ÍNDICE

Introducción

iv

Capítulo 1: Enseñanza aprendizaje de la física en el bachillerato basada en el concepto de energía, bajo un enfoque constructivista.

1.1 Introducción.	1
1.2 El concepto de energía como eje estructurador para el aprendizaje significativo de física.	4
1.3 Unidades didácticas para el aprendizaje significativo de mecánica y termodinámica.	8
1.3.1 Generalidades.	8
1.3.2 Análisis del contenido científico: contenidos actitudinales, conceptuales y procedimentales.	10
1.3.3 Análisis didáctico.	18
1.3.4 Selección de estrategias didácticas.	18
1.3.5 Estrategias de evaluación.	22

Capítulo 2. Introducción a la mecánica y termodinámica bajo el concepto de energía.

2.1 Introducción.	24
2.2 Secuencias didácticas para introducir el concepto de energía.	26
2.3 Recapitulación.	44
2.4 Test para ubicar las preconcepciones de fuerza, energía y trabajo.	45

Capítulo 3. Fenómenos mecánicos.

3.1 Introducción.	46
3.2 Obstáculos epistemológicos y lineamientos generales para el aprendizaje significativo de fuerza, trabajo y energía.	49
3.3 Secuencias didácticas para el concepto de interacción-energía.	53
3.3.1 Fase de iniciación a los conceptos de interacción-energía.	53
3.3.2 Fase de información e introducción a la tercera ley de Newton.	55
3.3.3 Fase de ampliación y aplicación de la tercera ley de Newton.	55
3.3.4 Fase de información e introducción a la segunda ley de Newton.	57
3.3.5 Fase de ampliación y aplicación de la segunda ley de Newton.	58
3.4 Secuencias didácticas para los conceptos de trabajo y energía.	64
3.4.1 Fase de introducción a los conceptos de trabajo y energía.	64

3.4.2 Fase de ampliación y aplicación de los conceptos de trabajo y energía.	65
3.4.3 Fase de ampliación y aplicación del concepto de energía cinética rotacional y fuerza centrípeta.	70
3.5 Secuencias didácticas para los principios de conservación de la energía mecánica.	71
3.5.1 Fase de información al principio de la conservación de la energía mecánica.	71
3.5.2 Fase de introducción a la conservación de la energía cinética.	72
3.5.3 Fase de introducción al principio de la conservación de la energía mecánica.	74
3.5.4 Fase de ampliación y aplicación de la conservación de la energía mecánica total.	75

Anexos.

<i>Anexo I: Programa operativo de fenómenos mecánicos (dinámica).</i>	77
<i>Anexo II: Mapa conceptual de fuerza.</i>	78
<i>Anexo III: Mapa conceptual de los fenómenos mecánicos.</i>	79

Capítulo 4. Fenómenos termodinámicos.

4.1 Introducción.	80
4.2 Secuencias didácticas para los conceptos de ley cero, temperatura, calor, trabajo y energía: primera ley de la termodinámica.	83
4.2.1 Fase de iniciación a los conceptos de temperatura, calor, trabajo y energía.	86
4.2.2 Fase de información e introducción a los conceptos de ley cero, temperatura, calor, trabajo y energía.	86
4.2.3 Fase de información e introducción a la ley cero y al concepto de temperatura.	87
4.2.4 Fase de información e introducción a las variables de estado y energía interna bajo una interpretación microscópica.	87
4.2.5 Fase de información e introducción a la ecuación de estado de un gas ideal: leyes de Boyle y Gay-Lussac.	92
4.2.6 Fase de ampliación y aplicación de las leyes de Boyle y Gay-Lussac.	93
4.2.7 Fase de ampliación y aplicación de la ecuación de estado del gas ideal.	96
4.2.8 Fase de información e introducción al concepto de calor.	99
4.2.9 Fase de ampliación y aplicación del concepto de calor.	103
4.2.10 Fase de información e introducción a los mecanismos de transferencia de calor.	105
4.2.11 Fase de ampliación y aplicación de los mecanismos de transferencia de calor.	105

4.2.12 Fase de información e introducción a la relación entre calor y trabajo: primera ley de la termodinámica.	106
4.2.13 Fase de ampliación y aplicación de la primera ley de la termodinámica.	107
4.3 Secuencias didácticas para el concepto de entropía y la segunda ley de la termodinámica.	113
4.3.1 Fase de información e introducción al concepto de entropía y a la segunda ley de la termodinámica.	117
4.3.2 Fase de ampliación y aplicación de la segunda ley de la termodinámica.	120
4.3.3 Fase de información e introducción a los conceptos de la máquina térmica.	121
4.3.4 Fase de ampliación y aplicación de los conceptos de la máquina térmica.	122
<i>Anexos.</i>	
<i>Anexo I: Mapa conceptual de los fenómenos termodinámicos.</i>	129
<i>Anexo II: Programa operativo de fenómenos termodinámicos.</i>	130
<i>Anexo III: Test para ubicar los conceptos previos de termodinámica.</i>	131
<i>Anexo IV. Tabla 8: Procesos termodinámicos elementales para un gas ideal.</i>	133
Capítulo 5. Conclusiones y perspectivas.	134
Referencias bibliográficas.	137

INTRODUCCIÓN

La experiencia docente muestra que en la enseñanza-aprendizaje de la física en el ciclo de enseñanza media, así como en los niveles básicos universitarios, se presentan diversos obstáculos entre los que caben destacar, debido a la importancia que se les ha otorgado en tiempos más o menos recientes en nuestro contexto, tanto a la influencia de los *conceptos previos*¹ y de las *pre-concepciones*² con las que el aprendiz confronta esta temática, así como a las *ideas que sobre la ciencia* ellos poseen. Una consecuencia notable de estas cuestiones, es el extendido prejuicio que sobre la física y, en general, sobre el conocimiento científico actual, muchos alumnos comparten, a saber, que el conocimiento científico es una colección de ecuaciones y definiciones que deben memorizar, más que *entender*.

Hoy sabemos que este tipo de factores constituyen un obstáculo formidable para el aprendizaje de la física pero se puede decir, con base en la propia experiencia docente, *que de los aspectos principales de esas dificultades se encuentra, sin duda, la forma tradicional de organizar y llevar a cabo la enseñanza*, en donde su estructuración parte de lo simple a lo complejo, entendiéndose esto desde el punto de vista lógico, y no como lo más simple o complejo desde la propia perspectiva de los aprendices, cuestiones, ambas, que comúnmente resultan opuestas. Así, cabe preguntarse si este camino tradicional, usual para la mente de un científico, aunque no por ello un camino obvio, es también el más adecuado para que nuestros estudiantes lleguen a un *aprendizaje significativo de la física*, o sea, a un aprendizaje físico apropiado y estable de acuerdo con su *estructura cognitiva*. Al respecto, ha resultado pertinente retomar algunos de los cuestionamientos de epistemólogos y científicos interesados en la enseñanza de la ciencia, cuestionamientos que puedo resumir en la siguiente pregunta hecha por J. Piaget:

¿son los conceptos "simples" los de más fácil asimilación?

La respuesta a este tipo de cuestionamientos, y en particular a esta pregunta específica, parece que es negativa, pues si se tiene en cuenta que los conceptos "simples", tales como los de *partícula, masa, posición, trayectoria, velocidad, temperatura*, etcétera, son en realidad resultados de complejas abstracciones acuñadas a lo largo de los siglos, no parece claro que sean buenos puntos de partida para estructurar la *formación científica* de los iniciados en estas disciplinas.

Si bien es cierto que en las primeras etapas del desarrollo de la física existía "correspondencia directa" entre los *aspectos naturales evidentes* y su *esencia* o

¹ Los *conceptos previos* son aquellas habilidades, conceptos o juicios (proposiciones) científicos, que previamente ha adquirido el estudiante, verbigracia, sumar números (expresiones decimales), multiplicarlos, establecer juicios tales como "la Luna gira alrededor de la Tierra", etcétera.

² Las *pre-concepciones* incluyen las ideas, prejuicios, actitudes, valores, etcétera, no necesariamente científicos, con las que el estudiante mira un ente o fenómeno, verbigracia, la observación que frecuentemente hacen cuando se comienza el estudio de la energía potencial: "la energía potencial está dentro del objeto". En una palabra, son aquellas cuestiones próximas a su *percepción*.

conceptualización sistemática (*nociones* que a la postre se han ido precisando en *definiciones*), esto ha perdido vigencia para el joven de hoy, inmerso en una cultura y una tecnología en donde vocablos tales como "molécula", "energía", "fuerza", "potencia", "calor", "efecto invernadero", "agotamiento de recursos naturales", "corriente eléctrica", etcétera, forman parte de su lenguaje cotidiano desde la infancia pero que en la mayoría de los casos no resultan ser cuestiones "claras y distintas" del todo, o sea, no llegan a ser *conceptos*. Ante esta cotidianidad, parece claro que las estrategias tradicionales de enseñanza de las ciencias son poco efectivas para promover un *aprendizaje significativo* de las mismas (aprendizaje que, entre otras cosas, tiene presente este cambio semántico). Más aún, esas estrategias tradicionales de enseñanza agravan más todavía esta situación al sostener entre sus postulados cuestiones como las siguientes:

- enseñar es una tarea fácil y no requiere una preparación específica,
- el proceso de enseñanza aprendizaje se reduce a una simple transmisión y recepción de conocimientos elaborados,
- el fracaso de muchos alumnos se debe a sus propias deficiencias: falta de nivel, falta de capacidad, etc.

En cambio, si nosotros, los profesores inmersos en estos acontecimientos, nos atrevemos a caminar con nuestros estudiantes por otros senderos con la intención de alcanzar claros en la espesura de la ciencia, tal vez podamos arraigar en ellos una actitud sólida y positiva hacia el conocimiento científico.

En la mayoría de los modelos renovadores de la enseñanza de la ciencia se han considerado las dificultades de la enseñanza tradicional ya señaladas, poniendo además en entredicho sus presupuestos. Todos estos modelos tienen en común el hecho de considerar al individuo, al *aprendiz*, como el principal actor de su propio aprendizaje, en el sentido de que ahora la enseñanza parte de su propio *lenguaje, creencias e ideas* con los que ellos entienden "de entrada" los temas específicos a desarrollar, *estructura cognitiva* que al colocarla ante "situaciones científicamente controladas", por así decirlo, se espera vaya adecuando y asimilando paulatinamente la *interpretación científica de la naturaleza*, propia de la mirada física del mundo.

Uno de estos enfoques lo proporciona la *teoría del aprendizaje significativo* de David Ausubel³, la cual he retomado para este trabajo pues ofrece un marco teórico apropiado para la realización eficiente de la labor educativa y de la que quiero dar cuenta de los siguientes aspectos. Por un lado, el rasgo más importante del acto enseñanza- aprendizaje es que este debe darse a partir de lo que el alumno ya sabe, o sea, se debe partir de su *estructura cognitiva previa y relacionada con un tema o campo específico del conocimiento*. Más aún, dentro de estas estructuras cognitivas se encuentran o existen nociones o conceptos (e ideas relacionadas con ellos) que resultan relevantes y de suma importancia para conectar la nueva información e ir paralelamente enriqueciendo sus

³ De las referencias empleadas en este trabajo, concernientes a la teoría del aprendizaje significativo, cabe destacar: *Educational Psychology: a Cognitive View*, cuya traducción al castellano se llama *Psicología educativa: un enfoque cognitivo*, publicada por Editorial Trillas, México, 1991, 5a edición.

significados, facilitando y haciendo posible el proceso educativo de una manera adecuada y pertinente, a lo largo de la cual el aprendiz va sustituyendo o ampliando sus horizontes de interpretación. En particular, sus *horizontes de interpretación físicos*. A estas nociones o conceptos Moreira los ha denominado *organizadores previos*⁴, siendo la noción-concepto de *energía* el organizador de la propuesta aquí presentada, dado que con su *ley de conservación* resulta ser un elemento unificador y de gran poder explicativo, presentando con ello amplias posibilidades de generalización, por lo que al actuar como marco referencial permite ordenar las estructuras previas de los estudiantes, facilitándoles su aprendizaje en los temas de física del nivel educativo que estamos tratando, a saber, del nivel de enseñanza media superior.

De esta manera, al poner la noción de "energía" al lado de las nociones mecánicas y termodinámicas básicas, se tiene lugar para establecer relaciones ricas y diversas con las que se puede tratar *constructiva y positivamente* los temas de *Mecánica y Termodinámica* del bachillerato puesto que, partiendo de las nociones comunes que ya tiene el estudiante de "movimiento", "fuerza", "calor", "temperatura", etcétera, se le puede ir llevando a una re-significación de sus propias palabras o términos al *diferenciarlos, precisarlos, integrarlos* y, en definitiva, *reconciliarlos con el sentido que la física les otorga* a lo largo de un proceso enseñanza-aprendizaje sustentado en el constructivismo en el que el concepto de energía, junto con su ley de conservación, sea considerado como eje estructurador.

Con base en lo anterior se puede plantear, entonces, la siguiente tesis general:

una enseñanza de la física sustentada en la Teoría del aprendizaje significativo de David Ausubel, permite que los estudiantes de bachillerato construyan un conocimiento físico sólido y estable, construcciones conceptuales que les permiten, además, poner ese conocimiento al servicio de sus propios intereses,

tesis que se pretende sustentar por medio de

una propuesta constructivista para la enseñanza de la física en el bachillerato, en donde el concepto de energía (y su ley de conservación) sea el eje estructurador; en particular, en lo que atañe a los temas de mecánica y termodinámica, que son los temas que constituyen normalmente el primer curso de física de ese nivel educativo.

La manera en que he desarrollado esta propuesta educativa, y que se presenta en este trabajo, es como sigue.

El aprendizaje de Mecánica y Termodinámica del bachillerato, estructurado a través del concepto de energía, comienza con actividades (secuencias didácticas) atractivas y cercanas (contextualizadas) a los estudiantes en donde se busca hacer evidentes los *atributos de la energía*, a saber, *su cuantificación, su(s) transformación(es), su(s) transferencia(s) y su conservación-degradación*, de manera que le permitan una primera diferenciación y

⁴ Cudmani, L. y Fontdevila, P. Aprendizaje significativo del electromagnetismo: organización de contenidos en base a investigaciones sobre concepciones previas. Pág. 211-227.

precisión del concepto de *energía*. Además, con esta primera aproximación serán entresacadas algunas de las nociones o sinónimos del lenguaje cotidiano que resultarán cruciales para los temas bajo consideración como son los de "energía de movimiento", "energía de posición", "energía eléctrica", "fuerza", "calor" y "temperatura", "energía de los alimentos", etcétera. En el capítulo 2 se expone una manera de llevar a cabo esta introducción al concepto de energía que prepara, además, el desarrollo de los temas de Mecánica (capítulo 3) y Termodinámica (capítulo 4) bajo este marco referencial.

En el capítulo 3 se avanza en la construcción conceptual de los temas de Mecánica, aprovechando para ello las nociones *ancla*⁵ de *interacción*, *energía* y *trabajo*, puestas en relieve en el capítulo anterior. En este caso, a través de las secuencias didácticas ahí expuestas, se trata de inducir al estudiante a que observe las interacciones entre sistemas mecánicos, así como los intercambios de energía dados entre ellos, cuestión esta última que se manifiesta en cambios de configuración de los sistemas interactuantes (energía potencial), o bien, en cambios patentes de movimiento (energía cinética). Más aún, en estas secuencias didácticas se le proporcionará al estudiante una definición operacional de *trabajo* que le permita cuantificar los intercambios de energía y pueda así establecer, para el caso de la energía mecánica, el *principio de conservación* así como reparar en algunas manifestaciones de la *degradación de la energía* (*calor*, *ruido*, etc.). De esta manera, las secuencias didácticas de este capítulo deberán dar lugar a que los estudiantes vayan diferenciando, precisando y, ahora sí, reconciliando los conceptos mecánicos elaborados con su estructura cognitiva previa pues, conviene recordar, que con las actividades expuestas en el capítulo anterior los estudiantes posiblemente solo habrán adquirido una idea general y poco precisa de las mismas.

Como ha de observarse, la propuesta didáctica aquí presentada no sólo toma en cuenta las pre-concepciones de los estudiantes, que forman parte del marco referencial con la que ellos interpretan los conceptos y las actividades que se les proponen, sino que además adquiere un papel central la manera de secuenciar estas actividades, tratando de que ésta secuenciación *conduzca* y *facilite* al estudiante la construcción pertinente de los conceptos físicos. Así, en el último capítulo se ha llegado a "invertir", por llamarlo de alguna manera, la secuenciación de enseñanza tradicional de los conceptos termodinámicos, presentándole al alumno los conceptos de *energía interna* y *temperatura* desde el inicio e insistiendo y empleando el *modelo molecular de la materia*⁶, modelo que se propone como vehículo para que el estudiante transite, diferenciando y reconciliándose conceptualmente, con la temática termodinámica específica de su programa de estudios. Para tal efecto, este recorrido comienza con el establecimiento de la noción (concepto) de *equilibrio termodinámico* así como con la introducción y manejo de las *variables de estado*, que serán puestas en juego a

⁵ M. A. Morerira define este término de la siguiente manera: *un concepto ancla es una idea, un concepto, una proposición ya existente en la estructura cognitiva, capaz de servir de "anclaje" para la nueva información de modo que ésta adquiera, así, significado para el aprendiz.*

⁶ "Si en algún cataclismo fuera destruido todo el conocimiento científico y solamente pasara una frase a la generación siguiente de criaturas, ¿cuál enunciado contendría el máximo de información en el mínimo de palabras? Yo creo que es la *hipótesis atómica* (o el *hecho atómico*, o como quieran llamarlo), que *todas las cosas están formadas por átomos -pequeñas partículas que se mueven con movimiento perpetuo, taryéndose unas a otras cuando están separadas por una pequeña distancia, pero repeliéndose cuando se las trata de apretar una contra otra.*" R. P Feynman. *Lecciones de física*, Vol 1.

lo largo de todo este desarrollo didáctico, dándole prioridad al sentido físico de las mismas y proporcionándole al estudiante una manera "práctica" de *cuantificar la transferencia de energía* al no sólo observar, sino también saber medir, los cambios de las variables físicas de estado. A mi manera de ver, con ello se favorece la construcción de modelos físicos por parte del aprendiz, en lugar de únicamente destacar las representaciones algebraicas entre las variables de estado, lo que además permite construir, organizar y diferenciar de manera constructiva algunas de las nociones tenidas como sinónimos en el lenguaje cotidiano tales como "calor"- "temperatura" y "calor"- "energía interna", nociones o conceptos estrechamente vinculados con los procesos de *interacción térmica* e *interacción mecánica*, asumiendo de esta manera que el alumno estará en situación de establecer y emplear en casos sencillos tanto a la *primera* como a la *segunda ley de la termodinámica*. Por último, con relación a la construcción de la segunda ley de la termodinámica, en donde el concepto de entropía aparece en primer plano y, sabiendo que en su aprendizaje se presentan diversos obstáculos, este concepto es introducido a través de la degradación de la energía, o sea, asociamos la degradación de la energía con el aumento de entropía en un sistema termodinámico, enfatizando que la energía se conserva (primer principio) pero que, en lo referente a la producción de trabajo, cada vez está más degradada (segundo principio).

1 ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LA FÍSICA EN EL BACHILLERATO BASADA EN EL CONCEPTO DE ENERGÍA, BAJO UN ENFOQUE CONSTRUCTIVISTA

1.1 Introducción.

En el presente trabajo se expone una propuesta didáctica para la enseñanza-aprendizaje de *mecánica* y *termodinámica* para bachillerato, basada en el concepto de energía. La propuesta está orientada por los principios básicos del *constructivismo* que, de acuerdo con David Ausubel, uno de sus fundadores, se puede resumir de la siguiente manera:

Si tuviese que reducir toda la psicología educacional a un sólo principio, diría lo siguiente: el factor aislado más importante que influencia el aprendizaje, es aquello que el aprendiz ya sabe. Averíguese esto y enséñese de acuerdo a ello.

De esta manera, la enseñanza-aprendizaje de la mecánica y la termodinámica basada en el concepto de energía, debe partir de lo "que el aprendiz ya sabe" y que, de acuerdo con este autor, significa nada menos que partir de su *propia estructura cognitiva*, o sea, del contenido total y de la organización de *sus ideas* en esas áreas particulares del conocimiento físico.

Se ha considerado al concepto físico de *energía* como uno de los posibles *ejes estructuradores* del conocimiento físico de este nivel de enseñanza, dado que dicho concepto tiene las siguientes características contextuales actuales:

- tiene un papel de primerísima importancia en la física pues, desde el punto de vista que nos ocupa, aparece como:
 - concepto físico básico que, bajo su *conservación*, es un *principio heurístico* de la física;
 - *eje* en torno al cual pueden estructurarse los conceptos de la *mecánica* y la *termodinámica*, al menos en el nivel escolar que nos ocupa;
- es una de las *preocupaciones centrales de otras disciplinas* científicas y técnicas;
- ha llegado a la vida cotidiana de cualquier persona en múltiples y variadas formas o, mejor dicho, *necesidades*.

En efecto, con relación al primer punto señalado cabe destacar la siguiente descripción que hace el físico norteamericano R. P. Feynman¹ del concepto de energía y de su conservación:

Para ilustrar las ideas y la clase de razonamiento que se puede usar en física teórica, examinaremos una de las leyes más básicas de la física: la conservación de la energía. Hay un hecho, o, si se prefiere, una *ley*, que gobierna todos los fenómenos naturales conocidos hasta la fecha. No se conoce excepción a esta ley —es exacta hasta donde sabemos—. La ley se llama la *conservación de la energía*. Establece que hay cierta cantidad que llamamos energía, que no cambia en los múltiples cambios que ocurren en la naturaleza. Esta es una ley muy abstracta, porque es un principio matemático; significa que hay una cantidad numérica que no cambia cuando algo ocurre. No es la descripción de un mecanismo, o de algo concreto; ciertamente es un hecho raro que podamos calcular cierto número y que cuando terminemos de observar que la naturaleza haga sus trucos y calculemos el número otra vez, éste será el mismo.

A continuación Feynman hace una analogía de la energía y su conservación de la que destaca los siguientes aspectos:

Primero, cuando estamos calculando la energía, a veces algo de ella deja el sistema y se va, y a veces, algo entra. Para verificar la conservación de la energía debemos tener cuidado de no agregar ni quitar nada. Segundo, la energía tiene un gran número de *formas diferentes*, y hay una fórmula para cada una. Estas son: energía gravitacional, energía cinética, energía calórica, energía elástica, energía eléctrica, energía química, energía radiante, energía nuclear, energía de masa. Si tomamos el total de las fórmulas para cada una de estas contribuciones, no cambiará a excepción de la energía que entra y que sale.

y agrega que:

Es importante darse cuenta que en la física actual no sabemos lo que la energía *es*. No tenemos un modelo de energía formada por pequeñas gotas de un tamaño definido. No es así. Sin embargo, hay fórmulas para calcular cierta cantidad numérica, y cuando las juntamos todas nos da siempre el mismo número. Es algo abstracto en el sentido que no nos informa el mecanismo para las diversas fórmulas [con las que se calcula la energía].

De esta manera, el concepto de energía es un concepto físico básico pues, bajo la ley de su conservación, *aparecen* todos los fenómenos naturales conocidos. Además, es un principio físico heurístico, dado que, como señala Feynman, allí en donde la cantidad numérica correspondiente a la energía de un sistema cambia de valor, es que no se han considerado entradas (*alimentación*) o salidas (*fugas o degradación*) de energía, o también, que no hemos considerado otras *formas de energía* que deben estar en el sistema y de las que no hemos dado cuenta. Más aún, retomando en el horizonte de la enseñanza-aprendizaje lo que Feynman escribe al principio de las citas expuestas, el razonamiento físico acerca de los fenómenos naturales en términos de energía, su conservación y degradación, *puede devenir paradigma de pensamiento físico del mundo* en los estudiantes que estén bajo un proceso de aprendizaje que toma a éste concepto, y a su ley, como eje estructurador.

¹ Feynman, R. P. Lectures on Physics. Vol I. Fondo Educativo Interamericano. USA. 1971. Capítulo 4. Págs. 1-3.

Los que nos dedicamos a la enseñanza de la física sabemos que el concepto de *energía* es abstracto pero, ¿la noción común del término "energía" es en realidad algo ajeno a las personas actualmente? Parece que la respuesta a esta pregunta es *NO*, como lo muestran cada vez más hechos de índole diversa y que van desde la preocupación por el "contenido energético" de los alimentos y bebidas, hasta la preocupación de otra guerra por el petróleo (en este caso por el nuestro), sin olvidar las válidas preocupaciones por su generación y distribución en el corto y mediano plazos para una población que cada vez es más grande. En este sentido se puede decir, sin exagerar, que el término "energía" es de uso frecuente y cotidiano, quizá por el gran impacto real y visible que tiene en nuestra vida corriente, aunque cabe destacar que su *significado*, propiamente dicho, queda en la más completa oscuridad y confusión². Ahora bien, sabemos que la introducción rigurosa, clara y general de cualquier concepto no es fácil y, aún más, si ese concepto es abstracto y se encuentra relacionado con otros conceptos también abstractos, su enseñanza se complica, a menos que el mismo aparezca bajo diferentes y múltiples connotaciones (no conceptuales) en el lenguaje corriente, de tal suerte que *exija una explicación*. Tal es el caso, a mi parecer, del concepto físico de *energía*. Sin embargo, lo que tradicionalmente hemos venido haciendo los profesores de bachillerato con la *instrucción* de este concepto, y de su ley, ha sido presentarlo tal y como lo desarrollan los libros de texto, también tradicionales, en donde se le presenta a través del siguiente esquema:

trabajo – energía – principio de conservación

que se ha mostrado poco eficaz a lo largo de muchas generaciones de estudiantes, debido tal vez a que de esta manera se restringe el concepto de *energía* sólo al campo de la *mecánica* y no coloca al estudiante en situación de aplicar el *principio de conservación* en situaciones variadas, como señalan (Driver y Warrington 1985)³, dejando sin resolver, además, el conflicto entre el *principio de conservación* y la *degradación de la energía*; incluso, en el propio campo de la *mecánica*, esta manera de instruir al estudiante no evita la confusión entre los concepto de *fuerza*, *trabajo*, *energía* y *potencia*. Así, con este tipo de instrucción no se proporciona una *idea global de energía* que incluya su *cuantificación*, *transferencia*, *transformaciones*, así como su *conservación y degradación*, cuestión que yo retomo para desarrollar los temas de *mecánica* y *termodinámica*, pues una didáctica constructivista, con el concepto de *energía* (y su ley de conservación) *como eje estructurador*, me parece una manera pertinente y adecuada para los jóvenes que estudian actualmente el bachillerato.

² Cf. Capítulo 2, secuencia didáctica 1.

³ Driver, R y L. Warrington, "Student's of the Principle of Energy Conservation in Problem Situations", en *Physics Education*, 3(3), 1985, pp. 171-176.

1.2 El concepto de energía como eje estructurador para el aprendizaje significativo de física.

Para llevar a cabo esta propuesta consideré conveniente analizar algunas investigaciones acerca de la enseñanza-aprendizaje de la física y, en particular, del concepto de *energía* y la *ley de su conservación*. En dichas investigaciones, se plantean diferentes criterios sobre la manera de abordar la *conceptualización* de este término, lo que ha dado origen a fuertes controversias pues, por un lado, hay autores como (Warren, 1982) que sostienen que se debe dar una *definición operativa de la energía* a partir del *trabajo mecánico*, que es la forma tradicional de enseñanza, mientras que otros, como (Duit 1981. 1987; López Ruperez. 1993)⁴, defienden que:

se puede dar una definición descriptiva de la energía y que mediante un proceso gradual se le vayan incorporando nuevos atributos hasta completar el significado del concepto permitiéndole al alumno arribar a un aprendizaje significativo del mismo.

Bajo este enfoque, que es el que he adoptado en este trabajo, resulta imprescindible⁵ desarrollar las siguientes cuestiones dadas en la temática de mecánica y termodinámica:

- *la pre-concepción de energía*, esto en su aspecto global se refiere a las ideas que el aprendiz tiene acerca del concepto de energía en cada una de las áreas a tratar;
- *la transferencia de energía*, lo que quiere decir que la cantidad que llamamos energía se puede transferir de un sistema a otro (de un sitio a otro);
- *la energía se transforma*, lo que significa que la cantidad que llamamos energía puede transformarse de varias formas, i. e., la energía puede ser convertida de una forma a otra;
- *la conservación de la energía*, principio fundamental que establece que cuando la energía se transfiere de un sistema a otro, o cuando la energía se transforma de una forma a otra, la cantidad de energía no cambia, permanece constante, más aún, este principio es un ejemplo sorprendente de descubrimiento simultáneo, como lo señala Kuhn⁶;
- *la energía se degrada*, que es un aspecto correlativo del principio de conservación pues, cuando uno habla de la energía no se puede evitar también hablar de entropía;

A lo anterior hay que agregar el siguiente aspecto que, aunque (Duit, R., 1984) no lo considera, resulta fundamental en el estudio de la energía y en el establecimiento de sus atributos:

⁴ Citados por Pérez, L., y A. Favieres, "La energía como núcleo en el diseño curricular de la física", *Enseñanza de las Ciencias*, 1995, 13(1), pp. 55-65.

⁵ Duit, R, "Learning the Energy Concept in School, Empirical Results from The Philippines and West Germany", *Physics Education*, 1984, Vol. 19, pp 59- 66.

⁶ Cf. Nota 11 del capítulo 2, página 38.

- *la cuantificación de la energía*, pues como Feynman señala, el concepto de energía es abstracto pero se tienen diversas maneras de cuantificarla lo que a su vez permite establecer firmemente su conservación o degradación, sus posibles transformaciones así como la eficiencia de sus transferencias.

Por lo tanto, bajo este enfoque resultará de suma importancia que el estudiante entienda la *necesidad de cuantificar la energía* (de manera correcta) a partir de las preconcepciones que de ella tenga y de las observaciones cualitativas que se van a ir desarrollando con respecto a sus atributos pues, con ello, el estudiante no sólo tendrá una apreciación cualitativa de los mismos, sino que estará en la posibilidad de verificarlos o, más precisamente, de *re-presentarlos adecuada o físicamente (matemáticamente)*. De hecho, como lo señala Kuhn, la cuantificación de la energía fue una cuestión fundamental para la conceptualización y establecimiento del principio de la conservación de la energía⁷:

La cuantificación de la conservación de la energía resultó, de hecho, una dificultad insuperable para aquellos precursores cuyo equipo intelectual principal se componía de conceptos relacionados con los nuevos procesos de conversión [procesos de transformación y transferencia de energía]. Grove pensó que había encontrado la clave para realizar la cuantificación en la ley de Dulong y Petit relativa a la afinidad química y al calor. Mohr creyó que había obtenido la relación cuantitativa cuando igualó el calor empleado al elevar en un grado la temperatura del agua, con la fuerza estática para comprimir la misma cantidad de agua a su volumen original. Mayer comenzó midiendo la fuerza por el impulso que podía producir. Todas estas iniciativas casuales resultaron completamente improductivas y, de éste grupo, únicamente Mayer logró trascenderlas. Para conseguirlo, tuvo que recurrir a conceptos pertenecientes a un aspecto muy diferente de la ciencia del siglo XIX, aspecto al que ya me referí como el interés por las máquinas y cuya existencia daré ahora por sentada como producto secundario y bien conocido de la revolución industrial. Al examinar este aspecto de la ciencia, encontramos la fuente principal de los conceptos –particularmente los del efecto mecánico o trabajo– necesarios para la formulación cuantitativa de la conservación de la energía. Además, hallaremos toda una multitud de experimentos y de concepciones cualitativas tan relacionadas con la conservación de la energía que brindan otra ruta, independientemente, hacia ésta.

Permítaseme comenzar con el concepto de trabajo. Su análisis nos dará los antecedentes necesarios y también la oportunidad de subrayar una idea, más usual, acerca de las fuentes de los conceptos cuantitativos que hay detrás de la conservación de la energía. En la mayoría de las historias o prehistorias de la conservación de la energía se supone que el modelo para cuantificar los procesos de conversión fue el teorema dinámico, conocido casi desde el principio del siglo XIX como conservación de la *vis viva*⁸...

Hay una razón excelente para que esto haya sido así. La *vis viva* se proponía que fuera mv^2 , el producto de la masa por el cuadrado de la velocidad. Pero hasta una fecha tardía esa cantidad no apareció en los trabajos de ninguno de los

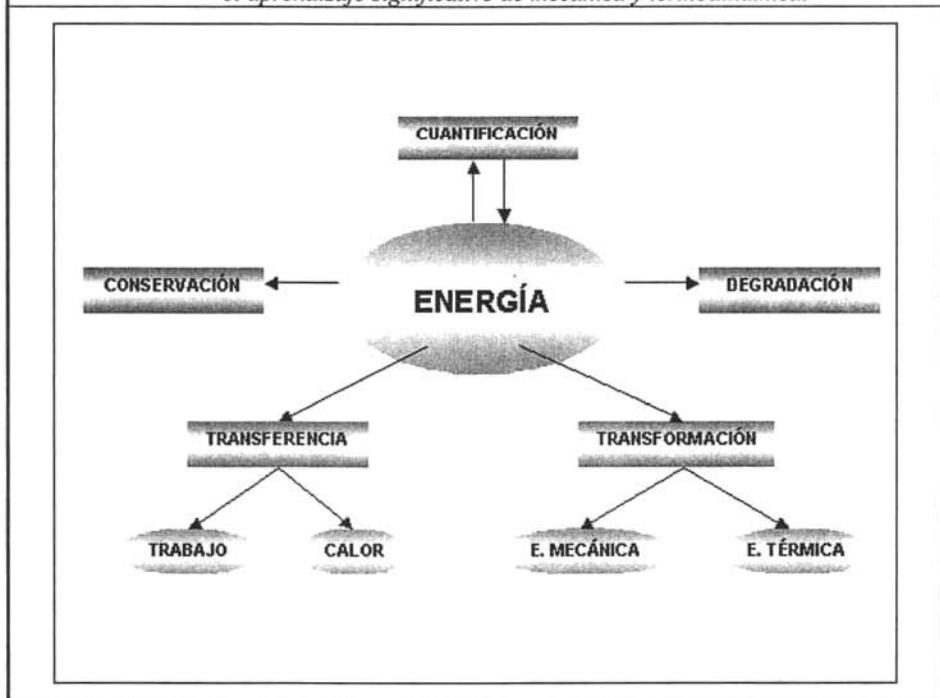
⁷ Kuhn, T. S. *La conservación de la energía como ejemplo de descubrimiento simultáneo*. La tensión esencial. FCE. México. 1982. Págs. 107-108.

⁸ *vis viva*: término introducido por Leibniz para referirse a la "fuerza universal" responsable de los fenómenos naturales.

precursores, salvo en Carnot, Mayer y Helmholtz. ... los pioneros apenas si se interesaron en la energía del movimiento, y tampoco hicieron mucho para aplicar esta expresión de la energía como medida cuantitativa básica. Lo que usaron, por lo menos los que tuvieron éxito, fue fs , o sea, el producto de la fuerza por la distancia, cantidad conocida por los diversos nombres de *efecto mecánico*, *energía mecánica* y *trabajo*.

Ahora bien, para la propuesta aquí presentada la conceptualización de la energía, así como sus atributos y cuantificación, quedan expuestos en el siguiente mapa conceptual⁹.

Mapa conceptual 1. El concepto de energía y sus atributos como elemento unificador para el aprendizaje significativo de mecánica y termodinámica.

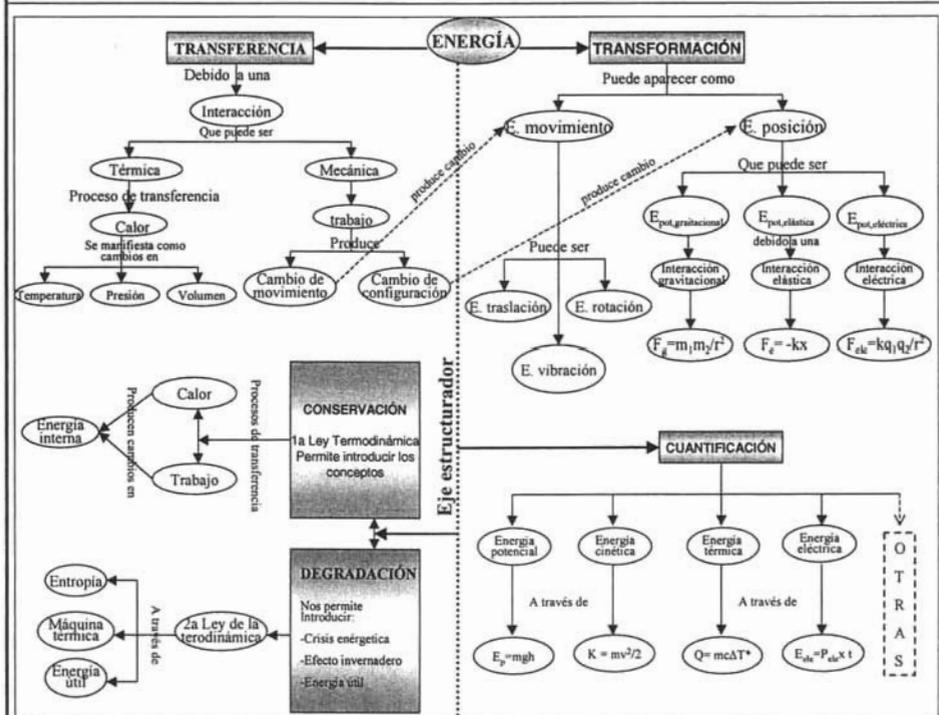


De esta manera, el concepto de energía (su cuantificación y el establecimiento de sus atributos) constituye el *elemento unificador* que actuará como marco referencial para la enseñanza-aprendizaje de mecánica y termodinámica en el bachillerato, pues, por un lado, *permite ordenar las estructuras previas* y, por otro, *facilita la organización de la nueva información que debe ser aprendida por los estudiantes*. Podemos decir que el concepto de energía (y sus atributos) proporciona un andamiaje conceptual para la incorporación y retención del material más detallado y diferenciado, pues reúne las características de

⁹ En este trabajo los mapas conceptuales expuestos han permitido definir los criterios de selección de los contenidos a tratar, dado que en ellos se establecen las principales relaciones o nexos que mantienen, cuestión que a su vez, permite destacar los conceptos centrales puestos en discusión.

máxima inclusividad y posibilidad de generalización, de gran poder explicativo y de potencialidad para ordenar en forma secuencial los contenidos mecánicos y termodinámicos establecidos para el bachillerato como se muestra en el siguiente mapa conceptual.

Mapa conceptual 2. Conceptualización de la energía.



* Esta Q se refiere a la cantidad de energía transferida entre dos sistemas en interacción térmica, no contemplando la transferencia de energía en los cambios de fase para los que $\Delta T=0$.

Este mapa conceptual, estructurado con base en el mapa 1, se desglosa a su vez en dos mapas conceptuales correspondientes a las unidades didácticas que son presentadas en este trabajo, en donde son delimitados los contenidos conceptuales que, en términos generales, son los siguientes.

- En el mapa conceptual de *Fenómenos mecánicos*¹⁰ se pone en relieve la importancia que la *dinámica* tiene para la conceptualización de la *energía mecánica*. De esta manera, los conceptos de *interacción*, *energía*, *fuerza*, *trabajo* y *potencia* emergen como los conceptos clave para su estudio y, en particular, para establecer los principios

¹⁰ Cf. Anexo III, capítulo 3: *Mapa conceptual: Fenómenos mecánicos*. Pág. 78.

mecánicos de conservación, a saber, la *conservación trabajo-energía cinética* y la *conservación de la energía mecánica total*.

- En el mapa conceptual *Fenómenos termodinámicos*¹¹, se exhibe el marco conceptual que sustenta el estudio de la termodinámica en el bachillerato, en donde los conceptos clave son ahora los de *temperatura, energía interna, calor, trabajo y entropía*, pues ellos permitirán un aprendizaje significativo de la *leyes primera y segunda de la termodinámica*.
- Paralelo a cada uno de estos dos mapas conceptuales, se han establecido dos programas operativos para los temas de mecánica y termodinámica, respectivamente, en donde se destacan los conceptos claves, las preguntas generadores y los contenidos procedimentales para cada una de esas dos áreas.

1.3 Unidades didácticas para el aprendizaje significativo de mecánica y termodinámica.

1.3.1 Generalidades.

El proceso de enseñanza-aprendizaje de los temas de mecánica y termodinámica tomando como eje estructurador al concepto de energía y a su ley de conservación, corresponde a las tres *unidades didácticas* siguientes:

1. *Introducción a la mecánica y la termodinámica bajo el concepto de energía.*
2. *Fenómenos mecánicos.*
3. *Fenómenos termodinámicos.*

Esta organización la he llevado a cabo a partir del mapa conceptual 3 (vea página siguiente), en donde expongo, *grosso modo*, los aspectos conceptuales, actitudinales y procedimentales de las ciencias. Además, he seguido las cinco tareas siguientes, que los autores (Sánchez Blanco, G. y Valcárcel Pérez, M. V. 1993)¹² consideran adecuadas para la planeación de la enseñanza-aprendizaje de las ciencias bajo un enfoque constructivista.

1. *Análisis del contenido científico.* Éste consiste en un proceso de *selección de contenidos* y de delimitación de los esquemas conceptuales, de los procedimientos científicos y de las actitudes a desarrollar en cada unidad didáctica.
2. *Análisis didáctico.* En éste análisis hay que *averiguar los conceptos previos* así como las *pre-concepciones*¹³ *de los alumnos*, cuestiones, ambas, que en adelante

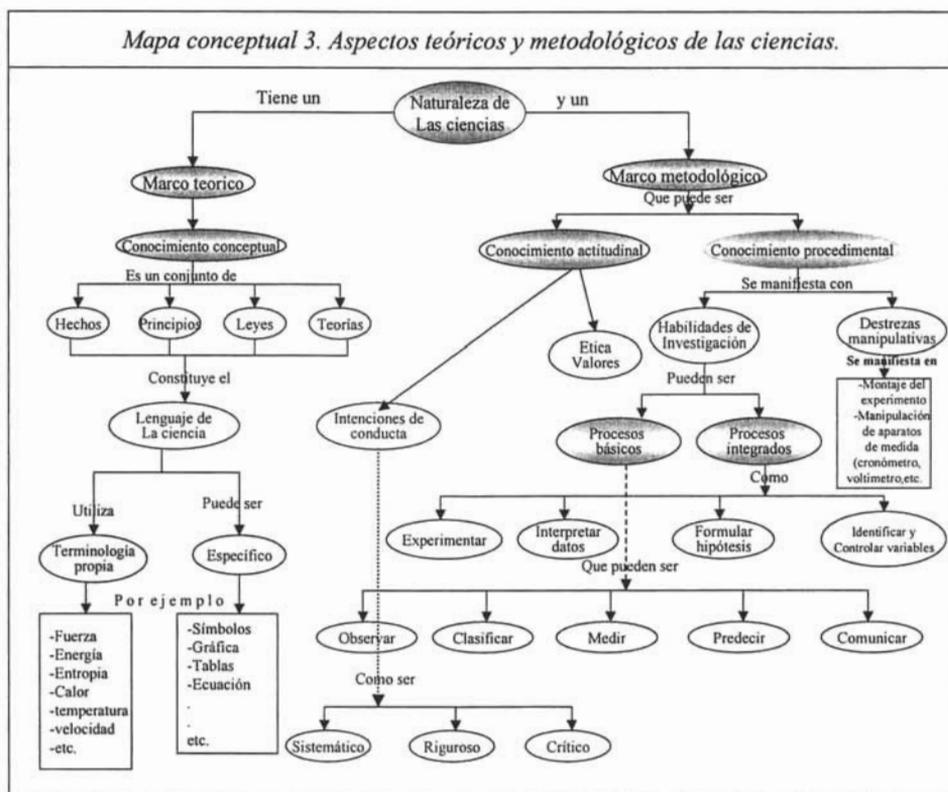
¹¹ Cf. Anexo I, capítulo 4: *Mapa conceptual : Fenómenos termodinámicos*. Pág. 129.

¹² Sánchez Blanco, G. y Valcárcel Pérez, M.V. "Diseño de Unidades Didácticas en el Área de Ciencias Experimentales". *Enseñanza de las Ciencias*, 1993, 11(1) 33-34.

¹³ Cf. Notas al pie 1 y 2, página iv.

llamaremos *ideas previas*, además de analizar las exigencias cognitivas de los contenidos.

3. *Selección de estrategias didácticas.* Para la selección de estrategias didácticas, otro de los componentes de cada unidad, los autores sugieren el diseño de una secuencia global de enseñanza y la elaboración de materiales de aprendizaje, cuestión que he desarrollado a manera de *fases de enseñanza* que, a su vez, están constituidas por *secuencias didácticas* específicas.
4. *Selección de objetivos.* Esta selección se hace en conformidad con el Plan y los Programas de Estudio de Física del bachillerato correspondiente y de acuerdo a la organización de las fases didácticas correspondientes.
5. *Selección de estrategias de evaluación.*



Cabe señalar que al diseñar y organizar las tres unidades didácticas referidas, estas cinco tareas no se llevan a cabo de manera lineal, sino en interacción mutua, por lo que será conveniente explicitar las características generales de las mismas.

1.3.2 Análisis del contenido científico: contenidos actitudinales, conceptuales y procedimentales.

Para la selección de los contenidos específicos de las tres unidades didácticas señaladas, así como la delimitación de los procedimientos y de las actitudes que se persiguen en el alumno en cada una de ellas, empleé los siguientes documentos:

- *Núcleo de conocimientos y formación básicos que debe proporcionar el bachillerato de la U. N. A. M., primera aproximación.* Consejo Académico del Bachillerato, noviembre del 2000.
- *Marco Conceptual para los Programas de Estudio del Área de Ciencias Experimentales.* CCH, junio de 1995.

En estos documentos¹⁴ los contenidos de enseñanza de las unidades didácticas pueden interpretarse, bajo la teoría del aprendizaje de Ausubel, en *contenidos actitudinales, contenidos conceptuales y contenidos procedimentales.*

Contenidos actitudinales.

En efecto, de acuerdo con Ausubel podemos interpretar los contenidos actitudinales establecidos en esos documentos como la *disponibilidad para el aprendizaje de la física, así como la responsabilidad de aprender y emplear estos conocimientos para que coadyuven al estudiante a convivir ética y ecológicamente con la sociedad y su medio ambiente*, cuestiones que, por una parte, constituyen los requisitos básicos para que tenga lugar el aprendizaje significativo y, por otro lado, tienen que ver directamente con la *formación de valores positivos hacia la ciencia por parte del estudiante* y que permiten distinguir los tres aspectos básicos siguientes del *contenido actitudinal*:

- *formación de una actitud positiva hacia la ciencia*, lo que equivale a que el estudiante vaya modificando positiva y responsablemente su posición en la relación *ciencia-tecnología-sociedad*;
- *formación de una actitud científica en la construcción del conocimiento*, cuestión que exige que el estudiante adquiera una *actitud moderna* ante él mismo y su entorno, de manera que a lo largo de su formación científica desarrolle las formas fundamentales del pensamiento científico tales como el pensamiento analógico, inductivo, deductivo, o en general, y bajo el punto de vista del constructivismo, que vaya ampliando tanto sus *aprendizajes conceptuales* como *procedimentales*;
- *formación de una actitud positiva hacia la temática de la física*, cuestión que, de acuerdo con mi experiencia docente, sólo apuntaría hacia cuestiones en donde el estudiante reconozca la importancia, y se comprometa con ello, dentro del contexto social, económico y cultural que la física tiene actualmente.

¹⁴ *Marco Conceptual para los Programas de Estudio del Área de Ciencias Experimentales.* CCH, junio de 1995.

Lo anterior queda resumido en la siguiente tabla.

<i>Contenidos actitudinales</i>		
<i>Actitud hacia la ciencia</i>	<i>Actitud científica</i>	<i>Actitud hacia la disciplina</i>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reconocer la importancia de la física en la vida cotidiana así como su carácter explicativo y predictivo. ▪ Reconocer que la ciencia nos permite explicar los fenómenos que se dan en la naturaleza. ▪ Valorar la utilidad de la ciencia para mantener el equilibrio entre la actividad humana y la naturaleza. ▪ Reconocimiento de las relaciones de la física con otras ramas de la ciencia. ▪ Valorar la importancia interpretativa de un modelo físico ▪ Valorar la importancia de registrar observaciones tanto cualitativas como cuantitativas sobre los sistemas y hacerlo de manera organizada. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ser capaz de explicitar y defender sus ideas aportando argumentos. ▪ Ser creativo y razonable en la especificación de predicciones. ▪ Ser respetuoso del trabajo de los compañeros valorando su trabajo. ▪ Valorar la utilidad de los diseños experimentales. ▪ Ser crítico ante la información contenida en documentos científicos o periodísticos. ▪ Estar en disposición de realizar el trabajo en equipo con responsabilidad y colaboración. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estar conciente de que ha aprendido algo y de las dificultades que ha tenido para hacerlo. ▪ Valorar que lo aprendido le permitirá mejorar su estilo de vida. ▪ Fomentar el autoestima como la valoración propia de nuestro trabajo y la confianza de una buena realización.

Contenidos conceptuales.

Los contenidos conceptuales incluyen en nuestro caso *las nociones y conceptos físicos fundamentales de mecánica (básica) y termodinámica (básica)*. Estos contenidos deberán quedar enmarcados dentro de los siguientes criterios.

- *Actualización de los contenidos.* Los contenidos de enseñanza deben ser *coherentes con las actuales concepciones sobre la naturaleza de las ciencias* (Hodson 1998, Gil 1986)¹⁵.
- *Epistemología de la investigación científica.* Dado que la naturaleza de un conocimiento está determinado por su *epistemología*, debemos atender lo que caracteriza a la investigación científica. Actualmente ésta se concibe como un *proceso cíclico que comienza y termina con el planteamiento de problemas que*

¹⁵ Cf. Sánchez Blanco, G. y Valcárcel Pérez, M.V. "Diseño de Unidades Didácticas en el Área de Ciencias Experimentales". Enseñanza de las Ciencias, 1993.

originan los conocimientos existentes teniendo, además, las siguientes características:

- se realza el papel que el conocimiento inicial juega en la producción del conocimiento;
- se relativiza el papel que juega en una investigación la *observación y experimentación* a favor de otros procesos como la emisión de hipótesis o el diseño experimental;
- se admite que el trabajo científico tiene ciertas características propias que se describen mediante un *conjunto de procesos*, que se pueden clasificar en *básicos e integrados* (vea el mapa conceptual 3).

Una vez elegidos los contenidos a enseñar (Programas Operativos), los estructuramos en mapas conceptuales del tipo (Novak, Gowin, 1988), esto permite explicitar los conceptos a enseñar así como las relaciones entre ellos. Además, permite seleccionar los materiales de enseñanza y guiarnos en la secuenciación de los contenidos conceptuales, puesto que permite observar diversas rutas de aprendizaje. Estos mapas conceptuales se muestran en los anexos III del capítulo 3 y I del capítulo 4.

Contenidos procedimentales.

En la *parte experimental* de este trabajo se pone en juego un conjunto de procedimientos que también son contenidos de enseñanza y que pueden clasificarse en “destrezas” y “habilidades”. Estos se muestran en el mapa conceptual 3¹⁶. Sucintamente, las *destrezas* que deberá desarrollar el estudiante abarcan cuestiones tales como el montaje adecuado de los experimentos, la manipulación de aparatos de medida requeridos en los diversos experimentos de laboratorio, además del manejo básico de archivos y applets¹⁷ sencillos de computadora. Por otra parte, las *habilidades de experimentación*¹⁸ consisten en *observar, identificar variables, elaborar conjeturas e hipótesis, informar, relacionar, codificar, analizar, interpretar, inferir, deducir, establecer analogías*, así como *medir*.

Sin duda, de todas estas destrezas y habilidades, la *medición* tiene un papel de primera importancia en el aprendizaje de la física, debido a que permite establecer y corroborar empíricamente las relaciones entre las variables dadas en los conceptos o leyes físicas. Sin embargo, existe confusión acerca de su significado preciso por lo que ha lugar una breve caracterización de la misma en los siguientes términos.

Medir, es la asignación de *números reales* a objetos materiales para representar las relaciones existentes entre ellos con respecto a propiedades físicas particulares. El número asignado a una propiedad en particular, sirve para representar la cantidad relativa de esta propiedad asociada con el objeto de interés. *Uno siempre mide propiedades de las cosas y*

¹⁶ Página 9.

¹⁷ Programas en lenguaje Java usualmente animados.

¹⁸ Llamadas a veces *estrategias procedimentales* (Sevilla, S. 1994).

no las cosas mismas. Medir alguna propiedad de una cosa generalmente toma la forma de una secuencia de pasos u operaciones que dan como resultado final un número que indica qué tanto de esta propiedad tiene el objeto, cuestión que le servirá a alguien para un propósito específico. El resultado puede ser la consecuencia de una lectura simple de un instrumento de medida o, más aún, alguna clase de promedio, es decir, la media aritmética de un número de medidas independientes de la misma magnitud. En general, en la respuesta dada es necesario determinar la exactitud requerida y generalmente también el método de medición empleado. En la práctica, la asignación de una magnitud numérica a una propiedad particular de una cosa generalmente se realiza a través de lo siguiente.

- a. Por medio de la *comparación* de acuerdo a un conjunto de patrones, o por comparación cualquiera de la cantidad misma;
- b. Por medio de una *transformación* de la cantidad de acuerdo a una escala previamente calibrada.

Verbigracia, las medidas de longitud son generalmente hechas comparando directamente la longitud a medir con una barra metálica calibrada (*metro*) o con una cinta métrica, mientras que las medidas de masa se hacen a través de la comparación directa del peso de una masa dada con el peso de un conjunto de masas patrón por medio de una balanza. Sin embargo, la medida de una fuerza se lleva a cabo usualmente en términos de una *transformación*, tal como ocurre con la lectura sobre una escala calibrada de la *extensión* o *deformación* que la fuerza produce sobre un resorte, o la *deflexión* que la fuerza produce sobre un objeto. Algo parecido a esto último ocurre con la medición de la temperatura, que usualmente se lleva a cabo por medio de la *transformación* de la lectura hecha a través de una escala calibrada de la *expansión* de una columna de mercurio, o de la *resistencia eléctrica* de un alambre de platino.

El objetivo de la medición es doble, pues permite asociarle a un objeto una representación simbólica sencilla (*lineal: bien ordenada y continua*) de las propiedades de las cosas para alcanzar una comprensión conceptual de las mismas con la que, además, se tiene una herramienta eficaz de cálculo. En resumen, el proceso de medición implica lo siguiente.

- a. Un *objeto* sobre el que se realizará la operación (*medición*).
- b. Un *observable* (propiedad) cuyo *valor* se requiere determinar.
- c. Algún *aparato* o *instrumento* por medio del cual pueda llevarse a cabo la operación.

Por ejemplo, el objeto puede ser una mesa, el observable alguna longitud y el aparato una cinta métrica; el objeto también puede ser una persona, el observable su temperatura y el aparato un termómetro.

Debido a que una medición es el resultado de una operación humana, ésta no es una verdad absoluta, sino que contiene cierto grado de “incertidumbre”, o sea, al medir o leer una escala damos una interpretación muy personal de la lectura, pues, en realidad, resulta casi imposible que dos personas den la misma lectura de cierta magnitud, de manera que siempre habrá una ligera diferencia que indicará los límites dentro de los cuales se encuentra la “medida real”. Esto se conoce como *incertidumbre de la medida*, mientras que los límites aludidos determinan el llamado *intervalo de incertidumbre*.

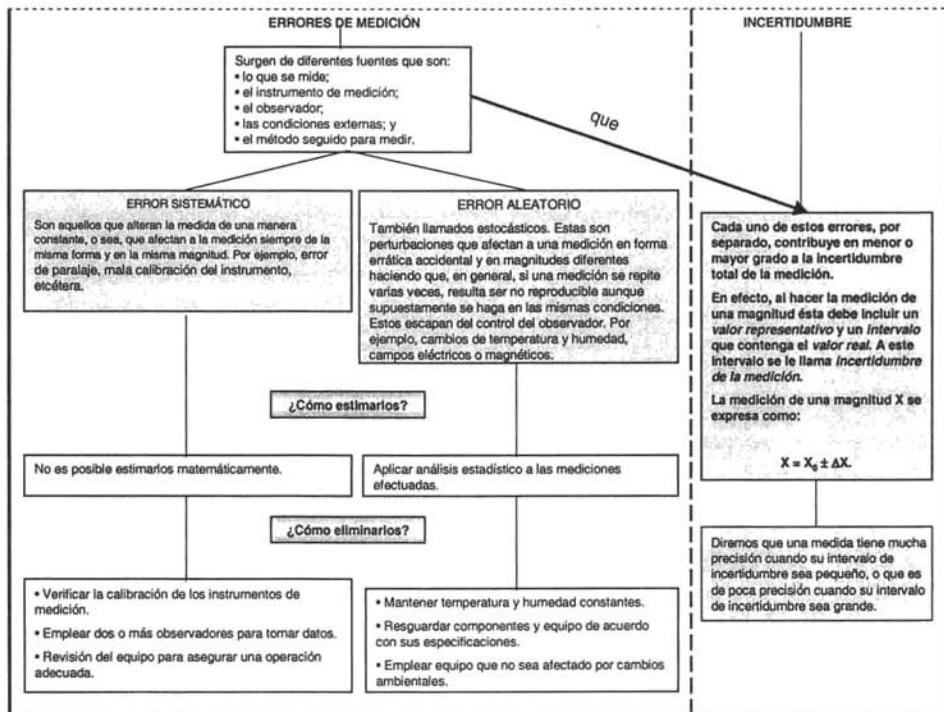
Ahora bien, dentro de la terminología usual en el laboratorio escolar, es frecuente emplear el término “precisión” como sinónimo de “exactitud” o, aún, como sinónimo de “incertidumbre”. Para empeorar esta situación, también se confunden los términos “precisión” y “sensibilidad”. El origen de estas confusiones se debe, por un lado, a la intrincada relación que hay entre estos términos y, por otro, al poco cuidado que tenemos como profesores al hacer mal uso de ellos con nuestros estudiantes. Antes de dar una breve explicación de esta terminología, será conveniente destacar las siguientes situaciones en donde se hace mal uso de la terminología de la medición¹⁹.

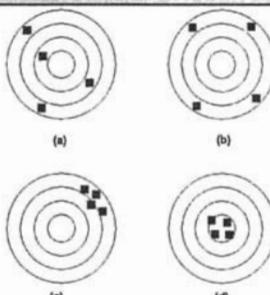
- Con relación a los términos “exactitud” y “precisión” es frecuente decir o escuchar frases como: “medir g con una precisión de 10^{-4} ”. En este caso se debe usar la palabra “exactitud” y no la de “precisión”.
- Otro error frecuente es decir que “La precisión de un instrumento de medida esta limitada por la división más fina de su escala”. Esto no es verdad, el término correcto es “resolución”.
- En la expresión: “A la fecha.... el análisis de los isótopos estables del carbono se lleva a cabo usando espectrómetros de masa sofisticados y costosos que pueden detectar razones de cambio de los isótopos tan pequeños como una parte en 10 000, el método láser da una precisión similar, pero más simple”; el término “precisión” debe remplazarse por “sensibilidad”.

En las siguientes tablas se exponen las definiciones y algunas de las diferencias existentes en la terminología de la medición.

Errores e incertidumbre.
Los <i>errores en la medición</i> se presentan en todos los experimentos. Surgen de diferentes fuentes entre las que caben destacar las siguientes.
<ul style="list-style-type: none">• El objeto a medir.• El instrumento de medición.• El experimentador.• Las condiciones externas.• El método seguido.
Conociendo las fuentes de error es posible clasificarlos en <i>errores aleatorios</i> y <i>errores sistemáticos</i> , como se muestra en el siguiente esquema.

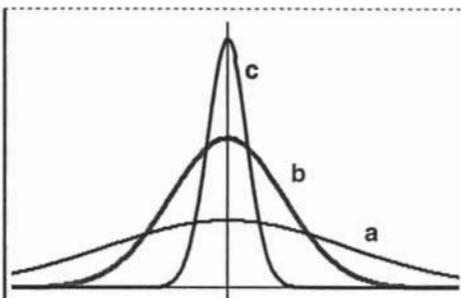
¹⁹ Thomsen, V. *Precisión y terminología de la medición*. The Physics Teacher., Vol. 35. Jan. 1997.



	Precisión	Exactitud
Precisión	<p>La precisión de una medida es la especificación de la repetibilidad de un conjunto de observaciones o lecturas, hecha cada una de forma independiente con el mismo instrumento y bajo las mismas condiciones. Sin importar que los valores observados estén ampliamente desplazados del valor verdadero como resultado de errores sistemáticos que están presentes en las mediciones.</p> <p>Generalmente se calcula por medio de las siguientes expresiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para una medida²⁰: $\frac{\Delta X}{X_0} \times 100$, en donde ΔX es la incertidumbre de la cantidad física X y X_0 es el valor medido de esa cantidad. • Para un conjunto de medidas se cuantifica con la desviación estándar²¹. 	<p>La precisión se asocia con los errores aleatorios del proceso de medición, mientras que la exactitud se identifica con los errores sistemáticos. Precisión y exactitud son características inherentes al proceso de medición y no de una medición en particular, de manera que debe haber una estadística para su aplicación. De lo anterior se desprende que una sola medida no puede dar estadística para la determinación de la precisión y de la exactitud.</p> <p>Para dar un ejemplo palpable de la diferencia entre la exactitud y la precisión, imagínese un instrumento que tiene un defecto en su funcionamiento. El instrumento puede estar dando un resultado que es altamente repetible de medición a medición, pero alejado del valor verdadero. Los datos obtenidos de este instrumento sería de alta precisión, pero muy inexactos (vea el inciso (c) del diagrama de la siguiente fila). Este ejemplo destaca el hecho de que <i>la precisión no garantiza la exactitud, aunque la exactitud requiere de la precisión.</i></p>
Exactitud	 <p>(a). Baja precisión, baja exactitud. (b). Baja precisión, alta exactitud. (c). Alta precisión, baja exactitud. (d). Alta precisión, alta exactitud.</p>	<p>La exactitud de una medición se refiere a la diferencia entre el valor medido (medida experimental) y el valor "verdadero" o aceptado (por la comunidad científica) de una cantidad. Esta diferencia es un índice de qué tan "exactamente" se ha llevado a cabo un proceso de medición. Esta desviación por lo general se conoce como el error relativo, que expresa la diferencia entre el valor experimental y el valor aceptado y se expresa porcentualmente:</p> $\text{error porcentual} = \frac{\text{valor aceptado} - \text{valor medido}}{\text{valor aceptado}} \times 100$

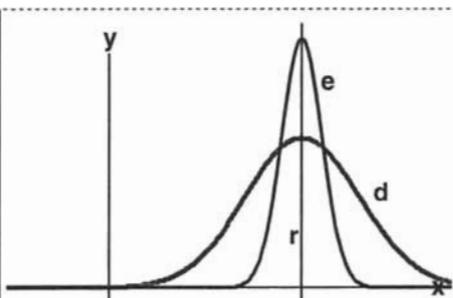
²⁰ Oda, B. Introducción al análisis gráfico de datos experimentales. UNAM Facultad de Ciencias. México. Pág. 183.

²¹ Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. APHA-AWWA., 14th Edition. 1975. Págs. 20-21



En estas tres distribuciones simétricas y centradas en el origen, que corresponden a tres procesos de medición, no hay sesgos y se puede apreciar lo siguiente.

- La distribución *c* muestra una medición de mayor *precisión* y *exactitud*.
- La distribución *b* es una medición con mucha *exactitud* pero poca *precisión*.
- La distribución *a*, por su parte, muestra la medición de menor *precisión* y *exactitud*.



Estas dos distribuciones, simétricas con respecto a la recta *r*, corresponden a procesos de medición sesgados a la derecha de la medida real, por lo que se puede decir lo siguiente.

- La distribución *e* corresponde a una medición con mucha *precisión* y poca *exactitud* (está desplazada a la derecha del valor verdadero).
- La distribución *d* muestra una medición sin *precisión* ni *exactitud*.

	Resolución	Sensibilidad
Resolución	<p>La <i>resolución de un instrumento de medida</i>, es la "fineza revelada en detalle". <i>Grosso modo</i>, es la separación mínima dada en su escala de medición.</p> <p>¿Se puede medir un nanómetro con un flexómetro? Por supuesto que no.</p>	<p>Consideremos el velocímetro de un carro. Por simplicidad, supongamos que es un velocímetro analógico y que está calibrado propiamente, de manera que la exactitud no está puesta en duda.</p> <p>Ahora, ¿es posible discernir si el auto va a 41 o 42 kph? Esta es una pregunta acerca de la resolución del velocímetro.</p> <p>Por otra parte, si comenzamos a acelerar el carro muy lentamente, ¿a qué velocidad el velocímetro comenzará a registrar esa aceleración? Esta es una cuestión relacionada con la sensibilidad del velocímetro.</p>
Sensibilidad		<p>La <i>sensibilidad de un instrumento de medida</i>, puede ser considerada un "límite de detección", o, también, el cambio incremental más pequeño que puede detectar el instrumento.</p>

Recapitulando todo lo anterior, podemos decir que la consideración de los tres aspectos del conocimiento científico destacados por los constructivistas²², permite una *toma de conciencia* de las diferentes facetas que supone su enseñanza y que, además, ésta no debe centrarse sólo en uno de los aspectos señalados, a saber, el contenido conceptual, sino que

²² Op. Cit Sánchez Blanco, G. y Valcárcel Pérez, M.V.

deben ser integrados tanto los contenidos actitudinales como los procedimentales. Al respecto, resulta importante observar en el mapa conceptual ²³ las relaciones existentes entre estos aspectos del conocimiento científico pues, dado que la enseñanza debe llevarse a cabo de manera gradual y con pleno significado para el alumno, es necesario que explicitemos los diversos sentidos que el conocimiento adquiere en cada uno de ellos. Así, la realización de una gráfica, la medida de una magnitud, el estudio de una ley, el aprendizaje de unos símbolos o fórmulas, por citar algunas construcciones conceptuales comunes en la enseñanza de las ciencias, se deben llevar a cabo de tal manera que tengan para el alumno un sentido que vaya más allá que el de superar las dificultades que en sí mismo tiene cualquier aprendizaje.

1.3.3 Análisis didáctico.

Otra tarea importante que presupone el diseño de las unidades didácticas es *conocer las características cognitivas de los alumnos*, con relación a la temática de cada unidad. La exploración de las ideas (conceptos, habilidades, prejuicios, etc.) previas de los estudiantes, acerca de algún tema específico, tiene la finalidad de que el profesor las conozca y, con base en ello, diagnostique el nivel de conocimiento general del grupo. De esta manera, y al principio de cada unidad didáctica, se establece un diálogo, entrevista, o test, con el (los) estudiante(s) a partir de *preguntas generadoras* o *claves* del tema bajo consideración, con lo que da comienzo el proceso de enseñanza-aprendizaje del mismo. Con esto, se busca propiciar el debate y la reflexión del estudiante, junto con el profesor, acerca de lo que será desarrollado subsecuentemente, volviendo a esta discusión cuando concluyan las *secuencias didácticas* que constituyen el tema o unidad bajo estudio, para observar la diferenciación (evolución) que han tenido sus ideas de partida. Así, el empleo de ejemplos adecuados, cuestionarios con preguntas claves, discusión en grupo o investigaciones documentales son las principales herramientas para la realización de este punto.

1.3.4 Selección de estrategias didácticas.

La selección de estrategias didácticas es otro pilar de la planificación que permite adoptar normas de actuación eficaces para el logro de objetivos propuestos en el salón de clase y estas se concretizan en *unidades didácticas*.

Unidad didáctica. Definir una *unidad didáctica* o *secuencia de enseñanza* permite concretar cómo vamos a realizar en el aula nuestro planteamiento metodológico. En particular, de acuerdo a mi práctica docente, y retomando los principios del constructivismo²⁴, he llegado a la conclusión de que cada secuencia o unidad de enseñanza queda sistematizada por las siguientes *fases* o *etapas*, en las que se tienen siempre presentes el objetivo u objetivos que persiguen:

²³ Cf. Pág. 9.

²⁴ Cf. Novack, J. D. (1988) y Moreira, A. (1983).

- I. *Iniciación.*
- II. *Información-introducción de conceptos.*
- III. *Ampliación-aplicación.*
- IV. *Conclusión.*

Cabe señalar que cada una de estas fases tendrá una intencionalidad que la caracteriza, como se muestra en la siguiente tabla.

<i>Tabla 1. Secuencia de enseñanza y fases.</i>		
<i>Fase</i>	<i>Profesor</i>	<i>Alumno</i>
<i>I. Iniciación al tema o unidad didáctica.</i>	<p>-El profesor identificará las preconcepciones del estudiante acerca del tema o unidad didáctica bajo consideración, a través de la elaboración de un cuestionario o una entrevista donde sean señaladas las ideas, prejuicios y conceptos con que llega el alumno.</p> <p>-Con lo anterior, el profesor detectará y considerará los posibles errores conceptuales de los estudiantes, a partir de los cuales planifica su enseñanza.</p>	<p>-En esta fase, los alumnos explicitan sus ideas y modelos explicativos con los que inicia el tema de estudio.</p> <p>-Es esencial en esta etapa provocar la inquietud por aprender, lo cual implica que el alumno, en cierto modo, se comprometa a participar activamente y a profundizar sobre el tema.</p> <p>-Investigación documental dirigida u orientada a confrontar aquellas preconcepciones del estudiante y las validadas por la física, con lo que comenzará a diferenciar su interpretación de aquella proporcionada por la ciencia.</p>
<p>Esta fase concluye con un diagnóstico de las preconcepciones con que los estudiantes "llegan" al tema y con una discusión grupal en donde se señalan, de manera general, las diferencias del conocimiento adquirido por el sentido común y el alcanzado por la ciencia, dando lugar a las siguientes fases.</p>		
<i>II. Información e introducción de conceptos.</i>	<p>-El profesor investigará, seleccionará, traducirá y adecuará diverso tipo de materiales para introducir los nuevos conocimientos.</p> <p>-El profesor divide la unidad temática en sub-unidades, cada una de ellas conformada por una serie de secuencias didácticas en las que el diseño de experimentos y hojas de trabajo constituyen una parte fundamental para la enseñanza.</p> <p>-<i>Diseño de experimentos.</i> Se considera el tema, los objetivos programáticos así como los obstáculos epistemológicos visibles y generales del grupo, con la finalidad de alcanzar o acceder al conocimiento físico, sea</p>	<p>-Investigará en la bibliografía señalada y en los materiales seleccionados los conceptos pertinentes al tema.</p> <p>-Desarrollará los experimentos bajo la dirección del profesor y de acuerdo con la hoja de trabajo correspondiente.</p> <p>En ambos casos, el estudiante recabará información para organizarla e interpretarla desde el punto de vista físico y ya no desde el sentido común. Ello dará como resultado la diferenciación y construcción de conceptos, principios o procedimientos físicos.</p>

	estableciendo un nuevo conocimiento, ampliándolo o, inclusive reelaborándolo. -Las hojas de trabajo pueden ser cuestionarios, prácticas virtuales, guías de lectura, etcétera.	
Esta fase concluye con una discusión grupal en donde se establecen desde un punto de vista físico los conceptos introducidos.		
<i>III. Ampliación y aplicación de conceptos.</i>	-El profesor diseñará hojas de trabajo que favorezcan y extiendan el significado de los conceptos ya introducidos, lo que da lugar a que el estudiante logre una diferenciación conceptual más precisa. -El profesor diseñará experimentos en donde se corroboren las hipótesis planteadas o subyacentes a los conceptos. - El profesor diseñará actividades que muestren la utilidad de los principios físicos involucrados y contribuyan a que los alumnos vean la relevancia y utilidad de lo aprendido en el contexto actual.	-El estudiante realizará los experimentos indicados. -El estudiante resolverá las hojas de trabajo planteadas en esta fase. -El estudiante buscará la utilidad del nuevo conocimiento en su entorno social, para dar relevancia y significado a lo aprendido. -El estudiante expresará los conocimientos físicos adquiridos no sólo a través del lenguaje cotidiano, sino también a través de diferentes registros de representación matemática, a saber, por medio de tablas, de gráficas y de su modelo algebraico.
En esta fase, los problemas y actividades propuestos al estudiante, deberán ser lo más cercano posibles a su contexto, sin dejar de lado otros que les permitan ampliar sus horizontes de interpretación.		
<i>IV. Conclusión.</i>	-El profesor indagará sobre el cambio o evolución de las ideas de los alumnos, realizando comparaciones entre su pensamiento actual y el inicial, a través de un cuestionario o entrevista. Conviene, por lo tanto, recoger las preconcepciones de los estudiantes para así observar la evolución de las mismas a partir de la reflexión y diferenciación progresiva que el estudiante ha realizado a través de esta secuencia de aprendizaje.	-Realización del cuestionario y de la entrevista (en caso de que así sea).
Esta fase concluye con la evaluación de las construcciones conceptuales de cada uno de los estudiantes con relación a los contenidos temáticos aquí considerados. Al respecto, cabe señalar que si algún estudiante no ha construido de manera adecuada tal o cual concepto, entonces el profesor debe replantear la estrategia seguida.		

Cabe decir que mediante una secuencia de actividades diseñada de esta manera se pretende que los alumnos aprendan significativamente los principales conceptos cuestión que implica, además, otra forma de trabajo, en donde el auténtico protagonista es el mismo

estudiante. Más aún, la secuencia presentada no debe de ninguna manera considerarse absolutamente rígida sino que, en cambio, ésta debe depender de las características de los alumnos y de cómo construyan el conocimiento, de manera que se pueden modificar las fases originalmente planeados sin olvidar en ningún instante las metas que se pretenden alcanzar. Al respecto, resulta fundamental disponer de un amplio banco de actividades para no dar lugar a la improvisación, éste abanico de posibilidades estará directamente vinculado con los materiales y recursos didácticos de que se disponga y de los que se haya pensado echar mano.

Especificación y justificación de materiales y recursos didácticos que se sugiera utilizar para tratar el tema. En principio, los materiales más importantes de los que se puede echar mano son el propio laboratorio de física, con los materiales adecuados para montar los experimentos a realizar, además de los libros, artículos de investigación, hojas de trabajo, etc. Sin embargo, hay actividades que debido a la dificultad que subyace a la temática a tratar, o a la falta de equipo adecuado en el laboratorio, hacen inevitable el empleo de otros medios "reales" o "virtuales", como notas históricas, uso de datos experimentales obtenidos directamente de imágenes, sonidos, etcétera, producidas por algún fenómeno físico, la información proporcionada por el fabricante de aparatos de uso cotidiana, así como experimentos en laboratorios virtuales y otros más. Estas posibilidades no deben perder de vista que su propósito o fin es el de coadyuvar a que el alumno haga una reflexión sobre sus propias ideas, manteniéndolo activo y con su atención puesta en la intersección de sus intereses y de los contenidos de enseñanza, pues sólo podrá reestructurarlas si éstas caen en su propio lenguaje.

Los siguientes recursos didácticos son los que he empleado para desarrollar este trabajo, es decir, para desarrollar los temas de mecánica y termodinámica del bachillerato en torno al concepto de energía.

- Aula-laboratorio de física.
- Audiovisuales (por ejemplo, Galileo(30min.), Copernico, Galileo y Kepler (30min), el Mundo de Isaac Newton (30min.) marcos de referencia (30min) y la teoría molecular de la materia)
- Prácticas de campo (como visitar una planta generadora de electricidad que permite ver las diferentes formas y transformaciones de la energía).
- Análisis y funcionamiento de los aparatos electrodomésticos.
- Visitas a museos (CFE, Universum, etc.)
- Revistas en castellano: Ciencia y Desarrollo, Scientific American, ¿Cómo Ves?, Discover, Car y Driver, Auto Plus, Avion Revue.

- Internet:

- <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/default.htm>

En esta dirección se encuentra el sitio *Física con ordenador. Curso Interactivo de Física en Internet*, del profesor Ángel Franco García, Dpto. Física Aplicada I. Universidad del País Vasco. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial. Aquí se proporciona información básica sobre diversos temas de física, así como algunos applets que permiten exploraciones virtuales de hechos físicos. Aquí se pueden contrastar las bondades de la enseñanza tradicional de la física versus la enseñanza asistida por computadora, pues con el uso de applets le permiten una mayor interactividad al usuario a la vez que ejemplifican los conceptos bajo consideración.

- <http://home.a-city.de/walter.fendt/physesp/physesp.htm>

En esta dirección se pueden bajar libremente (gratuitamente y con propósitos educativos), diversas applets de Java con las que se pueden realizar experimentos de física básica virtuales. El autor es Walter Fendt y la traducción está hecha por el Prof. Ernesto Martín Rodríguez y Juan Muñoz.

- <http://www.100cia.com/>

Contiene artículos de divulgación científica basados en noticias que aparecen en revistas científicas de difusión electrónica; este lugar te permite comentar sobre el tema en particular y dar a conocer tu punto de vista. Tiene artículos sobre diversas áreas como la ciencia, la tecnología y las humanidades; la información está bien sustentada, por lo que vale la pena revisar y, de ser posible, utilizada en el salón de clase como base para un análisis entre alumnos y profesores.

1.3.5 Estrategias de evaluación.

A lo largo del desarrollo de cada unidad didáctica, se deberá ir determinando la adecuación y pertinencia de las construcciones conceptuales de los alumnos a través de los siguientes "evaluadores" para que se vaya confrontando a cada estudiante con sus nuevas adquisiciones y ello le permita ir diferenciando aquellas interpretaciones no físicas de las que sí lo son para que, en última instancia, reconcilie las interpretaciones físicas con las restantes de manera que los nuevos conocimientos queden integrados en su acervo lingüístico de manera permanente y estable. Estos "evaluadores" deben tener siempre presente el trabajo cotidiano que desarrollan los alumnos a través de las secuencias didácticas y son los siguientes.

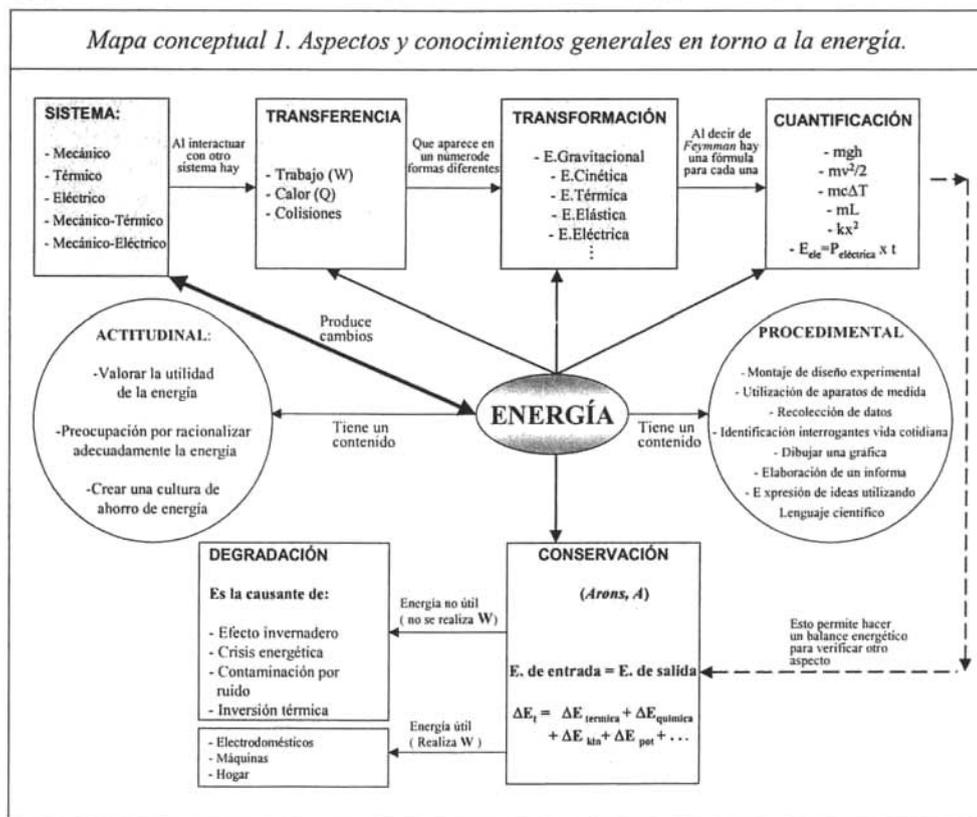
- Los resultados de la investigación documental elaborada por los alumnos (individual. Trabajo en grupo y puesta en común).
- El control acerca de la información recabada (artículos, visitas, etc.).
- La resolución de las hojas de trabajo (individual, trabajo en grupo y puesta en común).
- El reporte experimental.

- Sistematización de las conclusiones.
- Exámenes escritos.
- Evolución de los conceptos previos.

2 INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA Y TERMODINÁMICA BAJO EL CONCEPTO DE ENERGÍA

2.1 Introducción.

Las *secuencias didácticas introductorias* a los temas de *mecánica y termodinámica*, estructurados en torno al concepto de energía, constituyen un conjunto de actividades enfocadas a mostrar de manera general cada aspecto de la energía señalados en el capítulo 1¹, así como involucrar a los estudiantes en los procedimientos físicos (básicos) usuales, desarrollando en el estudiante una actitud positiva y crítica en torno a la conceptualización y aplicación del conocimiento físico, como se muestra en el siguiente mapa.



¹ Cap. 1, pág. 5.

El propósito principal de las secuencias didácticas introductorias que se exponen en este capítulo, es plantear y discutir los principales atributos de la energía mediante relaciones (lo más cercanas a los estudiantes) que se tienen con este concepto, para que a través de ellas se vayan entresacando los conceptos físicos más relevantes que permitan la estructuración siguiente de los temas de física para el bachillerato.

En particular, para la realización de los temas de mecánica y termodinámica se retoman las siguientes sugerencias dadas por los autores citados.

- Tomar en cuenta las *ideas que tienen los estudiantes*, como señala (Solomón, J., 1985)²:

un buen camino para abordar el estudio de la energía en el salón de clase es empezar con una discusión permitiendo a los estudiantes que argumenten sus ideas acerca de ella.

- En conformidad a lo propuesto por (Pérez, L., Favieres, A.: 1995), se introducirá el concepto de *energía*, a través de una definición descriptiva, como la siguiente:

La energía es una propiedad o atributo de todo cuerpo o sistema material en virtud de la cual éste puede transformarse, modificando su situación o estado, así como actuar sobre otro mediante procesos de transferencia, manteniéndose constante al final de la transformación.

Es de notar que el *trabajo (interacción mecánica)* y el *calor (interacción térmica)* se introducirán con posterioridad como procesos de transferencia de energía³.

- Procurar una primera diferenciación entre los conceptos de *fuerza* y *energía*, confundidos frecuentemente. Aquí, la dificultad surge por la confusión que existe entre "la fuerza de los objetos que se mueven", idea mantenida por los alumnos antes y después de la enseñanza, y el de la *energía cinética* que debe sustituir a esa idea. Para alcanzar esta diferenciación hay que considerar el concepto de *trabajo* pues éste juega un papel de primera importancia.
- Introducir la noción de *degradación de la energía* para explicar la contradicción entre el principio de conservación y el uso cotidiano del término.
- Hacer un tratamiento globalizado del término *energía*, no restringiéndolo al campo de la *mecánica*, verbigracia, al analizar sucintamente el aprovechamiento de la *energía química* proporcionada por los alimentos, o por los combustibles para el transporte⁴.
- Dar una idea integrada de la ciencia⁵, destacando la importancia de la *energía* en la realización de *procesos biológicos*: nutrición, fotosíntesis, etcétera; y *tecnológicos*: centrales eléctricas, electrodomésticos, etcétera.

² Solomon, J, " Teaching the conservation of energy", *Physics Education*, 1985, Vol 20, pp. 165-166

³ Cf. Capítulo 4.

⁴ Cf. Secuencia didáctica 2. Pág. 29.

⁵ Cf. Programa de Física I, CCH.

- Procurar que los alumnos se vean obligados a operar tanto en el dominio estrictamente científico como en el cotidiano ya que, como señala (Solomon: 1983):

los alumnos que han mostrado su capacidad para pasar de un dominio a otro sin errores, poseen una comprensión más firme de la abstracción que supone la energía y sus transformaciones.

2.2 Secuencias didácticas para introducir el concepto de energía.

Secuencia didáctica 1. Exploración de las ideas previas sobre energía.

En esta secuencia didáctica se exploran las preconcepciones de los estudiantes acerca del término "energía", de su "ley de conservación", así como de algunas nociones físicas relacionadas con ella (ver mapa conceptual 1). De esta manera, he considerado pertinente que estas ideas y prejuicios queden establecidas a través de las respuestas dadas a un cuestionario elaborado por Pérez y Favieres⁶, con las que el profesor ubicará las preconcepciones con las que los estudiantes iniciarán sus cursos de física bajo la propuesta aquí desarrollada. Cabe señalar, que entre las ideas y prejuicios que generalmente se observan por medio de este cuestionario, se encuentran las siguientes cuestiones (que han sido investigadas por los autores que allí se señalan).

- Asocian la "fuerza" al "movimiento de los objetos" (Salomón,1983).
- Se considera que la "energía" puede "gastarse" (Kesidou y Duit,1993) o "almacenarse" (Salomon,1985).
- Se atribuye la "energía potencial" al "cuerpo" y no a la *interacción entre los cuerpos* (Solbes y Martín, 1985).
- Se asigna un "carácter sustancial" al *calor* (Albert,1978; Erickson,1979, 1980).
- Se confunden la "cantidad de calor" y la "temperatura" (Arnold,1994).
- No se utiliza espontáneamente la *energía* ni su *transformación, conservación, transferencia y degradación* para interpretar cualquier clase de *fenómenos físicos*, incluidos los *mecánicos* (Solbes, 1998).
- Se piensa que la *conservación de la energía* es una *ley* que se utiliza en la *mecánica* y en la *termodinámica* pero no reconocen que se cumple en todos los dominios de la *física*; no se distingue si es un principio o un teorema.(Solbes, 1998).
- Se ha encontrado que hay confusión entre los términos "energía", "trabajo", "fuerza" y "movimiento"

⁶ Cf. página 44.

Secuencia didáctica 2. Necesidad de energía y su cuantificación.

Con esta secuencia se resaltarán la importancia que la energía tiene para realizar algunas de las actividades cotidianas de cualquier individuo. Así, se conducirá a los alumnos hacia una reflexión sobre la importancia de la energía y, además, a que analicen y cuantifiquen el consumo energético necesario para desarrollarlas, manejando para ello tablas de datos nutrimentales e información proporcionada por el fabricante del alimento o, en su caso, por el fabricante del electrodoméstico. De esta manera, esta secuencia consiste de las dos partes siguientes.

- a. *Energía para mantenernos vivos.* A partir de las tablas del gasto energético correspondiente a distintas actividades que el alumno realiza a diario y de las especificaciones del contenido en calorías en una variedad de alimentos, así como, tablas de contenido energético de verduras y carnes, los alumnos elaborarán una dieta para satisfacer sus requerimientos energéticos. Como consecuencia y ampliación del trabajo se trata de aspectos bioquímicos de la digestión (como, la función de los carbohidratos, lípidos y proteínas).
- b. *Energía para mejorar nuestra vida cotidiana.* se determina el consumo de energía eléctrica de diversos electrodomésticos, a partir de los datos de potencia y tiempo de utilización.

Cabe señalar que en estas actividades se hará necesaria la conversión de unidades y la interpretación de gráficas, cuestiones que serán llevadas a cabo por el estudiante bajo la asesoría del profesor.

(a). En esta parte, los estudiantes organizados en equipos, realizarán la siguiente hoja de trabajo con la asesoría del profesor. La cuestión aquí es la *cuantificación de la energía que transforma* un estudiante en su actividad diaria, medida en *Kcal*⁷. Con ello elaborará una dieta balanceada para satisfacer los requerimientos energéticos que necesita su organismo para llevar a cabo dichas actividades.

Hoja de trabajo 1. Costo energético de las actividades humanas.

El siguiente texto es un resumen en el que se te proporciona la información necesaria para que calcules la cantidad de energía necesaria para realizar diferentes actividades⁸, a través de una transformación como la siguiente:

energía potencial química (alimentos) → energía movimiento, etc.

⁷ 1 caloría (cal) es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua en un grado Celsius. Más aún, 1 cal = 4.186 Joules.

⁸ Garritz, A. y Chamizo, J. A. *Química*. Addison-Wesley. México. 1994. Págs. 5982-612.

Las actividades diarias de todas las personas requieren de transformaciones de energía: para la circulación de la sangre, para hacer la digestión, para respirar, para pensar, es decir, todo lo que implica vivir. La cantidad de energía necesaria para cada persona depende de la edad, el sexo, el tamaño y el tipo de actividades que realiza. A la energía mínima necesaria para vivir se le conoce como *requerimiento metabólico basal (RMB)* y sus unidades son KJ/m^2hr . Por ejemplo, una persona en estado de coma requiere para sobrevivir cierta cantidad de energía (RMB), la cual se le administra por vía intravenosa. En la figura dada en el *Anexo I⁹* se muestra el RMB para los dos sexos, en función de la edad. También depende de la *superficie corporal* de la persona, la cual puede estimarse a partir del peso y la estatura mediante la siguiente fórmula empírica:

$$A = 0.202 \times \text{Peso}^{0.425} \times \text{Altura}^{0.725}$$

En donde A es el área en m^2 , el *Peso* se expresa en kg y la *Altura* en m . El producto del RMB y la *superficie* de una persona indica la *cantidad de energía* que necesita para vivir cada hora, lo que se conoce como *requerimiento energético basal: REB*.

$$REB = RMB \times A.$$

Sí además de subsistir, se realizan las actividades cotidianas, el costo energético aumenta, calculándolo como la suma siguiente:

$$\text{Costo energético total (CET)} = REB + \text{costo energético de las actividades cotidianas}$$

La energía que necesita el organismo para realizar las actividades cotidianas proviene de los alimentos que ingerimos y de su transformación metabólica, como se proporciona en las etiquetas de algunos de los alimentos que consumimos. Ahora bien, en la tabla del *Anexo II¹⁰* se muestran las cantidades que proporcionan los alimentos de consumo diario.

El cuerpo no tiene otros mecanismos excepto la actividad para eliminar el exceso de energía que transforma o modifica en forma de comida. Si la ingestión sobrepasa el gasto necesario para sobrevivir (como, por ejemplo, cuando se realiza poco de ejercicio), se concentran grasas en el tejido adiposo. Como dato curioso, el libro Guinness de récords de 1992 informa que en 1982 un equipo de cirujanos de Nueva York extirpó 67 kg de tejido adiposo de las paredes abdominales de un hombre de 362 kg , empleando para ello un elevador de poleas para ir retirando las capas de grasa que iban extirpando. No cabe duda de que la mejor manera de perder peso es haciendo ejercicio.

⁹ Cf. *Antología de materiales y experimentos: Tabla de consumo energético de los alimentos.*

¹⁰ *Ibid.* Tabla: *Consumo metabólico aproximado en diversas actividades.*

Por otro lado, ocurre un déficit energético si el alimento suministra menos energía de la que se gasta en las actividades cotidianas (estudiar, caminar, trabajar, nadar, etc.). Esto da lugar a que se consuma grasa corporal. Por cada 30 KJ de déficit se consume aproximadamente 1 gramo de grasa; cuando la grasa se acaba, el cuerpo empieza a consumir sus propias proteínas, lo que da lugar a un deterioro físico importante. Por eso es importante que sepas cuánta energía requieres transformar para realizar tus actividades diarias, y así podrás elaborar una *dieta balanceada para satisfacer los requerimientos energéticos de tu organismo*¹¹. Por ejemplo, el gasto energético de un estudiante que pesa 45 kg y mide 1.60 m de estatura se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1. Costo energético para algunas actividades humanas.

<i>Actividad</i>	<i>Gasto energético (KJ)</i>
<i>8 horas para dormir</i>	<i>0</i>
<i>3 horas para comer, bañarse y vestirse</i>	<i>450</i>
<i>7 horas de estudio</i>	<i>1400</i>
<i>2 horas sentado viendo televisión</i>	<i>260</i>
<i>1 hora de natación</i>	<i>1800</i>
<i>2 horas de caminata</i>	<i>1000</i>
<i>1 hora de fútbol</i>	<i>2100</i>
<i>Total</i>	<i>7010</i>

Tarea para el alumno. Con la información que se te ha proporcionado realiza lo siguiente en tu cuaderno de trabajo.

1. Haz una lista de las actividades diarias que con mayor frecuencia llevas a cabo.
2. Basándote en tu estatura y peso calcula la cantidad de energía que consumes en cada una de las actividades mencionadas en la respuesta a la pregunta 1. Con esta información, calcula la cantidad de energía que requieres diariamente.
3. Elabora una dieta balanceada para satisfacer tu gasto energético diario, tomando como referencia la información energética que se especifica en los alimentos y tomando en cuenta la tabla proporcionada en el *Anexo I*¹².
4. Haz una investigación bibliográfica sobre las principales fuentes de energía; a saber, *carbohidratos, lípidos y proteínas*.

¹¹ Ibid.

¹² Ibid.

(b). En esta parte se determina la cantidad de energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de diversos electrodomésticos, a partir de los datos de *potencia eléctrica* y *tiempo de utilización*. Esto da pie para tratar cuestiones que surgen en el entorno cotidiano (recibo de la compañía de luz, recibo del gas, etc.), así como cuestiones tecnológicas más específicas (requerimientos eléctricos de algún electrodoméstico, voltaje de entrada, tipo de corriente, potencia eléctrica etc.). Para ello el estudiante realizará la siguiente hoja de trabajo.

Hoja de trabajo 2. Necesidad de energía y su cuantificación (consumo eléctrico).

Para calcular la cantidad de energía eléctrica que requiere un electrodoméstico empleamos la siguiente fórmula:

$$\text{potencia eléctrica} = \frac{\text{energía eléctrica}}{\text{tiempo}}$$

$$\text{Unidades:} \quad \text{Watt} = \frac{\text{Joules (J)}}{\text{segundo (s)}}$$

A continuación se muestran algunos ejemplos del *consumo o cantidad de energía eléctrica* requerido por algunos electrodomésticos usuales.

- a. Consumo de energía de un foco de 100 W, durante 4 hrs.

$$\text{energía eléctrica} = \text{potencia} \times \text{tiempo}$$

$$E = (100 \text{ W})(4 \text{ hrs.}) = 1\,440\,000 \text{ J} = 1\,440 \text{ KJ.}$$

Nota: 1 hr = 3600 s.

- b. Consumo de energía de la plancha de 1350 W, durante 2 hrs.

$$E = (1350 \text{ W})(2 \text{ hrs.}) = 9\,720\,000 \text{ J} = 9\,720 \text{ KWH.}$$

Tarea para el alumno. Con base en lo anterior realiza lo siguiente.

1. Expresa la energía de los ejercicios anteriores en *KWH*.
2. Haz una lista de siete electrodomésticos que tengas en tu casa, anotando las especificaciones del fabricante en la siguiente tabla.
3. Usa la fórmula anterior para calcular el consumo de energía y anota tus resultados en la siguiente tabla.

Tabla 2. Especificaciones técnicas para el funcionamiento de un electrodoméstico.

No.	Electrodoméstico	Potencia eléctrica (W)	Tiempo de uso (H)	Energía consumida (J)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

4. Con lo anterior, haz una estimación del consumo de energía que se hace en tu casa en un día, y calcula el precio que pagarás a la compañía de luz por el consumo diario, si el KWH te cuesta 85 cts.

5. ¿Qué magnitudes físicas están involucradas en la energía eléctrica? Escríbelas.

Secuencia complementaria 3. La energía del Sol.

Otra actividad interesante para el estudiante, consiste en que tenga una estimación de la cantidad de energía que emite el Sol, por lo que el estudiante deberá resolver la siguiente hoja de trabajo.

Hoja de trabajo 3. La energía que proviene del Sol también se puede cuantificar

Las estrellas tienen brillo propio porque en su centro las presiones y temperaturas son lo suficientemente elevadas como para propiciar que los átomos colisionen entre sí frecuente y fuertemente. En estas colisiones, a veces se fusionan dos o más núcleos atómicos para formar uno solo. A este fenómeno se le llama *fusión termonuclear* . En su forma más básica, en este proceso se *fusionan cuatro átomos de hidrógeno para formar un átomo de helio* . Estrictamente hablando, la masa no se conserva en este proceso físico. Si tomáramos cuatro gramos de núcleos de hidrógeno y los fusionáramos hasta convertirlos íntegramente en núcleos de helio, no obtendríamos exactamente los cuatro gramos de helio. ¿Qué le sucede a la masa aparentemente desaparecida? *Esta diferencia de masa se transforma en energía* ; concretamente es emitida como radiación de alta energía, Fig. 1.

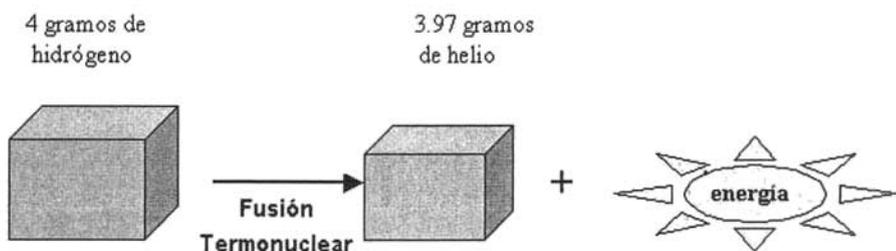


Figura 1. En las estrellas ocurre el proceso de la fusión termonuclear. Se fusionan cuatro núcleos de hidrógeno para formar un núcleo de helio. Cuatro núcleos de hidrógeno pesan un poco más que un núcleo de helio, la diferencia de masa se transforma en energía.

La estrella más cercana a nosotros es, naturalmente, nuestro Sol, en cuyo centro el proceso de fusión termonuclear de hidrógeno en helio está ocurriendo en cantidades difíciles de concebir. Cada segundo, en el interior del Sol se transforman más de cuatro millones de toneladas de materia en energía. Esta energía resultante de las reacciones termonucleares viaja desde el centro hasta la superficie del Sol, en donde es radiada en forma de luz al espacio circundante. La tierra recibe sólo una cantidad ínfima de este flujo de energía, y casi la totalidad escapa hacia el espacio interestelar.

Tarea para el alumno. En tu cuaderno de trabajo responde a las siguientes preguntas.

1. Investiga en la tabla periódica de los elementos la masa del átomo de hidrógeno y helio.
2. Calcula la masa de 4 átomos de hidrógeno.
3. Determina la diferencia de las masas: $m_{4h} - m_{he}$. Expresa esta diferencia en kg, recuerda que $uma = 1.660 \times 10^{-27} \text{ kg}$.
4. Se sabe que la transformación de la materia en energía es consecuencia de la equivalencia materia-energía, enunciada por Albert Einstein en su famosa fórmula:

$$E = mc^2,$$

en donde E es la energía resultante, m es la masa transformada en energía, y c es la velocidad de la luz ($300\,000 \text{ km/s}$). Con esta información determina la cantidad de energía en la que se transformó la masa faltante.

5. ¿Cuál es la cantidad de energía que nos puede proporcionar un gramo de materia si se transforma íntegramente en energía?
6. Compara esta cantidad con los requerimientos energéticos que necesitas para realizar tus actividades cotidianas: $\frac{E_{\text{gramo}}}{E_{\text{requerida}}}$. Explica tu respuesta.

Se sabe que la cantidad de energía que nos llega del Sol es: $1.08 \times 10^3 \text{ W/m}^2$. determina la cantidad de energía que se capta en un área de 250 m^2 .

Secuencia didáctica 4. La energía y sus transformaciones.

En esta secuencia se estudian, de manera cualitativa, las transformaciones de energía que se llevan a cabo en una central hidroeléctrica, destacando los diferentes tipos de *energía mecánica* (de posición: *potencial*, de movimiento: *traslación* y de *rotación*) que intervienen en la producción de *energía eléctrica*. De esta manera el estudiante tendrá noticia de la secuencia de transformaciones de energía que ocurren en una central de este tipo, de manera que se le hará evidente las características generales de este atributo. Para ello el estudiante desarrollará la siguiente hoja de trabajo.

Hoja de trabajo 4. La transformación de la energía en una central hidroeléctrica.

La siguiente es una descripción cualitativa de las transformaciones de energía que se llevan a cabo en una central hidroeléctrica.

Una *central hidroeléctrica* es una instalación en la que se produce *energía eléctrica* y que se utiliza como *fuerza primaria la energía potencial del agua*. La energía hidráulica existe en forma natural y la suministra las precipitaciones pluviales que se presentan por efecto de la condensación del vapor de agua en la atmósfera.

La central hidroeléctrica, utiliza esta energía, lograda por el desnivel entre los ríos, caídas o embalses de agua y la central. Al agua se le conduce a través de tuberías hasta hacerla chocar (*energía cinética de cada molécula de agua*) contra las aspas de una turbina, lo que hace girar su eje o flecha (*energía cinética de rotación*). El movimiento de la flecha se utiliza para mover el electroimán dentro de una bobina (*generador*) con lo cual se produce la *energía eléctrica*. La figura 2 ilustra la secuencia de transformaciones de energía que ocurren en una central hidroeléctrica y que inicia con el almacenamiento del agua (*energía potencial de las moléculas*).

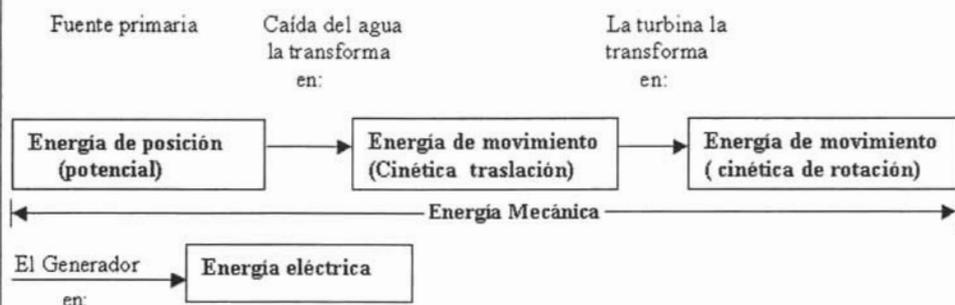


Figura 2. Transformaciones de energía en una hidroeléctrica.

Tarea para el alumno. Realiza lo siguiente en tu cuaderno de trabajo.

1. Lee el artículo acerca de centrales generadoras de electricidad¹³.
2. Haz una descripción sobre la operación de una central termoeléctrica.
3. Haz una descripción de la operación de alguna otra central generadora de electricidad (sea eólica, solar o bien nuclear).
4. Muestra la cadena de transformaciones que se llevan a cabo en cada una de las centrales que has descrito (preguntas 2 y 3), haciendo un diagrama similar al de la figura 3 y subrayando la fuente primaria de energía.
5. Haz una lista de los conceptos físicos que están involucrados en cada una de ellas.
6. Investiga si hay alguna ecuación para cuantificar cada tipo de energía.

Secuencia didáctica 5. La energía y su transferencia.

En esta secuencia didáctica se muestra la transferencia de energía a través de algunas actividades sencillas, con la finalidad de que el alumno comprenda que otro de los atributos de la energía es su transferencia, o sea, que pasa de un objeto a otro. Para ello el alumno realizará los siguientes experimentos y tareas.

(a). Experimento I.

Este experimento se realizará utilizando un riel horizontal con rampa de caída. El alumno soltará un balón a diferentes alturas de la rampa, con la finalidad de que incida sobre otro que inicialmente se encuentra en reposo en la parte horizontal del riel (vea figura 3).

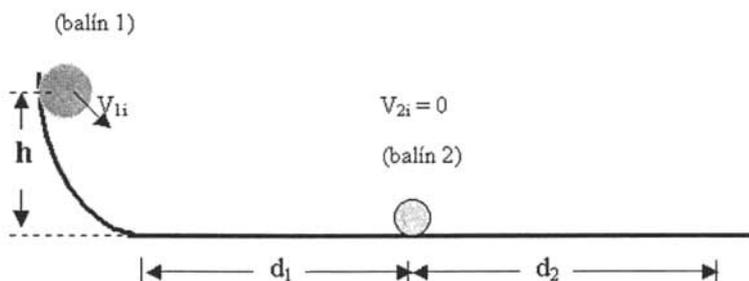


Figura 3. Transferencia de la energía potencial en energía cinética.

¹³ Cf. Antología de materiales y experimentos. CFE.

Tarea para el alumno. El alumno efectuará las mediciones necesarias para contestar las siguientes preguntas.

- Al principio los balines están al mismo nivel sobre la mesa. Ahora, para colocar el balín 1 a cierta altura de la rampa, se llevó a cabo una "acción", esto es, se aplicó una *fuerza* para levantarlo. Se dice entonces que se ha realizado un *trabajo* sobre dicho balín.
 - Se puede afirmar entonces que, ¿con el trabajo realizado sobre éste balín se le ha transferido energía? ¿Por qué razón?
 - Investiga si hay una fórmula con la que se pueda calcular el *trabajo* realizado sobre el balín 1.
 - ¿Qué cantidades físicas necesitas medir para cuantificar el *trabajo* realizado al levantar el balín 1?
- ¿Puedes identificar el tipo de energía que tiene cada balín antes, y después, de soltarlo?
- ¿Qué magnitudes físicas se tienen que medir para poder cuantificar la energía transferida?
- Investiga alguna fórmula para cuantificar la energía que le *transfirió* el balín 1 al balín 2 y completa la siguiente tabla.

Tabla 3. Datos balín 1.

h (cm)	m (g)	"acción" o fuerza (N)	trabajo (J)	$E_{pot.}$ (J)	d_1 (cm)	t (s)	v (cm/s)	$E_{movimiento}$ (J)
6					70			
8					70			
10					70			

Datos balín 2.

d_2 (cm)	t (s)	v (cm/s)	$E_{movimiento}$ (J)
70			
70			
70			

(b). Experimento II.

Este experimento consiste en poner dos cuerpos en contacto, cada uno con diferente temperatura y aislados de lo demás, como se muestra en la figura 4. En este caso, el estudiante verterá agua a 80°C dentro de un tortillero de unicel en donde ha sido colocado un recipiente con agua a 20°C .

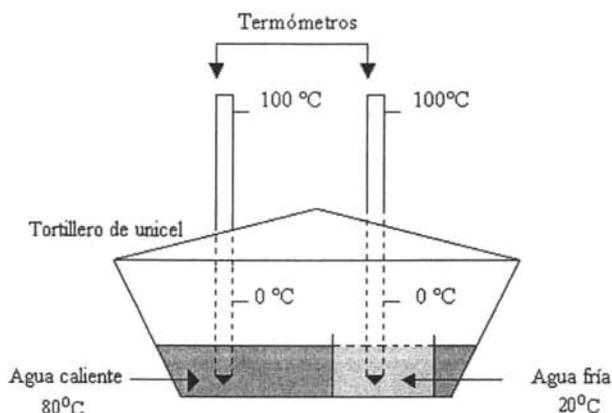


Figura 4. Transferencia de energía térmica.

Esta actividad termina pidiéndole al alumno que realice una breve explicación de lo observado y, por último, que desarrolle la siguiente cuestión.

1. Un sismo de alta intensidad ocurre a cientos de kilómetros de la ciudad, sin embargo sus efectos son catastróficos (caída de casas y edificios). ¿Por qué razón sucede esto?

Secuencia didáctica complementaria 6. Transformación de la energía.

Hoja de trabajo 5. Transformación de energía en un sistema de distribución de agua.

Una unidad habitacional tiene un sistema de distribución de agua. Este consiste básicamente en una cisterna y una bomba que se usa para llenar una esfera de $60\,000$ litros de capacidad. La esfera se encuentra a cierta altura sobre el suelo facilitando la distribución de agua a cada departamento (figura 5). La bomba de agua tiene una potencia de 70 HP y tarda 2.5 horas en llenar el depósito.

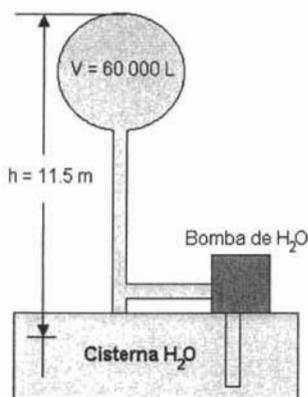


Figura 5. Sistema de distribución de agua.

Tarea para el alumno. Contesta en equipo y bajo la asesoría del profesor las siguientes preguntas.

- En la práctica la función principal de la bomba es elevar una cantidad de agua a cierta altura, en este sentido se puede afirmar que la bomba ejerce una "fuerza de empuje" para "levantar" una cierta cantidad de agua hasta el depósito, que se encuentra a determinada altura sobre el nivel del piso. Algo similar efectuaste en la actividad anterior cuando aplicaste una *fuerza* para "levantar" el balón a una altura de la rampa. A esta "acción" que realizaste se le llama "trabajo". Si se define el *trabajo* como:

$$W = F \times d,$$

(producto de la fuerza por la distancia)

calcula lo siguiente.

- El *trabajo* efectuado por la bomba para "levantar" un litro de agua hasta el depósito.
 - El *trabajo* total para el llenado del depósito.
- Podrías mencionar las transformaciones de *energía* que se llevan a cabo en el llenado y vaciado del depósito.
 - ¿Cuál es la *energía potencial* que adquiere un litro de agua al estar ya en el depósito? Compárala con el valor que obtuviste en la pregunta 1.
 - ¿Cuál es la *energía potencial* del agua en el depósito, si este tiene una capacidad de 60 000 L? Compara este resultado con el que obtuviste en el inciso b de la pregunta 1.
 - Tomando en cuenta las respuestas anteriores, se podría entender al *trabajo* como un *proceso de transferencia de energía*. Explica tu respuesta.
 - ¿Podrías determinar la *energía cinética* de un litro de agua cuando cae desde el depósito hasta el nivel del piso? Para poder hacerlo utiliza un aspecto de la *energía*, esto es, su *conservación*.

7. Hasta el momento las cantidades *energía potencial*, *energía cinética*, *trabajo* y *fuerza* no dependen directamente del *tiempo*, sin embargo hay un concepto físico llamado *potencia* que relaciona el *trabajo* efectuado por *unidad de tiempo*. Este concepto le da sentido a frases que con frecuencia has escuchado como "la camioneta Explorer desarrolla una potencia de 240 HP¹⁴", a diferencia del Chevy que "tiene una potencia de 95 HP". ¿Qué significado tienen para ti las magnitudes 240 HP y 95 HP? Explica tu respuesta.
8. La *potencia* se define como la *razón de cambio del trabajo (ΔW) con respecto al tiempo (Δt)*, o la *rapidez a la que se hace un trabajo*, esto es, $P = \frac{\Delta W}{\Delta t}$. Utiliza esta fórmula para resolver los siguientes problemas.
- Dos motores tienen salidas de potencia neta de 1.0 HP y 0.5 HP.
 - ¿Cuánto trabajo, en *joules*, puede hacer cada motor en 3.0 minutos?
 - ¿Qué puedes concluir del resultado obtenido? Explica tu respuesta.

Secuencia didáctica 7. La energía y su conservación. Energía útil.

Con esta secuencia, y las dos siguientes, el alumno alcanzará una adecuada comprensión del *principio de la conservación de la energía* y lo aplicará en diversas situaciones, trabajando en los dos aspectos complementarios siguientes:

- la *conservación de la energía* en cualquier tipo de transformaciones, y
- la *imposibilidad de convertir toda la energía inicial en energía utilizable*.

Para ello, los estudiantes, en equipos y bajo la asesoría del profesor, dibujarán diagramas cualitativos de diferentes transformaciones de energía, indicando todos los tipos de energía que aparecen en ellas. Aquí se deberá insistir en las cuestiones siguientes.

- Estos diagramas deberán mostrar claramente que *la suma de las energías finales tiene que ser igual a la cantidad de energía que se tiene al principio del proceso*.
- Además, utilizando esos diagramas en casos sencillos como, por ejemplo, en una batidora eléctrica, se deducirá que, de todas las formas de energía que aparecen al final del proceso, solamente una de ellas va a utilizarse para el objetivo deseado. Esta idea de *energía útil* sirve para introducir el concepto de *eficiencia* de la transformación, mismo que se podrá aplicar a distintos aparatos de uso común.
- Finalmente, con esta actividad el profesor tendrá oportunidad de hacer una breve discusión acerca de la energía no útil dada en un proceso específico, permitiendo la

¹⁴ Conviene emplear los HP (*caballos de fuerza*), en virtud de que los HP tienen un referente más concreto. Más aún, 1 HP = 746 W.

introducción del concepto *degradación de la energía* (vea la pregunta 3 de la siguiente hoja de trabajo).

Hoja de trabajo 6. Ley de la conservación de la energía.

El principio de conservación de la energía¹⁵. Usando diagramas de bloque se puede representar una transformación de energía de la siguiente manera:

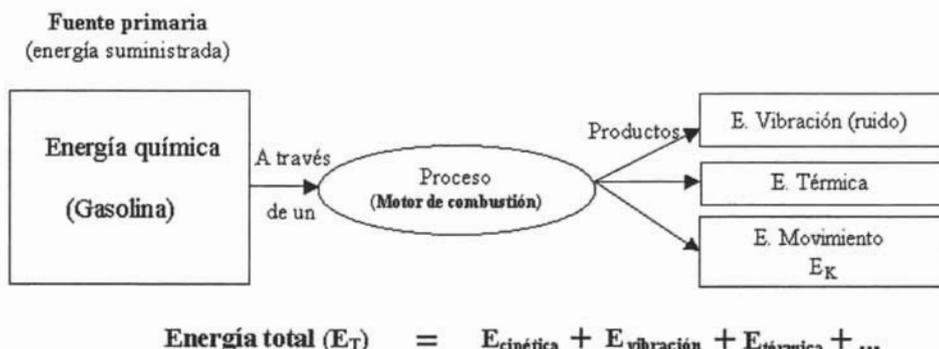


Figura 6. Ley de la conservación de la energía.

Los rectángulos representan las diferentes clases de energía que intervienen en el proceso representado. En el diagrama debe visualizarse que la energía que se tiene al principio del proceso es igual a la suma de las energías transformadas por éste¹⁶.

Tarea para el alumno. En tu cuaderno de trabajo realiza lo siguiente.

1. Haz una investigación monográfica sobre la fotosíntesis (proceso biológico) y utiliza una representación como la anterior en la que indiques la fuente primaria (energía).
2. Utiliza una representación análoga a la del ejemplo para esquematizar las transformaciones energéticas dadas en una batidora eléctrica.
3. ¿Qué sucede con la energía que no se utiliza para mover las aspas de la batidora?

¹⁵ El descubrimiento de éste aspecto y el mismo concepto de energía, en sin duda un caso único en la historia de la ciencia, en particular de la física, tal y como lo señala Khun: " la ciencia no ofrece otro caso más sorprendente del fenómeno conocido como descubrimiento simultáneo.....doce hombres que en un breve intervalo de tiempo, llegaron por sí solos a las partes esenciales del concepto de energía y su conservación. Entre 1837 y 1844, Mohr, William Grove, Faraday y Liebig describieron el mundo de los fenómenos como manifestación de una sola fuerza, que aparecía en formas eléctricas, térmicas, dinámicas y muchas otras, pero en todas sus transformaciones nunca podía ser creada ni destruida".

¹⁶ Como señala Feynman: puede entenderse la conservación de la energía sólo si tenemos la fórmula para todas sus formas.

Secuencia didáctica complementaria 8. Investigación documental acerca de la ley de la conservación de la energía.

Con esta secuencia didáctica, el alumno tendrá noticia del descubrimiento, casi simultáneo, del principio de la conservación de la energía ocurrido durante la primera mitad del siglo XIX. Para ello, el estudiante deberá realizar la interesante lectura *La conservación de la energía como ejemplo de descubrimiento simultáneo*¹⁷, bajo las siguientes preguntas generadoras:

- ¿Cuáles fueron los factores más importantes que llevaron al descubrimiento de la conservación de la energía?
- ¿Cuáles fueron los científicos involucrados en este descubrimiento?
- ¿Cuáles fueron las principales aportaciones que hicieron estos científicos para llegar a este descubrimiento?

Esta actividad será complementada con la realización de experimentos sencillos en donde los estudiantes ilustren algunas transformaciones de energía. Por ejemplo, el movimiento de un imán dentro de una espira, utilización de una celda solar, etcétera.

Secuencia didáctica 9. Degradación de la energía. Energía no útil.

Esta secuencia viene a reforzar que durante un proceso de transformación de energía no toda ella se transforma en energía útil, cuestión que se ha venido trabajando en las secuencias didácticas anteriores. De esta manera, el objetivo de esta secuencia es el de precisar que uno de los aspectos fundamentales de la energía es su degradación, en el sentido de que va perdiendo calidad para ser aprovechada en trabajo. Para ello, el estudiante realizará las siguientes actividades.

1. Analizará cualitativamente, junto con el profesor, las transformaciones de energía dadas en una central termoeléctrica, concluyendo con un diagrama como el mostrado en la figura 7, en el que se destaca que en cada transformación, una parte de la energía es aprovechable para realizar trabajo, mientras que otra se degrada, o sea, no permite realizar trabajo. De esta manera, se hace patente que no toda la energía que proporciona la fuente primaria es convertida en energía eléctrica, pues un gran porcentaje de ella se pierde o degrada en el medio.
2. Ahora el alumno, de manera individual, analizará cualitativamente las transformaciones energéticas que tienen lugar en una central hidroeléctrica, elaborando un diagrama análogo a la figura 8, destacando en cada una de sus etapas las formas de energía útiles y no útiles, dando cuenta de la degradación de la energía.

¹⁷ Kuhn, T.S. *La conservación de la energía como ejemplo de descubrimiento simultáneo*. La Tensión Esencial. FCE. México. 1982.

3. Explicará si toda la energía química de la gasolina en un coche se transforma en energía mecánica de movimiento.
4. Analizará cualitativamente, junto con el profesor, que la contaminación debida a las fuentes de energía utilizadas actualmente (gasolina, electricidad, etcétera), se debe a la degradación de la energía dada en las transformaciones de la misma, al obtenerlas o al emplearlas para realizar trabajo. Este análisis girará en torno a un diagrama como el mostrado en la figura 7 bis.
5. Elaborará un breve ensayo acerca de la degradación de la energía y su vínculo con los siguientes fenómenos, que con frecuencia escuchamos en los diferentes medios de comunicación: *crisis energética, contaminación por el ruido, calentamiento global del planeta o efecto invernadero.*

Las actividades anteriores permitirán al alumno asumir que en todo proceso la *energía se conserva*, pero conforme se transforma pierde *calidad y capacidad* para ser empleada de nuevo, en una palabra, se *degrada*, ya que acaba transmitiéndose al ambiente en forma de calor, ruido, etcétera, formas de las que ya no es posible recuperarla y utilizarla para los propósitos deseados, esto es, para realizar *trabajo*.

Figura 7. Transformación y degradación de la energía en una central termoeléctrica

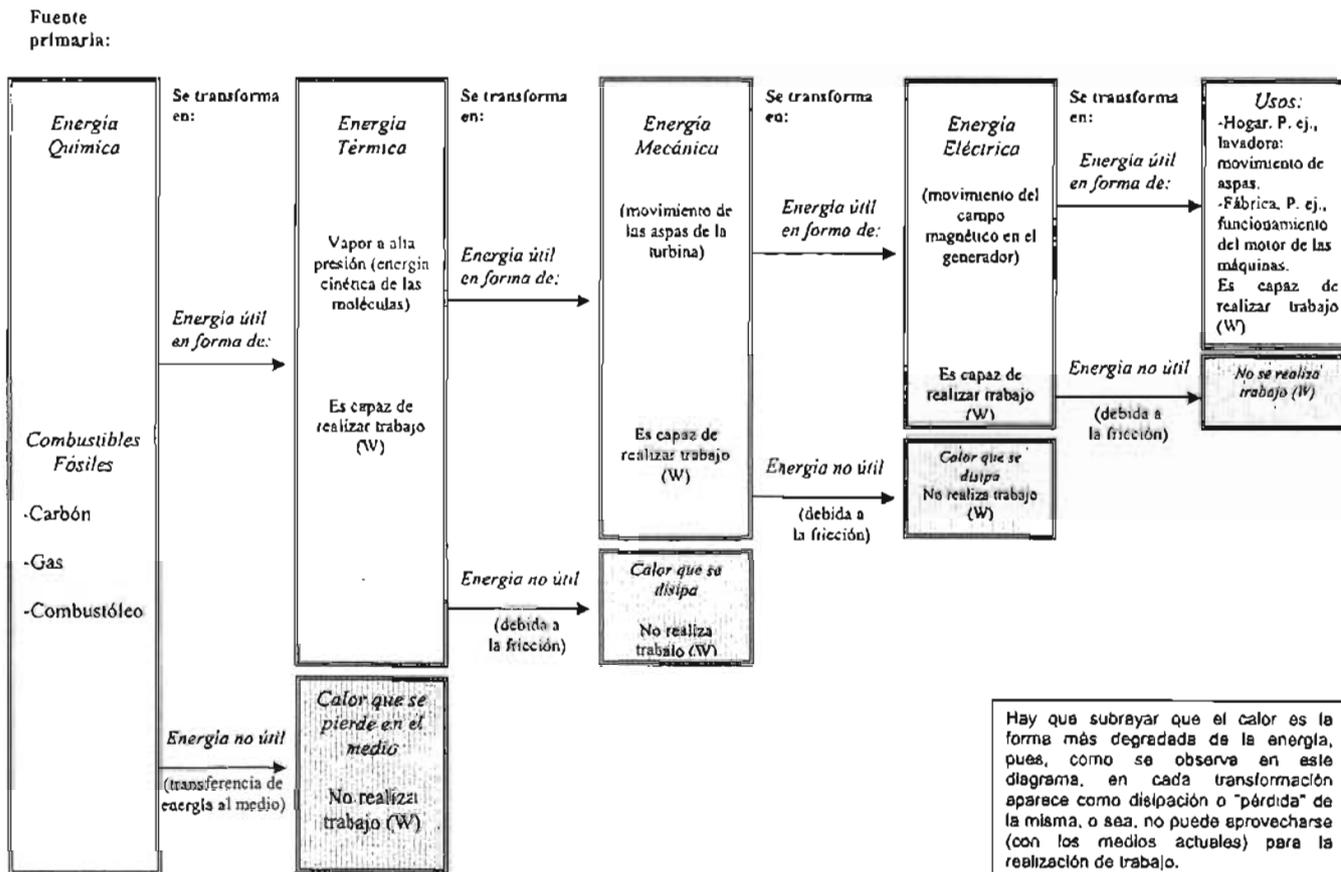
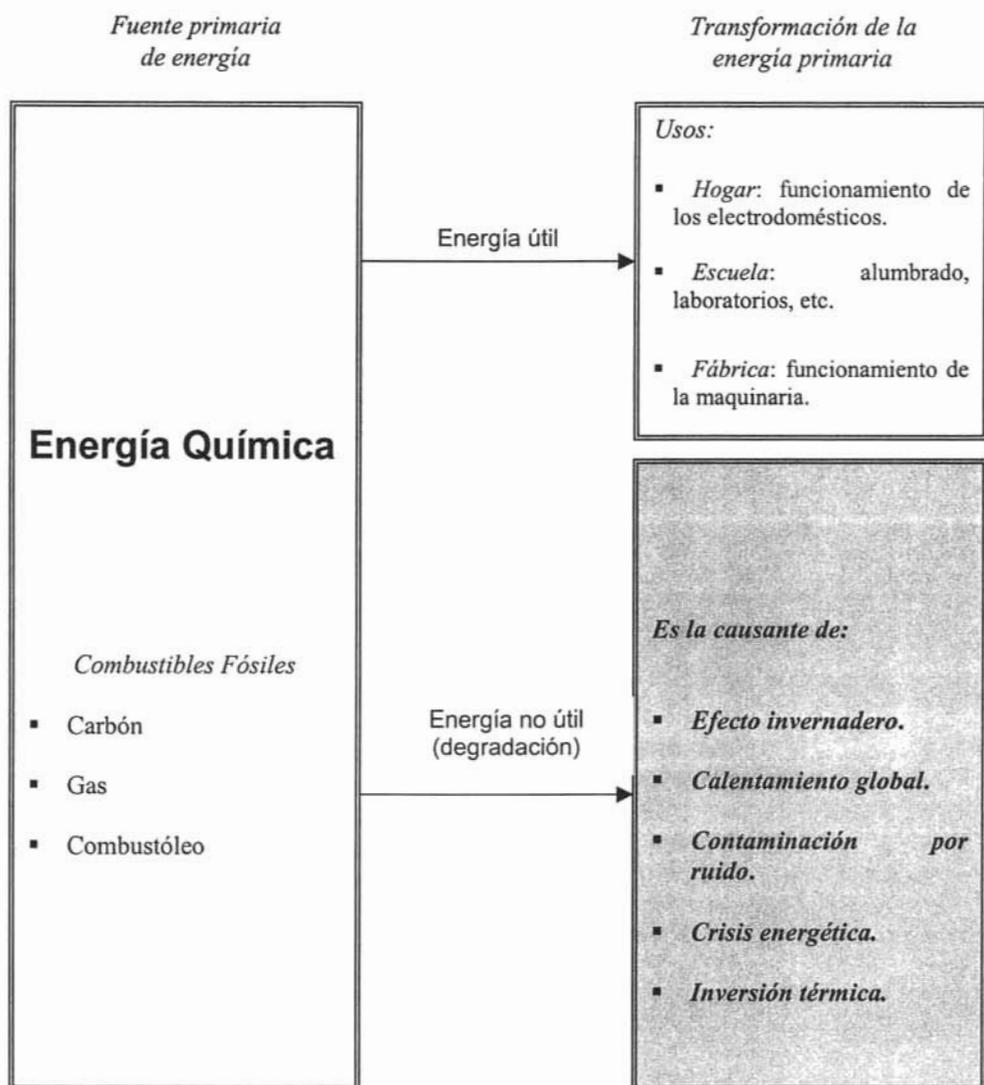


Figura 7 bis. Transformación y degradación de la energía en una central termoeléctrica.



Este diagrama muestra que sólo una pequeña parte de la energía total primaria se puede utilizar en la realización de trabajo. La otra parte se pierde en el medio en donde no se tienen maneras de emplearla para un fin práctico; más aún, esta energía no útil es la que se transforma en contaminación.

2.3 Recapitulación.

Con este tipo de actividades se pretende, por un lado, que el alumno adquiera una visión más amplia del concepto de energía, y por otro, *nos permite introducir y hacer una estructuración de conceptos entorno a la energía*. Por ejemplo, haciendo referencia a la, hoja de trabajo No 3, sobre una central hidroeléctrica; el alumno identifica por lo menos tres tipos de energía: *de posición (potencial), de movimiento (cinética) y eléctrica*. Una pregunta obligada sería, ¿cómo se podría determinar o cuantificar estas energías? o ¿cuáles son los conceptos que permiten cuantificarlas?. Estas preguntas darán paso a que el alumno tenga un primer acercamiento a conceptos como: *masa, trayectoria, posición, velocidad (traslación, rotación), aceleración, fuerza, trabajo, potencia, calor, temperatura, entropía etc.* Los primeros son los conceptos centrales en cinemática, los siguientes en dinámica y los últimos en termodinámica. Cabe señalar que los conceptos cinemáticos de velocidad y aceleración no serán abordados en este trabajo, enfocándonos hacia aquellos conceptos dinámicos y termodinámicos estrechamente relacionados con la conceptualización y cuantificación de la energía.

También estamos ya en proponer una formulación del principio de la conservación de la energía (PCE) no solamente en un sentido tal y como aparece en la literatura,” la energía ni se crea ni se destruye, solo se transforma”, sino, *“En todas las transformaciones energéticas que ocurren en un sistema aislado, cambia la forma en la que se presenta la energía pero no cambia la cantidad total de energía, es decir, la energía antes de la transformación es la misma que hay después de la transformación”*.

2.4 Test para ubicar las preconcepciones de fuerza, energía y trabajo.

El siguiente conjunto de preguntas permite ubicar las ideas previas de cada estudiante en torno a los conceptos de *fuerza, energía y trabajo*. Estas se pueden realizar de dos maneras posibles, a saber, como examen diagnóstico respondido por cada uno de los estudiantes o, también, a manera de entrevista individual, conducida por el profesor.

TEST

1. Entre las palabras que se indican a continuación elige dos que te parezcan más relacionadas con la palabra “energía”:

Alimentos
Electrodomésticos
Explosivos
Fuerza

Movimiento
Atleta
Pila eléctrica
Trabajo

2. Escribe dos frases que indiquen la relación entre energía y cada una de las palabras que has elegido.
3. ¿Cuáles son las causas que originan cambios en un *sistema físico*? Explica tu respuesta.
4. ¿Es cierto que las interacciones sólo se producen cuando dos sistemas están en contacto? Explica tu respuesta.
5. En un experimento de laboratorio un alumno deja caer un balón, desde un punto X, sobre un riel metálico (ver figura 1). Señala cuál será el punto más lejano que puede alcanzar el balón. Explica tu respuesta.

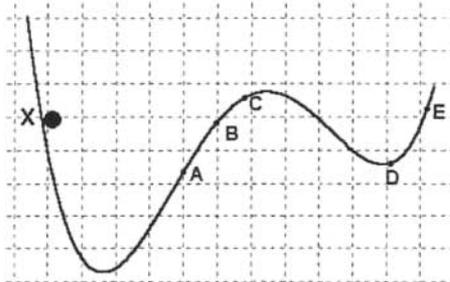


Figura 1. Un balón sobre un riel curvado.

6. El carro representado en la figura 2 lleva una determinada velocidad. Al chocar contra el tope es capaz, mediante un sistema de engranajes, de subir una determinada altura el peso que tenemos colocado en B. Describe el proceso, usando al menos una vez cada una, las palabras: "fuerza", "energía", "trabajo" y "potencia".
7. Un coche llega al principio de una cuesta con una determinada velocidad. En ese momento se para el motor, pero aún puede subir a lo alto de la cuesta, lugar en donde se detiene (ver figura 3).

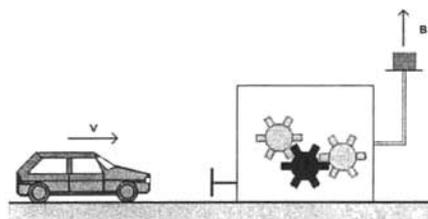


Figura 2.

Señala que frase te parece correcta, explicando tu respuesta.

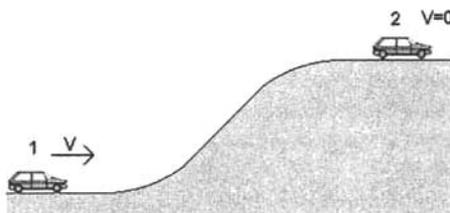


Figura 3.

Respecto a la fuerza:

- A. Tiene más fuerza en 1.
- B. Tiene más fuerza en 2.
- C. Tiene la misma energía en 1 que en 2.
- D. Ninguna de las respuestas anteriores es correcta.

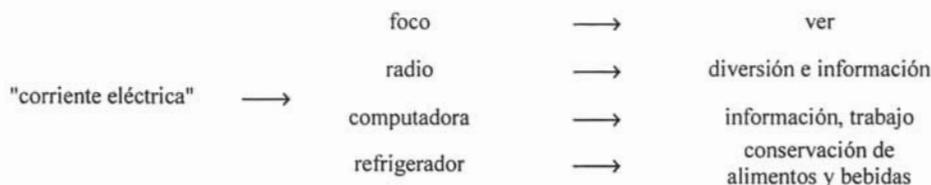
Respecto a la energía:

- A. Tiene más energía en 1.
- B. Tiene más energía en 2.
- C. Tiene la misma energía en 1 que en 2.
- D. Ninguna de las respuestas anteriores es correcta.

3 FENÓMENOS MECÁNICOS

3.1 Introducción

Con el desarrollo de las actividades establecidas en el capítulo anterior, ya se ha colocado al estudiante en situación para que mire algunas de las cosas de su alrededor desde un punto de vista *físico*. Claro está que con estas actividades no se ha tenido la intención de que el estudiante establezca los conceptos físicos involucrados en los fenómenos con los que se le confronta, ni de que haga un análisis físico profundo de ellos, sino, más bien, se trata de que el estudiante encuentre en ellos cuestiones que sean de su interés y que este interés de cabida a la necesidad del aprendizaje de la física. Por ejemplo, en la secuencia didáctica *Central Hidroeléctrica* se invita al estudiante a reflexionar acerca de la utilidad que tiene la "energía eléctrica" ("electricidad") en la vida cotidiana, así como de su origen o producción. Esta secuencia motivará el desarrollo ulterior de las secuencias didácticas expuestas en este capítulo. En este caso, la primera pregunta conductora lleva al estudiante a una reflexión acerca de la importancia que la electricidad tiene en la vida contemporánea y su sentido debe ser parecido al de la pregunta siguiente: ¿cómo sería un día sin energía eléctrica? Ahora bien, al llevar a cabo esta pregunta, los estudiantes por lo general responden señalando los diferentes usos domésticos de la electricidad, dando lugar a un diagrama como el siguiente:



Enseguida, con una segunda pregunta conductora (¿cómo se produce la energía eléctrica?), se lleva a los estudiantes a reflexionar acerca de la producción de energía eléctrica, a lo que responden, en términos generales, que este tipo de energía se produce en una central hidroeléctrica, y no sólo eso, sino que también describen en sus propios términos las partes que la constituyen y las diferentes transformaciones de energía dadas en una central de este tipo. La siguiente tabla muestra la interpretación de los estudiantes acerca de la producción de energía eléctrica ("electricidad") en una central hidroeléctrica, así como algunos de los enunciados surgidos en tales interpretaciones, las ideas que manifiestan en ellos y los términos físicos que se derivan, o pueden derivar, de todo ello.

Interpretación estudiantil de la "producción de energía eléctrica" ("electricidad").

"la 'energía' se obtiene del agua almacenada en una presa que, al caer desde cierta altura en forma de chorro, choca con las aspas de una turbina, haciendo girar el eje de un generador, que es el que produce la "energía", almacenándola en recipientes para mandarla a la casa"

enunciados empleados por los estudiantes:	idea subyacente:	término(s) físico(s)
"la fuerza del agua mueve a la turbina"	Algunos estudiantes ven a la "fuerza" como una propiedad del agua, algo así como el color o el sabor de la misma.	fuerza, energía potencial, energía de movimiento
"el peso del agua es lo que mueve a las aspas de la turbina"		fuerza, energía potencial, energía de movimiento
"la energía de la caída del agua es la que, en última instancia, genera la electricidad"	Algunos estudiantes creen que la energía potencial está dentro del agua, no distinguiendo, en este sentido, que es la posición la que la determina.	energía potencial, energía cinética, energía eléctrica, corriente eléctrica
"la electricidad se da por el movimiento del agua"	Algunos estudiantes creen que la energía eléctrica la "trae" el agua.	energía potencial, energía de movimiento (traslacional y rotacional), trabajo, variación del campo electromagnético

Este tipo de actividades y observaciones ponen de manifiesto algunos rasgos generales de la manera de concebir las cuestiones físicas por parte de los estudiantes pero, más importante aún, es el hecho de que con este tipo de diálogos y actividades se logra despertar el interés del estudiante hacia los procesos o cambios físicos observables cuestión que, además, puede orientarse y dirigirse en todo momento hacia el papel central que el concepto de energía juega en todos ellos, lo que da pie para que el estudiante lleve a cabo una *reconstrucción conceptual* de las cuestiones físicas puestas a su interés y consideración. En particular, en este capítulo se seguirá una dinámica de enseñanza bajo estos lineamientos centrándonos en los llamados *fenómenos mecánicos*, a saber, aquellos sistemas que al interactuar producen una transferencia de energía que es observable a través de *cambios en su movimiento o configuración*: el cambio de movimiento conlleva cambios en la *energía cinética* y en la *cantidad de movimiento* del sistema, mientras que los cambios de configuración se presentan en la *distribución, forma o estructura* del mismo, o sea en energía potencial.

De esta manera, nuestro punto de partida serán aquellos enunciados (expresiones verbales) que los estudiantes usan para referirse a la *energía mecánica*, aunque normalmente estos sean equivocados, pero que, sin embargo, bien pueden conectarse y/o extenderse con diversos *parámetros mecánicos* que al combinarlos adecuada y pertinentemente dan lugar al concepto de energía mecánica y su cuantificación a través de un conjunto rígidamente específico de expresiones algebraicas, verbigracia mgh y $mv^2/2$, que, aplicadas al sistema físico apropiado conduce a un valor numérico cuyas unidades son las mismas que las del *trabajo* que, cabe decirlo, es el concepto fundamental para distinguir el concepto de *fuerza*

del de la *energía*. En la siguiente tabla se muestran algunos de esos enunciados así como los parámetros mecánicos relacionados con la energía (mecánica) y el concepto energético subyacente.

<i>Expresión verbal de los estudiantes</i>	<i>Parámetros mecánicos relacionados con la energía</i>	<i>Concepto físico central</i>
"objetos a diferentes alturas "	masa, posición relativa dentro de una interacción gravitacional, trabajo, potencia	<i>Energía potencial</i>
"la fuerza (<i>energía</i>) de objetos a diferentes velocidades"	masa, velocidad, cantidad de movimiento, trabajo, potencia	<i>Energía cinética</i>
"el esfuerzo que se hace para levantar un objeto"	masa, posición, fuerza	<i>Trabajo</i>

Finalmente, los temas de mecánica se han organizado en secuencias didácticas para que el estudiante vaya asimilando, diferenciando y precisando progresivamente aquellos parámetros que permitan la elaboración conceptual de *energía mecánica*. Estas secuencias, a su vez, han quedado agrupadas en las siguientes unidades didácticas.

A. Interacciones.

- *Clasificación de interacciones.*
- *Tercera ley de Newton.*
- *Fuerza resultante:*
 - *Si la fuerza resultante = 0, entonces se cumple la primera ley de Newton.*
 - *Si la fuerza resultante $\neq 0$, entonces se cumple la segunda ley de Newton.*

B. Trabajo y energía.

- *Energía potencial (gravitacional, elástica).*
- *Energía cinética (traslacional, rotacional).*
- *Trabajo mecánico.*
- *Teorema trabajo – energía cinética.*

C. Principios de conservación.

- *Principio de conservación de la energía cinética.*
- *Principio de conservación de la energía mecánica total.*

3.2 Obstáculos epistemológicos y lineamientos generales para el aprendizaje significativo de fuerza, trabajo y energía.

En esta parte se proponen una serie de secuencias didácticas con la finalidad de que conduzcan al estudiante a precisar el significado de los conceptos de *fuerza, energía, trabajo y potencia*, así como establecer la diferencia existente entre ellos. Las actividades aquí realizadas le permitirán ir más allá de la resolución de problemas tradicionales, haciendo más relevantes los conceptos y ecuaciones de la física con el mundo cotidiano. Asimismo, podrá establecer la relación cuantitativa entre *trabajo y energía*, además de poder emplear en situaciones concretas dos de los principios fundamentales de la mecánica: *la ley de la conservación de la energía* y *la ley de conservación de la cantidad de movimiento*, con lo que habrá elaborado suficientemente el concepto de *energía mecánica*.

OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS PARA LA ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LOS CONCEPTOS DE FUERZA Y ENERGÍA

Para el diseño de las actividades de esta sección, se han considerado investigaciones realizadas por expertos en la enseñanza de la física que apuntan hacia algunos de los obstáculos epistemológicos más relevantes de la enseñanza-aprendizaje de los conceptos de energía, fuerza y trabajo. En particular, caben destacar las siguientes observaciones:

- Watts, Zylbersztajn 1981¹ encontraron en un estudio sobre ideas previas en torno a este concepto, que muchos estudiantes relacionan la *fuerza con el movimiento* y creen que cuando dos objetos interactúan para producir movimiento, *uno es más fuerte que el otro*.
- También (Varela, 1986) ha encontrado las siguientes ideas que relacionan a la fuerza con el movimiento "*los objetos que se mueven tienen fuerza en virtud de su movimiento..., la fuerza depende de la velocidad y tamaño del cuerpo*".
- Aun más, en un artículo sobre energía (Hierrezuelo Moreno, J. y Molina González, 1990)² llegan a la misma conclusión acerca de la confusión entre los significados de las palabras *fuerza, energía, trabajo y potencia*. Mencionan, por un lado, que la principal dificultad conceptual radica en la diferenciación entre *fuerza y energía*; más precisamente, la dificultad surge por la confusión que existe entre "la fuerza de los objetos que se mueven", idea mantenida por los alumnos antes y después de la enseñanza, y la *energía cinética* que debe sustituir esta idea. Por otro lado, los resultados indican que no se ha tenido éxito en la enseñanza en cuanto a la comprensión de que el trabajo mide una de las formas de variación de la energía ($W = \Delta E$).

¹Watts,D., Zylbersztajn, "A survey of some children's ideas about force", Physics Education 16, 360 (1981).

² Hierrezuelo, M., Molina, G. "Una propuesta para la introducción del concepto de energía en el bachillerato", Enseñanza de las Ciencias, 1990, 8(1), Págs. 23-30.

- (Maloney, 1990)³ en sus investigaciones, y haciendo referencia a los trabajos de (Terry, Jones 1986) acerca del concepto de fuerza, propone que si se quiere que los estudiantes comprendan realmente el concepto físico de fuerza, entonces deberemos proporcionales los materiales adecuados para que se den cuenta que todas las fuerzas surgen de las interacciones entre dos objetos, o sea, siempre ocurren en pares que involucran a un agente (el cual ejerce la fuerza) y un objeto (sobre el cual la fuerza actúa). En este sentido para que el alumno llegue a un aprendizaje significativo del concepto de fuerza es necesario que primeramente comprenda la *tercera ley de Newton*. De hecho también así lo sugiere (Arons, 1981)⁴: *"los estudiantes no empiezan a comprender el concepto de fuerza hasta que ellos llegan a ser capaces de aplicar correctamente la tercera ley de Newton"*.
- En sus investigaciones de libros de texto de física para bachillerato, (Lehman, 1992) señala que en la mayoría de ellos la "energía" se define como "la habilidad para realizar trabajo", y hace una crítica de esta definición señalando tres defectos fundamentales de los que adolece, a saber:
 - "no es verdadera";
 - "es tan carente de contenido que parece que está diseñada para facilitar su memorización, más que para promover el entendimiento del concepto";
 - "distorsiona gravemente la naturaleza del importante [y urgente] problema social de la disponibilidad de fuentes de energía".

En consideración con lo señalado líneas arriba, propongo los siguientes lineamientos generales para la enseñanza-aprendizaje de los conceptos de *interacción (fuerza)* y *energía*, puesto que permiten que el estudiante los construya, distinga y diferencie, dando lugar a un aprendizaje significativo de los mismos.

A. Necesidad de construir un idioma propio de la física.

Frases comunes en el lenguaje cotidiano como: "un hombre fornido *tiene mucha fuerza*" o "un niño *tiene poca fuerza*", o "el coche venía *con mucha fuerza*", etc., son útiles para iniciar una discusión. En este sentido una serie de actividades bien pensadas pueden conducir eficientemente a que el alumno comprenda, extendiendo el significado de este tipo de locuciones, a los conceptos centrales de interacción y energía dejando a un lado expresiones poco precisas, o ambiguas, del lenguaje cotidiano. Por ejemplo, la idea subyacente a la tercera frase, de que un objeto se mueva con "gran fuerza", corresponde esencial y adecuadamente a la noción de *energía cinética* del móvil y será con las actividades (secuencias didácticas) que este concepto deberá tomar forma en las consideraciones y lenguaje del estudiante a través de expresiones como "el coche venía con gran energía cinética".

³ Maloney, D.P. "Forces as interactions". The Physics Teacher, September 1990.

⁴ Arons, A. Thinking, Reasoning, and Understanding Introductory Physics Courses. The Physics Teacher. March 1981. Págs. 168-169.

B. *Necesidad de resaltar las consecuencias que produce una interacción en la transferencia de energía.*

En una interacción entre objetos o sistemas hay transferencia de energía que es observable por los cambios físicos que produce. En las *interacciones mecánicas*, que es lo que aquí nos interesa, se observan *cambios de movimiento* y de *configuración* de (o entre) los objetos que intervienen, siendo las consecuencias más destacadas de ello las siguientes.

- a. *Consecuencias del cambio de movimiento (velocidad)*. Se debe entender que cuando una partícula interactúa con otro objeto cambia de velocidad y, en consecuencia, cambia su energía cinética y su cantidad de movimiento. Esto es lo que ocurre cuando se empuja, jala, se atrae o repele un objeto por la acción de otro. Si no hay interacción no hay cambio en su movimiento (primera ley de Newton).
- b. *Consecuencias del cambio de configuración (energía potencial)*. Cuando se tiene una configuración espacial de dos o más objetos, está dada una energía potencial o de configuración específica. Ahora, para cambiar esta configuración (energía potencial) es necesario llevar a cabo un *trabajo*. Esto es cierto para sistemas gravitacionales, eléctricos y magnéticos. (En donde haya campos). De esta manera, el cambio de configuración de un sistema mecánico conlleva la realización de trabajo.
- c. *Trabajo*. Cuando la energía se transmite en un proceso que consume combustible se puede medir el *costo del proceso* por la tarea realizada; verbigracia, cuando una persona o máquina levanta un objeto a cierta altura, el costo de la energía transferida es el *trabajo* realizado por el hombre o la máquina sobre el objeto levantado. En este tipo de procesos se observan fuerzas y desplazamientos (cambios de configuración), por lo que en tales interacciones la transferencia de energía se manifiesta por medio de la realización de trabajo. De esta manera, el concepto de trabajo se debe desarrollar como la cuantificación precisa y no ambigua de la transmisión de energía de un sistema a otro. Más aún, en un primer acercamiento este concepto se puede utilizar como una primera medida de la tarea realizada o del combustible consumido⁵.
- d. *Potencia*. El uso eficiente de los recursos energéticos está relacionado con el uso óptimo de las máquinas y es aquí en donde adquiere relevancia el concepto de potencia, debido a que éste relaciona la cantidad de trabajo que una máquina puede realizar por unidad de tiempo.

C. *Cómo reconocer que sobre un cuerpo está aplicada una fuerza.*

⁵ De hecho, el concepto de trabajo surge por la necesidad de determinar la "máquina" más eficiente para realizar las tareas usuales en el contexto de la revolución industrial (fines del s. XVIII). Cf. Lehrman, R. La energía no es habilidad para realizar trabajo. Traducción: Gabriel de Anda L. Pág. 1-15.

- a. Una fuerza produce una *deformación* del cuerpo sobre el cual está aplicada. Una discusión con ejemplos sencillos será una buena iniciación para construir el concepto: *un resorte elástico* tiene la propiedad de *deformarse*, aprovechable para medir la *intensidad de la fuerza* aplicada. Siempre un cuerpo se deforma cuando se aplica una fuerza, siendo ésta deformación visible o no.
- b. Una fuerza produce un cambio en las magnitudes que describen el movimiento de un cuerpo. ¿Cuál de ellas usar para expresar el cambio y así reconocer la aplicación de una fuerza? ¿*La forma de su trayectoria?* ¿*La velocidad del cuerpo?*

D. *El origen de las fuerzas.*

Es necesario que en la construcción del concepto de fuerza estén presentes dos elementos:

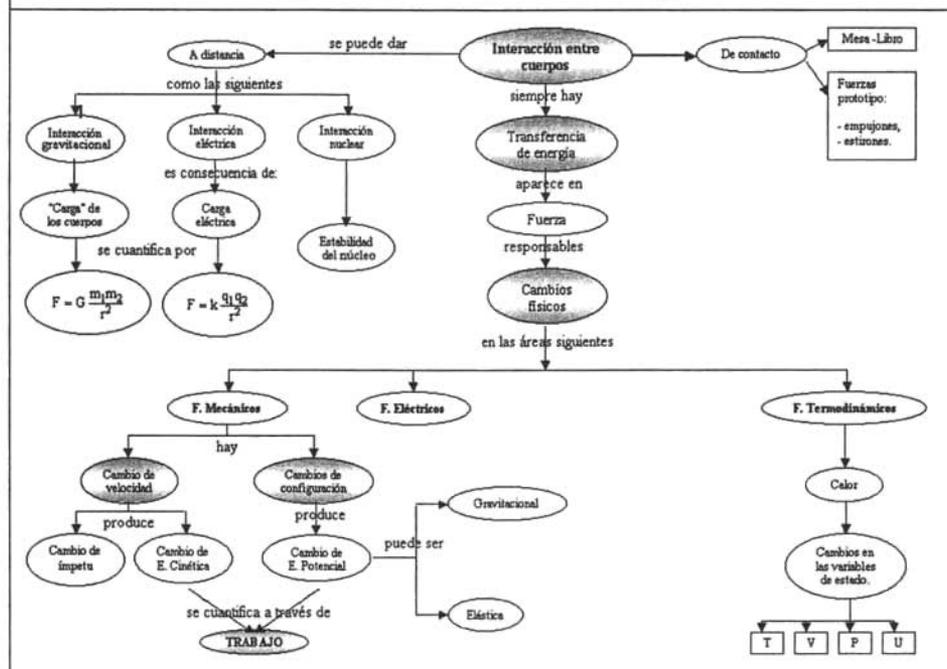
- a. Para que exista una fuerza aplicada a un cuerpo, es imprescindible la presencia de otro cuerpo que la ejerza; la naturaleza es tal que las fuerzas son el resultado de *interacciones* entre cuerpos. Siempre las fuerzas *se originan en pares*, pues si un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro cuerpo, éste ejerce otra fuerza sobre aquél. Este hecho físico de *interacción*, no es empleado suficientemente como una observación para construir las características propias que dan lugar completamente a una *fuerza*.
- b. Una fuerza a distancia es consecuencia de un *fenómeno de la naturaleza* y ella sólo nos ofrece la *interacción gravitacional, eléctrica-magnética y las fuerzas nucleares, fuerte y débil*, como fenómenos que originan fuerzas. *No hay más*. Entonces, si se examina un cuerpo para reconocer si hay o no fuerzas aplicadas sobre él, hay que buscar:
 - i. *algún otro cuerpo que la ejerza; y*
 - ii. *cuál es el fenómeno natural que interviene.*

Todas estas ideas y conceptos, relacionados en torno al concepto de interacción y energía, se han estructurado en el *mapa conceptual de interacción-energía* (vea página siguiente). Allí se muestran la mayoría de los conceptos que están correlacionados con los de interacción (fuerza⁶) y energía, así como las proposiciones que los relacionan o vinculan. Ahora bien, con base en ello he diseñado las siguientes secuencias didácticas que tienen como propósito servir para que el alumno construya un aprendizaje significativo de los conceptos mencionados tal y como se muestran en el *Programa operativo: Dinámica*⁷.

⁶ En el Anexo II de este capítulo, se amplía éste concepto y sus relaciones a través del mapa conceptual *Fuerza*.

⁷ Cf. Anexo I de este capítulo (pág. 76).

Mapa conceptual 1. Interacción – Energía.



3.3 Secuencias didácticas para el concepto de interacción-energía.

3.3.1 Fase de información e introducción al concepto de interacción-energía.

Secuencia didáctica 1. Investigación documental acerca de la interacciones físicas en la naturaleza.

En esta secuencia, el alumno hará una investigación documental⁸ teniendo como línea conductora el término *interacción*, destacando lo relativo a éste concepto a través de su *clasificación* y de las *clases de interacciones a distancia*. Esto permitirá, en la primera parte de la siguiente hoja de trabajo, una discusión grupal que dará cabida a que el alumno de cuenta de diversas interacciones dadas en la naturaleza así como de su origen (mecánicas,

⁸ El texto principal para esta investigación es el de Gutiérrez, A. et al, *Física II Interacciones*. CCH UNAM. México. 1998.

eléctricas y nucleares), además de permitirle establecer, en la segunda parte de esta hoja de trabajo) la relación *interacción-transferencia de energía-fuerza*. Esta discusión se concretará a través de la siguiente hoja de trabajo.

Hoja de trabajo 1. Clasificación de interacciones físicas en la naturaleza.

1. En tu cuaderno de trabajo completa la siguiente tabla de manera análoga al ejemplo dado en la primera fila.

Tabla 1. Interacciones a distancia y sus características.

<i>Interacción</i>	<i>Origen</i>	<i>Tipo de interacción</i>	<i>Es causante de:</i>		<i>Parámetros físicos</i>
Gravitacional	Masa de los cuerpos	A distancia (de largo alcance)	- Movimiento de los planetas. - Responsable de las mareas.	La carga gravitacional es de la misma naturaleza, por lo que: - es siempre atractiva, - es imposible aislarla o neutralizarla, - disminuye con la distancia.	- masa, - fuerza, - distancia.
Eléctrica					
Electromagnética					
Nuclear: fuerte					
débil					

2. En tu cuaderno de trabajo completa la siguiente tabla de manera análoga al ejemplo dado en la primera fila.

Tabla 2. Relación: interacción de contacto– energía – fuerza – cambio físico.

Sistema físico	Interacciones	Transferencia de energía	Fuerza	Cambio de magnitud física	Consecuencias
Empujar un objeto sobre la mesa	Entre la persona que empuja y el objeto empujado.	La persona que empuja cede parte de su energía. El objeto la recibe.	La fuerza se manifiesta como un empujón o jalón.	Velocidad-forma	- Cambio de energía cinética. -Cambio de la cantidad de movimiento. - Se deforma el cuerpo.
Elevar un objeto a cierta altura					
Deformar un resorte.					

3. 3. 2 Fase de información e introducción a la tercera ley de Newton

Secuencia didáctica 2. Investigación documental de la tercera ley de Newton.

En esta secuencia, el alumno hará una investigación documental acerca de la tercera ley de Newton con la finalidad de llevar a cabo una discusión grupal que de lugar a un enunciado de esta ley en los términos siguientes:

las fuerzas de acción-reacción son iguales en magnitud, de la misma dirección pero de sentido opuesto,

así como para destacar que las interacciones dadas en sistemas mecánicos (sencillos, para ejemplificar) dan lugar a fuerzas que aparecen por pares, acción y reacción, que bien pueden analizarse en *diagramas de cuerpo libre*.

3. 3. 3 Fase de ampliación y aplicación de la tercera ley de Newton

Secuencia didáctica 3. Tercera ley de Newton.

Como se ha mencionado en la introducción de este capítulo, para que el alumno tenga éxito al aplicar la segunda ley de Newton a un sistema mecánico, primero debe ser capaz de identificar todas las interacciones mecánicas que actúan sobre él. Es decir, debe construir el diagrama de cuerpo libre correcto, teniendo siempre en mente que *las fuerzas actúan por pares* y, para ello, el alumno deberá realizar la siguiente hoja de trabajo.

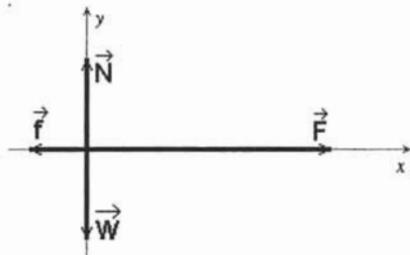
Hoja de trabajo No. 2. Interacciones mecánicas y diagrama de cuerpo libre.

Tarea para el alumno. En los siguientes sistemas mecánicos, identifica las interacciones presentes y construye su diagrama de cuerpo libre; se trata de que reconozcas las *interacciones de contacto* y a *distancia*.

Situación física:

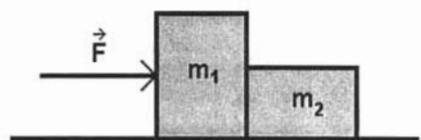


Diagrama de cuerpo libre:

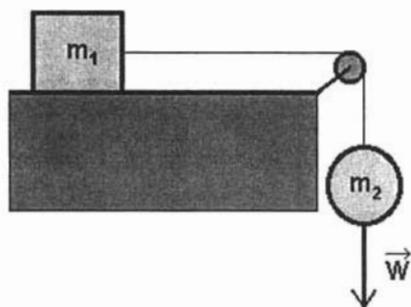


(a). Se tira de un bloque hacia la derecha sobre una superficie horizontal *áspera* de manera que éste se mueva.

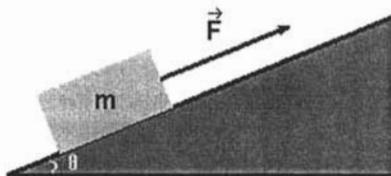
(a'). \vec{f} , \vec{N} y \vec{F} : inter-acciones de contacto;
 \vec{W} : inter-acción a distancia.



(b). Dos bloques en contacto empujados hacia la derecha sobre una superficie horizontal *lisa*.



(c). Dos bloques conectados por medio de una cuerda ligera. La superficie es horizontal y áspera.



(d). En un plano inclinado con superficie áspera, se tira de un bloque hacia arriba.

N. B. Habrá que indicarle al alumno que, en la notación que aparece en los libros, F representa a la fuerza aplicada al cuerpo, $W = mg$ al peso, N a la fuerza normal, f a la fuerza de rozamiento y T a la fuerza de tensión.

Secuencia didáctica 4. El turbo-jet.

El alumno hará una reseña del artículo *Los cohetes: artifices de la era espacial*⁹, acerca de los conceptos de *propulsión*, *turbina*, *turbo jet* y *potencia mecánica*, con el propósito de establecer una discusión grupal en donde se ponga en relieve la utilidad o aplicación de la tercera ley de Newton en su entorno.

3. 3. 4 Fase de información e introducción a la segunda ley de Newton

Secuencia didáctica 5. Segunda ley de Newton (1a. parte).

Se parte de una investigación documental acerca del concepto de fuerza para llevar a cabo una discusión grupal de este concepto que lo conduzca a identificar, por un lado, las magnitudes físicas que subyacen al concepto de fuerza y, por otro, a que caracterice los siguientes sistemas mecánicos:

- i. La fuerza aplicada a un objeto para cambiar su estado de reposo o de movimiento.
- ii. La interacción entre Tierra-Luna, Tierra-Sol.

⁹ Catalá, R. *¿Cómo ves?*. México. Septiembre, 2001. Págs. 22-25.

En esta secuencia, el concepto de *interacción* juega un papel de primera importancia, pues permite hacer evidente que, sobre un cuerpo, las interacciones se suman para dar una resultante (segunda ley de Newton), por lo que las preguntas generadoras serán las dos siguientes: *¿qué clase de interacciones hay?* y *¿cuál es la fuerza resultante?*

Secuencia didáctica 6. Segunda ley de Newton (2a. parte).

En esta secuencia los estudiantes realizarán el experimento “Segunda ley de Newton”¹⁰, con la que los estudiantes establecerán las dos proposiciones siguientes:

- “la aceleración es inversamente proporcional a la masa del objeto”: $a \propto \frac{1}{m}$,
- “la aceleración es directamente proporcional a la fuerza que actúa sobre el objeto”: $a \propto F$;

y den constancia de estos hechos.

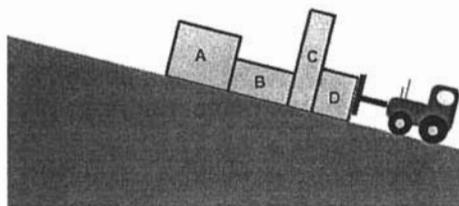
3. 3. 5 Fase de ampliación y aplicación de la segunda ley de Newton

Secuencia didáctica 7. Segunda ley de Newton (3a. parte).

La siguiente actividad dará al estudiante oportunidad de usar los nuevos conceptos en diversas situaciones para que adquiera confianza en la aplicación de los mismos. También le permitirán ver la utilidad y la relevancia de lo ya construido.

Hoja de trabajo No. 3. Segunda ley de Newton.

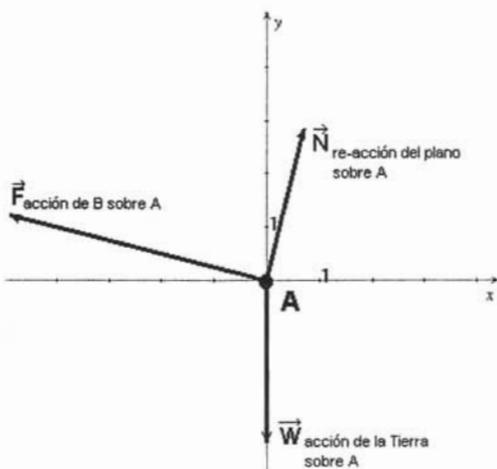
La siguiente figura muestra un conjunto de cajas que están siendo empujadas hacia arriba por un tractor.



¹⁰ Cf. *Antología de materiales y experimentos*. Experimento 3.

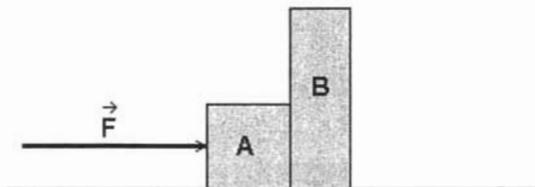
Figura 1. Un tractor empujando unas cajas hacia arriba.

A continuación se muestra el diagrama de cuerpo libre de las fuerzas que actúan sobre el bloque A.



Tarea para el alumno. En tu cuaderno de trabajo haz lo siguiente.

1. Determina el diagrama de cuerpo libre para el bloque C y D.
2. Identifica el tipo de fuerzas dadas en los tres casos (puede ser de contacto o a distancia).
3. ¿Hay alguna fuerza resultante sobre cada uno de los bloques? ¿Puedes calcularla?
4. Problema: dos bloques A y B de masas 2 y 3 Kg, respectivamente, están en contacto y colocados sobre una superficie horizontal lisa (sin fricción), como se muestra en la figura siguiente.



- a. Elabora el diagrama de cuerpo libre correspondiente a cada bloque.
- b. ¿Cuáles son las aceleraciones de las masas si se aplica una fuerza de 10 N?
- c. ¿Cuáles son las fuerzas de B sobre A (F_{BA}) y de A sobre B (F_{AB})?

Secuencia didáctica 8. Algunas aplicaciones de las leyes de Newton.

Otro tipo de actividades que el alumno deberá llevar a cabo en el aula-laboratorio, para profundizar y ampliar el concepto de fuerza, son las que se proponen en la siguiente hoja de trabajo en la que, por un lado, se introduce el concepto de *potencia mecánica* y, por otro, se le sitúa no sólo en el *dominio científico* sino también, en el *ámbito de lo cotidiano*. Más aún, en este tipo de actividades emergen como herramientas útiles las representaciones algebraicas de velocidad y aceleración¹¹, cuestiones centrales de la *cinemática*.

Hoja de trabajo No. 4. La física y la tecnología automotriz.

I. La revista *Autoplus* exhibe una serie de datos de algunas cantidades físicas que el fabricante del automóvil proporciona para darle seguridad y comodidad al comprador. Utiliza los datos de la siguiente tabla¹² para determinar la fuerza de frenado requerida por un automóvil que pasa de 110 km/hr a 0 km/hr. Con estos datos completa la siguiente tabla y responde las preguntas que se hacen a continuación.

Tabla 3. Resultados de prueba para diferentes automóviles.

Vehículo (marca)	Potencia (hp)	V_{max} (km/h)	Masa (kg)	V_i (km/h)	V_f (km/h)	d (m)	a (m/s^2)	$F_{frenado}$ (N)	$t_{frenado}$ (s)
Cadillac XLR	320	250	1,661	110	0	55.7			
Audi A84.2 Quattro	335	250	1,780	110	0	51.8			
Ford Thunderbird	280	210	1,716	110	0	50.3			
VW Beetle Cabriolet	115	184	1,325	110	0	55.1			
Toyota Sienna XLE Limited	230	173	1,868	110	0	56.1			

¹¹ Los conceptos cinemáticos y sus relaciones no son desarrollados en el presente trabajo; sin embargo, se puede consultar el Anexo III de este capítulo (pág. 76) en donde se exponen estos conceptos y sus principales relaciones, además de indicar las principales representaciones de estas cuestiones.

¹² *Autoplus*, No 17, Junio 2003.

1. Con la fórmula: $V_f^2 - V_i^2 = 2ad$, determina la aceleración (a) de cada vehículo. Anota el resultado en la columna correspondiente y explica porqué aparece con signo negativo.
2. Emplea la segunda ley de Newton: $F = ma$, para calcular la fuerza de frenado ($F_{frenado}$) del vehículo. Anota la respuesta en la columna correspondiente.
3. Usa la siguiente fórmula: $d = v_i t + \frac{1}{2} a t^2$, para determinar el tiempo que tarda el vehículo en alcanzar el reposo. Anota tu respuesta en la columna pertinente.
4. ¿Qué significado tiene para ti la potencia del vehículo?. Explica tu respuesta.

II. También en la revista *Car and Driver* puedes encontrar datos de las características del funcionamiento de diferentes marcas de autos. En particular, en la siguiente tabla¹³ se muestran los datos de pruebas de la *potencia* que desarrolla en carretera un Corvette, cuando mantiene constante su velocidad y para diferentes valores de esta. El peso de este modelo es de 1354 Kg.

Tabla 4. Pruebas de potencia del Corvette.

Velocidad (millas/h)	Potencia (hp)	Velocidad (m/s)	Velocidad al cuadrado (m/s) ²	Potencia (W)	Fuerza opuesta (N)
30	5				
50	13				
70	29				

Tarea para el alumno. En tu cuaderno de trabajo contesta las siguientes preguntas, escribiendo todos los cálculos.

1. Determina la velocidad en m/s y la potencia en watts (W), recuerda que un: $hp = 745.7 W$. Anota tus resultados en la tabla.
2. Calcula la velocidad al cuadrado (v^2).
3. Observando los datos de la tabla anterior se nos muestra la potencia que suministra el motor al vehículo, para mantenerlo a una velocidad constante. Entonces, la fuerza de empuje liberada por la máquina hacia las llantas es igual a la fuerza opuesta (debida a la resistencia del aire). Para calcularla se utiliza la fórmula:

$$P = \frac{\text{energía}}{\text{tiempo}} = \frac{\text{trabajo}}{t} = \frac{W}{t} = \mathbf{F} \times \mathbf{v}$$

Para cada potencia determina la fuerza opuesta (F), y anótala en la tabla.

¹³ Car and Driver, Oct. 1987, Pág. 99.

4. Observando los datos de la tabla anterior se nos muestra la potencia que suministra el motor al vehículo, para mantenerlo a una velocidad constante. Entonces, la fuerza de empuje liberada por la máquina hacia las llantas *es igual a la fuerza opuesta (debida a la resistencia del aire)*. Para calcularla se utiliza la fórmula:

$$P = \frac{\text{energía}}{\text{tiempo}} = \frac{\text{trabajo}}{t} = \frac{W}{t} = \mathbf{F} \times \mathbf{v}$$

Para cada potencia determina la *fuerza opuesta (F)*, y anótala en la tabla.

5. Traza la gráfica de *fuerza vs. v²*.

Que interpretación física se le puede dar a la pendiente de la gráfica, ¿acaso será la *calidad aerodinámica del carro*?

Secuencia didáctica complementaria 9. Los principios básicos de la fabricación de un avión.

Con esta secuencia el alumno tiene que hacer una recapitulación de sus construcciones conceptuales, de cinemática y de dinámica, al llevar a cabo la siguiente hoja de trabajo.

Hoja de trabajo No. 5. Las fuerzas que hacen posible el vuelo de un avión.

Lee el artículo "*Todos los secretos de la fabricación de un avión*"¹⁴ y contesta las siguientes preguntas en tu cuaderno de trabajo.

1. Haz una descripción de cada una de las fuerzas que aparecen en la figura 2.

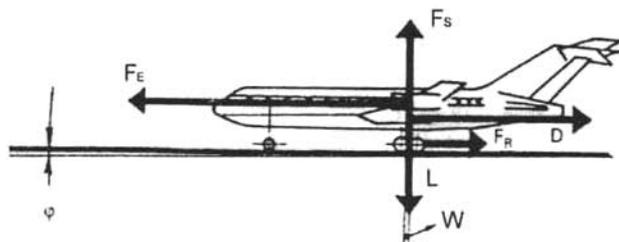


Figura 2. Esquema de las fuerzas que actúan sobre un avión.

¹⁴ Avion Revue, No. 42. Julio del 2003. Págs. 36-42.

2. Un avión comercial Boeing 737, inicialmente en reposo, experimenta una aceleración constante de 2.3 m/s^2 al moverse por la pista durante 32 segundos antes de elevarse.

Contesta las siguientes preguntas.

- a. ¿Qué distancia recorre por la pista antes de despegar?. (Utiliza la fórmula que ya conoces: $d = v_i t + \frac{at^2}{2}$). Anota tu respuesta.
- b. ¿Cuál es la velocidad con la que despega el avión?. Usa la fórmula: $v_f = v_i + at$. Anota tu respuesta.
3. ¿Cuál es la fuerza de empuje de los motores para mantener la aceleración constante?. Recuerda que la fórmula de fuerza es: $F = ma$. Anota el resultado.
4. ¿Cuál es la fuerza de rozamiento (F_r), si el coeficiente de rozamiento de la pista ($\mu=0.02$). Aplica la fórmula: $F_s = \mu N$. Anótalo en tu cuaderno de trabajo.
5. ¿Cuál es la fuerza de sustentación (F_s) del avión¹⁵? Para calcularla utiliza la fórmula:

$$F_s = q C_S S,$$

en donde:

$q = \frac{1}{2} \rho_0 v^2$: presión dinámica, v es la velocidad del avión con respecto al aire y

$\rho_0 = 1.225 \text{ kg/m}^3$ es la densidad de aire a nivel de la pista;

C_S : es el coeficiente de sustentación, $C_S = 1.2145$;

S : superficie de las alas.

6. ¿Cómo ocurre la fuerza de sustentación (F_s) en las alas?. Explica tu respuesta.

De acuerdo con la información proporcionada en el artículo bajo consideración, la regla básica para que un avión pueda despegar sin problemas, se requiere de 1 m^2 de la superficie del ala por cada 550 kg de peso del avión. Determina, usando ésta regla la fuerza de sustentación para un avión B-737, si cuenta con una superficie en las alas de 125 m^2 . Anota tu respuesta y compara este resultado con el obtenido en la pregunta 5.

7. Consulta una revista de aviones, por ejemplo Avion Revue. Utiliza la información de la ficha técnica de un avión, para determinar la fuerza de sustentación (F_s). Escribe tu respuesta.

¹⁵ Carmona A, I. *Aerodinámica y actuaciones del avión*. Paraninfo. España. 1999. Págs. 89-93.

3.4 Secuencias didácticas para los conceptos de trabajo y energía.

3.4.1 Fase de introducción a los conceptos de trabajo y energía.

Los conceptos de trabajo y energía ya han sido introducidos en las secuencias didácticas 5 y 6 del capítulo anterior. Ahora, con las secuencias didácticas que a continuación se exponen, se pretende que el estudiante construya esos conceptos de una manera más precisa dentro del contexto mecánico, dejando para el capítulo siguiente algunas de sus extensiones y aplicaciones dentro de un contexto termodinámico.

Secuencia didáctica 10. *Investigación documental acerca de los conceptos de trabajo, energía (movimiento, posición y mecánica), así como de la cantidad de movimiento.*

En esta secuencia, el estudiante realizará una investigación documental sobre los siguientes conceptos, subrayando las unidades de cada concepto en el sistema internacional de unidades.

- Trabajo.
- Energía mecánica y los siguientes tipos de energía mecánica:
 - energía de movimiento: de traslación y de rotación,
 - energía potencial: en una interacción gravitacional o elástica.
- Cantidad de movimiento.

Posteriormente se hará una discusión en el salón de clase con la finalidad de que el alumno determine las magnitudes físicas que se necesita conocer para calcular lo siguiente:

- a. la energía potencial asociada a una masa que se encuentra en cierta posición respecto a un sistema de referencia;
- b. trabajo realizado por una fuerza al desplazar un objeto;
- c. la energía cinética asociada a una masa que se encuentra moviéndose con una determinada velocidad;
- d. la energía mecánica total asociada a una masa que se encuentra en cierta posición respecto a un sistema de referencia y que se mueve con una determinada velocidad;
- e. la cantidad de movimiento asociada a una masa que se encuentra moviéndose con cierta velocidad.

Finalmente, concluirá con una definición de los conceptos de *trabajo, energía cinética y potencial* así como con el establecimiento de la relación *trabajo-energía cinética*.

3.4.2 Fase de ampliación y aplicación de los conceptos de trabajo y energía.

Secuencia didáctica 11. Aplicación de los conceptos de energía mecánica, y trabajo.

Esta actividad consiste en la resolución, por parte del alumno, de la siguiente hoja de trabajo. Cabe decir que será desarrollada en el aula-laboratorio bajo la asesoría del profesor.

Hoja de trabajo No. 6. Energía, trabajo y dietas.

Tarea para el alumno. Resuelve los siguientes problemas en tu cuaderno de trabajo.

1. ¿Qué trabajo realizamos al llevar una maleta de 15 kg en las siguientes situaciones:
 - a. la sostenemos durante 5 minutos esperando el autobús?
 - b. corremos detrás del autobús una distancia horizontal de 10 m en dos segundos a velocidad constante?
 - c. la elevamos 0.80 m al subir en el autobús?
2. Investiga las marcas olímpicas de las pruebas de atletismo de 100 m, 200 m, 400 m y 800 m planos y contesta las siguientes preguntas.
 - a. ¿Cuál es la energía cinética desarrollada por los atletas poseedores de esas marcas, bajo la hipótesis de que realizan su recorrido a velocidad constante?
 - b. ¿De dónde proviene la energía que les permite alcanzar estas marcas?
 - c. Con la información obtenida en la secuencia didáctica 2, del capítulo 2, elabora una dieta que satisfaga los requerimientos energéticos de estos atletas.
3. Un cable de una grúa aplica una fuerza de 2.2×10^4 N a una bola demoledora a medida que la eleva verticalmente una altura de 7.6 m.
 - a. ¿Cuánto trabajo realiza la grúa sobre la bola?
 - b. Cuando se aplica una fuerza sobre un objeto, desplazándolo, pueden ocurrir dos casos; a saber, que la componente de la fuerza en la dirección del desplazamiento, tenga el mismo sentido que éste realizando, entonces, un *trabajo positivo*; o, en otro caso, que esa componente de la fuerza esté en sentido opuesto al desplazamiento, lo que daría por resultado un *trabajo negativo*.

En este ejemplo, ¿el trabajo que realiza la grúa sobre la bola, es positivo o negativo?

4. Un automóvil de 1000 kg de masa, se mueve a 100 km/hr , como indica su velocímetro.
- ¿Cuál es su energía cinética?
 - ¿Qué trabajo se realizó para proporcionar esta energía cinética? ¿de dónde proviene esta energía?
 - ¿Qué fuerza actuaba sobre el coche? ¿Puedes determinar el recorrido durante el cual actuó la fuerza?. Razona las respuestas.
5. Un objeto de 2 kg se deja caer desde una altura de 20 m . Ignorando la resistencia del aire calcula la energía potencial gravitacional, la energía cinética y la energía mecánica total para cada una de las alturas indicadas en la siguiente tabla.

Ahora calcula el trabajo necesario para elevar el objeto a las alturas dadas en la tabla y compáralo con la energía mecánica total. ¿Qué observas? Explica.

Tabla 5. Energía mecánica total.

Altura $h\text{ (m)}$	Energía potencial $U\text{ (J)}$	Energía cinética $K\text{ (J)}$	Energía mecánica total $E_t\text{ (J)}$	Trabajo $W\text{ (J)}$
20				
15				
10				
5				
0				

Ahora bien, puesto que el trabajo mide la transferencia de energía en cualquier proceso físico, su magnitud deberá ser aproximadamente igual a la energía total. Compara tus cálculos (últimas dos columnas) para verificar esta relación.

Observación. Para calcular la velocidad utiliza la siguiente fórmula:

$$v_f^2 - v_i^2 = 2ad = 2gh.$$

Secuencia didáctica 12. Ampliación de los conceptos de energía, trabajo y potencia mecánica.

Otro tipo de actividades que le permiten al estudiante ir más allá de la resolución de problemas tradicionales, y que hacen más relevantes los conceptos y ecuaciones de la física con el mundo cotidiano, son aquellas relacionadas con el uso de los datos de prueba de vehículos en carretera, cosa común en las revistas populares sobre automóviles. En la siguiente hoja de trabajo, se coloca al estudiante ante una situación de esta naturaleza, en la que tendrá que emplear sus construcciones conceptuales de *trabajo* y *energía* hasta aquí

elaboradas, cuestión que, además, le permitirá hacer una recapitulación de sus construcciones conceptuales físicas.

Hoja de trabajo No. 7. Pruebas mecánicas de un automóvil.

Trabajo para el alumno. Contesta las siguientes preguntas en tu cuaderno de trabajo.

1. La revista Car&Driver proporciona los datos de prueba para diversos vehículos. Por ejemplo, en la primera fila de la siguiente tabla se muestran estos datos para el VW Cayenne. Investiga los datos para otros tres automóviles y completa la tabla 6.

Tabla 6. Datos mecánicos de prueba para diversas marcas de automóviles.

<i>Marca automóvil</i>	<i>Tiempo en pasar de 0-100 km/hr (s)</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>Eficiencia en la ciudad</i>	<i>Potencia (hp)</i>
<i>VW Cayenne</i>	<i>9.6</i>	<i>2 245</i>	<i>10 km/litro</i>	

2. Con los datos recabados en la tabla anterior calcula la siguiente información y completa la siguiente tabla. La manera de realizar los cálculos, por ejemplo para el VW Cayenne, se muestra a continuación, y puedes seguir un camino parecido a éste para realizar los demás cálculos.

Tabla 7. Cálculo de los parámetros mecánicos que caracterizan a diferentes automóviles, al pasar de 0 a 100 km/hr.

<i>Velocidad final v_f (m/s)</i>	<i>Distancia d (m)</i>	<i>Aceleración m/s^2</i>	<i>Fuerza F (N)</i>	<i>E. Cinética K (J)</i>	<i>Trabajo W (J)</i>	<i>Potencia P (hp)</i>
<i>27.7</i>	<i>132.8</i>	<i>2.9</i>	<i>6510.5</i>	<i>864594.4</i>	<i>860957.6</i>	<i>120</i>

3. ¿Cuál es el origen de la energía que el motor transfiere a las llantas y que, finalmente, se traduce en energía de movimiento para alcanzar determinada velocidad?
4. Explica brevemente porqué el trabajo promedio es una medida aproximada de la energía transferida durante cualquier proceso físico.

Cálculos necesarios para completar la tabla 11 en el caso del VW Cayenne.

A. Cálculo de los parámetros cinemáticos: distancia, velocidad y aceleración, cuando el automóvil pasa de 0 a 100 km/hr.

La velocidad al final de la prueba es de 100 km/h, de manera que sólo hay que convertirla en unidades del sistema internacional, o sea, a m/s. Esto se hace de la siguiente manera:

$$100 \frac{\text{km}}{\text{hr}} = \left(100 \frac{\text{km}}{\text{hr}}\right) \times \left(\frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ s}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}}\right) = 27.7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Por lo tanto, de acuerdo con el fabricante, el VW Cayenne tarda 9.6 segundos en alcanzar una velocidad de 27.7 m/s, de manera que la aceleración de este auto durante ese lapso de tiempo es la siguiente:

$$a = \frac{v_f - v_i}{t} = \frac{27.7 \text{ m/s} - 0 \text{ m/s}}{9.6 \text{ s}} = 2.89 \text{ m/s}^2$$

mientras que la distancia recorrida en el mismo tiempo es:

$$d = v_i t + \frac{at^2}{2} = 0 + \frac{(2.89)(9.6)^2}{2} = 132.8 \text{ m}.$$

B. Cálculo de los parámetros energéticos cuando el automóvil pasa de 0 a 100 km/hr.

La energía cinética del vehículo al alcanzar los 27.7 m/s (100 km/h) se calcula de la siguiente manera:

$$K = \frac{mv^2}{2} = \frac{(2245 \text{ kg})(27.7 \text{ m/s})^2}{2} = 861283 \text{ J}$$

Ahora, para calcular el trabajo que desarrolla el motor sobre las llantas durante esta prueba, requerimos conocer la fuerza de empuje del motor hacia ellas, de manera que primero calculamos esta fuerza y después el trabajo buscado.

(a). Empleando la aceleración ya calculada, la fuerza aplicada por el motor a las llantas es la siguiente:

$$F = ma = (2245 \text{ kg})(2.89 \text{ m/s}^2) = 6488.0 \text{ N}.$$

(b). Por lo tanto, el trabajo desarrollado por el motor se calcula por la fórmula ya conocida: $W = F \times d$, lo que proporciona el siguiente resultado:

$$W = F \times d = (6488 \text{ N})(132.8) = 860957.6 \text{ J}$$

De los resultados anteriores podemos concluir que, prácticamente, el trabajo desarrollado por el motor del vehículo es igual a su cambio de energía cinética. En otras palabras, se cumple el teorema del trabajo-energía cinética, o sea,

$$W = \Delta E_k.$$

Finalmente, con estos datos también podemos calcular la *potencia promedio* (\bar{P}) desarrollada por la máquina del vehículo para alcanzar los 27.7 m/s (100 km/h).

$$\bar{P} = F \times \bar{v} = 120 \text{ hp}, \text{ en donde } \bar{v} = \frac{v_i + v_f}{2}.$$

C. Transferencia de energía durante las pruebas mecánicas de los automóviles.

El combustible usual de un automóvil es la gasolina, siendo la energía química de ésta lo que le proporciona, en última instancia, el movimiento a las llantas del auto. *Idealmente*¹⁶ un litro de gasolina proporciona 3.57×10^7 J, de manera que con la eficiencia proporcionada por el fabricante (penúltima columna, tabla 10) podemos hacer una *estimación* o *promedio ideal* de la cantidad de energía química que es convertida en movimiento (trabajo). Por ejemplo, en el caso del VW Cayenne la cantidad de energía química que requiere idealmente para moverse cada metro (en promedio) es la siguiente:

$$E_{\text{gasolina}} \longrightarrow E_{\text{movimiento}} = \frac{3.57 \times 10^7 \text{ J / litro}}{10 \text{ km / litro}} = 3570 \text{ J / m}$$

De esta manera la energía que consume idealmente el VW Cayenne durante esta prueba, en la que recorre 132.8 metros, se calcula como sigue:

$$E_{\text{gasolina}} \longrightarrow E_{\text{movimiento}} = (3570 \text{ J/m}) (132.8 \text{ m}) = 474096 \text{ J}$$

Comparando éste valor *ideal* con la energía de movimiento (cinética) promedio *real*, o sea,

$$\bar{K} = \frac{K}{2} = \frac{861283}{2} \text{ J} = 430642 \text{ J} \text{ observamos una importante diferencia, a saber:}$$

$$E_{\text{gasolina}} - \bar{K} = 474096 \text{ J} - 430642 \text{ J} = 43454 \text{ J}$$

Esta diferencia exhibe uno de los aspectos más relevantes de la energía y sus transformaciones, a saber, su *degradación*, o sea, el hecho de que no toda la energía, proporcionada en este caso por la gasolina, se pueda transformar en *energía útil* (movimiento), sino que siempre una parte de ella se transforma en *energía no útil* (calor), en este caso, como producto de la fricción entre las partes mecánicas del automóvil¹⁷.

¹⁶ Nalence, E. *Using Automobile Road Test Data*. The Physics Teacher. Mayo 1988. Págs. 278-279.

¹⁷ Cf. Capítulo 2. Secuencia didáctica 9.

Ahora bien, puesto que el trabajo promedio realizado durante la prueba es el siguiente:

$$\bar{W} = \frac{W}{2} = \frac{860957.6}{2} J = 430479 J$$

se observa que éste sí es aproximadamente igual a la energía cinética promedio (\bar{K}), o sea:

$$\bar{W} = \Delta\bar{K}$$

relación que los físicos denominan *teorema trabajo-energía cinética*.

3.4.3 Fase de ampliación y aplicación del concepto de energía cinética rotacional y fuerza centrípeta.

Secuencia didáctica 13. Energía cinética rotacional.

Las siguientes actividades darán al estudiante oportunidad de usar los nuevos conceptos de varias formas y adquirir confianza en la aplicación de los mismos. También le permitirán ver la utilidad y la relevancia de lo aprendido.

Hoja de trabajo 12. La energía rotacional de los satélites de comunicaciones.

Lee el artículo *Constelaciones de satélites en órbitas bajas e intermedias para el servicio móvil mundial*, del astronauta mexicano Rodolfo Neri Vela¹⁸, y contesta las siguientes preguntas en tu cuaderno de trabajo.

1. Una de las desventajas de los satélites geoestacionarios al utilizarlos para la comunicación móvil personal (telefonía celular) es que la señal sufre de atenuación y retardo, causando molestias en la fluidez normal de las conversaciones y deficiencia en la transmisión de datos a alta velocidad. Con la información que te proporciona el texto calcula el tiempo que tarda la señal en llegar al satélite y bajar a la tierra.
2. Usa la información que se te proporciona en el texto, sobre las características del sistema Iridio (constelación de órbita baja), para calcular lo siguiente.
 - a. La velocidad orbital (v_b). (Recuerda que la fórmula es: $v = \frac{2\pi r}{t}$, donde $2\pi r$ es la longitud de su órbita circular, y r no es la altitud (h), sino: $r = R_{tierra} + h = 6.4 \times 10^6 m$. Exprésala en m/s , km/s y km/hr .)

¹⁸ Neri, Vela, R., *Constelaciones de Satélites en órbitas bajas e intermedias para el servicio móvil mundial*. Ciencia y Desarrollo, Julio-Agosto 1998. Págs. 13-19.

b. La velocidad angular: $\omega = \frac{v}{r}$.

c. La aceleración centrípeta, recuerda que la fórmula es: $a_c = \frac{v^2}{r}$.

3. También usa los datos del *sistema Odyssey* (constelación de órbita intermedia), para determinar lo siguiente:
 - a. la velocidad orbital (v_i);
 - b. la aceleración centrípeta.
4. Utiliza el valor de la velocidad angular para calcular la energía cinética rotacional, cuya fórmula es: $K_\omega = \frac{mr^2\omega^2}{2}$, para las siguientes situaciones:
 - a. sistema *Iridio* (órbita baja);
 - b. sistema *Odyssey* (órbita intermedia);
 - c. satélite en órbita geoestacionaria.
5. Con base en los cálculos anteriores y la información proporcionada en la lectura, calcula la fuerza centrípeta, cuya fórmula es: $F_c = \frac{mv^2}{2}$, para:
 - a. sistema *Iridio* (órbita baja);
 - b. sistema *Odyssey* (órbita intermedia);
 - c. satélite en órbita geoestacionaria.

3.5 Secuencias didácticas para los principios de conservación de la energía mecánica.

3.5.1 Fase de información al principio de conservación de la energía mecánica.

Secuencia didáctica 14. Investigación documental acerca del principio de conservación de la energía mecánica.

En esta secuencia se le deja al estudiante una investigación documental acerca de la conservación de la energía mecánica en los siguientes sistemas mecánicos.

- Conservación de la energía en un choque elástico.
- Conservación de la energía de un objeto en caída libre.
- Conservación de la energía potencial de un resorte.

3.5.2 Fase de introducción a la conservación de la energía cinética.

Secuencia didáctica 15. Principio de conservación de la energía cinética.

Con esta actividad se pretende hacerle visible al estudiante la conservación de la energía cinética. Para ello, se usará como material de apoyo una fotografía de exposición múltiple entre dos bolas de billar¹⁹ y, con base en esta fotografía, el alumno realizará la siguiente hoja de trabajo. Cabe decir que este es el primer paso para la construcción conceptual del principio de conservación de la energía mecánica²⁰.

<i>Hoja de trabajo No. 9. Principio de conservación de la energía cinética.</i>			
<i>Tarea para el alumno.</i> Realiza las siguientes actividades en tu cuaderno de trabajo con base en la fotografía de exposición múltiple adjunta.			
1. Usando una regla graduada en centímetros, mide la distancia entre las bolas de billar para cada exposición. Con estos datos completa las dos primeras columnas de la siguiente tabla.			
<i>Tabla 8. Datos de la bola incidente.</i>			
ENERGÍA CINÉTICA TOTAL ANTES DEL CHOQUE:			
<i>Datos de la bola incidente:</i>			
<i>Número</i>	<i>ΔX (cm)</i>	<i>Δt (seg.)</i>	<i>V (cm/seg)</i>
1			
2			
3			
4			
5			
6			

¹⁹ PSSC. Figura 24-6. Pág. 415.

²⁰ Nota. El estudiante comenzará haciendo los cálculos en centímetros, para después convertirlos a metros.

2. Con las mediciones realizadas, calcula la velocidad para cada exposición y anótala en la columna correspondiente. El promedio de estas velocidades nos proporciona la velocidad inicial de la bola incidente. Cálculala:

$$v_{1i} = \underline{\hspace{5cm}}$$

3. Calcula lo siguiente:

a. Energía cinética inicial de la bola incidente: $K_{1i} = \underline{\hspace{5cm}}$.

b. Energía cinética inicial de la bola en reposo: $K_{2i} = \underline{\hspace{5cm}}$.

c. Energía cinética total antes del choque: $K_{ti} = K_{1i} + K_{2i} \underline{\hspace{5cm}}$.

4. Ahora mide las distancias indicadas para cada bola después de haber chocado y completa la siguiente tabla.

Tabla 9. Datos de las bolas después del choque.

ENERGÍA CINÉTICA TOTAL DESPUÉS DEL CHOQUE						
Bola uno incidente				Bola dos dispersa		
	$\Delta X(\text{cm})$	$\Delta t(\text{seg.})$	$\Delta V(\text{cm/s})$	$\Delta X(\text{cm})$	$\Delta t(\text{s})$	$\Delta V(\text{cm/s})$
1						
2						
3						
4						
5						
6						

5. Con las mediciones realizadas, calcula la velocidad final promedio de la bola incidente.

$$v_{1f} = \underline{\hspace{5cm}}$$

6. Con las mediciones realizadas, calcula la velocidad final promedio de la bola dispersada.

$$v_{2f} = \underline{\hspace{5cm}}$$

7. Con las velocidades calculadas en las dos preguntas anteriores, calcula lo siguiente:

a. Energía cinética final de la bola incidente: $K_{1f} = \underline{\hspace{5cm}}$.

b. Energía cinética final de la bola dispersada: $K_{2f} = \underline{\hspace{5cm}}$.

c. Energía cinética final total (después del choque):

$$K_{1f} = K_{1f} + K_{2f} = \underline{\hspace{2cm}}$$

- ¿Qué fracción de la energía inicial de la bola incidente fue transmitida a la bola dispersada?
- ¿Qué relación existe entre la energía cinética total antes de la colisión y la energía cinética total después de ella?

3.5.3 Fase de introducción al principio de la conservación de la energía mecánica.

Secuencia didáctica 16. Principio de la conservación de la energía mecánica total.

Para esta actividad se proponen los dos experimentos que a continuación se describen.

EXPERIMENTO 1.

Este experimento²¹ consiste en medir la energía potencial, cinética de traslación y rotacional de un balón que se deja caer desde cierta altura a través de una rampa. Con ello los alumnos, en equipos, verificarán el *principio de conservación de la energía mecánica*. Además, esta experiencia da pie a que el profesor introduzca el concepto de *energía cinética de rotación* y que establezca la *relación trabajo-energía cinética*.

EXPERIMENTO 2.

En este experimento se utilizarán las medidas que se obtienen directamente de la fotografía 21-3 (página 315, PSSC), con las que se hará visible la conservación de la *energía mecánica (total) de una bola de billar en caída libre*. Al principio, la bola se encuentra en reposo y a una altura de 143.86cm; siendo su energía: $E_T \approx 2.5 J$. El alumno completará la siguiente tabla.

Tabla 10. Principio de la conservación de la energía mecánica.

No. intervalo	Longitud del intervalo $\Delta X(\text{cm})$	Velocidad media $\Delta X/\Delta t = V(\text{cm/s})$	Energía cinética (J)	Energía potencial (J)	Energía mecánica total (J)
1	7.70	231	0.4	2.3	2.7
2	8.75	263	0.59	2.21	2.8
3	9.80				

²¹ Cf. Experimento 4, *Antología de Materiales y experimentos*.

4	10.85				
5	11.99				
6	13.09				
7	14.18				
8	15.22				
9	16.31				
10	17.45				
11	18.52				

3.5.4 Fase de ampliación y aplicación de la conservación de la energía mecánica total.

Secuencia didáctica 17. Energía mecánica total.

Esta secuencia es una recapitulación de la construcción conceptual que el alumno ha llevado a cabo con relación a los conceptos de energía cinética, potencial (gravitacional y elástica) y de la cantidad de movimiento. Más aún, estos conceptos serán ampliados al ser aplicados a diversas situaciones cotidianas en donde tengan relevancia. Para ello realizarán la siguiente hoja de trabajo.

<i>Hoja de trabajo 11. Energía mecánica total.</i>							
Tarea para el alumno. Realiza las siguientes actividades en tu cuaderno de trabajo.							
1. Completa la tabla 11 calculando las cantidades físicas restantes a partir de los datos ahí establecidos.							
<i>Tabla 11. Propiedades mecánicas de algunos cuerpos.</i>							
<i>Objeto</i>	<i>masa (m)</i>	<i>Velocidad (v)</i>	<i>Posición (Δx)</i>	<i>Cantidad de movimiento</i>	<i>Energía cinética</i>	<i>Energía potencial</i>	<i>Energía mecánica total</i>
<i>bola de billar</i>	85 g	4 m/s	0.1 m				
<i>bala</i>	0.11 g	323 m/s	1.2 m				
<i>auto de carreras</i>	845 kg	150 km/hr	10 m				

corredor	76 kg	9.4 m/s	0 m				
pelota de golf	0.046 kg	32 m/s	4 m				
Tierra en órbita	6.0×10^{24} kg	2.98×10^4 m/s	0 m				
Molécula de oxígeno	5.3×10^{-26} kg	500 m/s	8 m				

2. Resuelve el siguiente problema.

Un objeto de 2.0 kg está suspendido del extremo de un resorte vertical como se muestra en la figura 4a. La constante de restitución del resorte es de 50.0 N/m. El objeto se jala 0.2 m y se suelta a partir del reposo.

Haz los cálculos pertinentes para cada una de las posiciones indicadas en la tabla 12 y complétala. (La fórmula para la energía potencial elástica es: $U_{\text{ela}} = 1/2 kx^2$).

Las posiciones verticales h indican distancias por encima del punto de donde se suelta al objeto (vea la figura 4b) en donde $h = 0$.

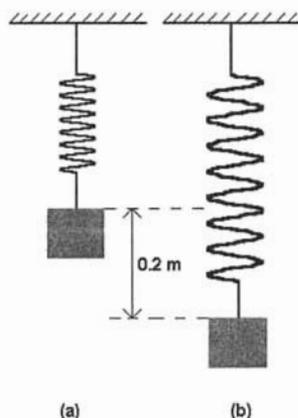


Figura 4. Energía mecánica total de un resorte.

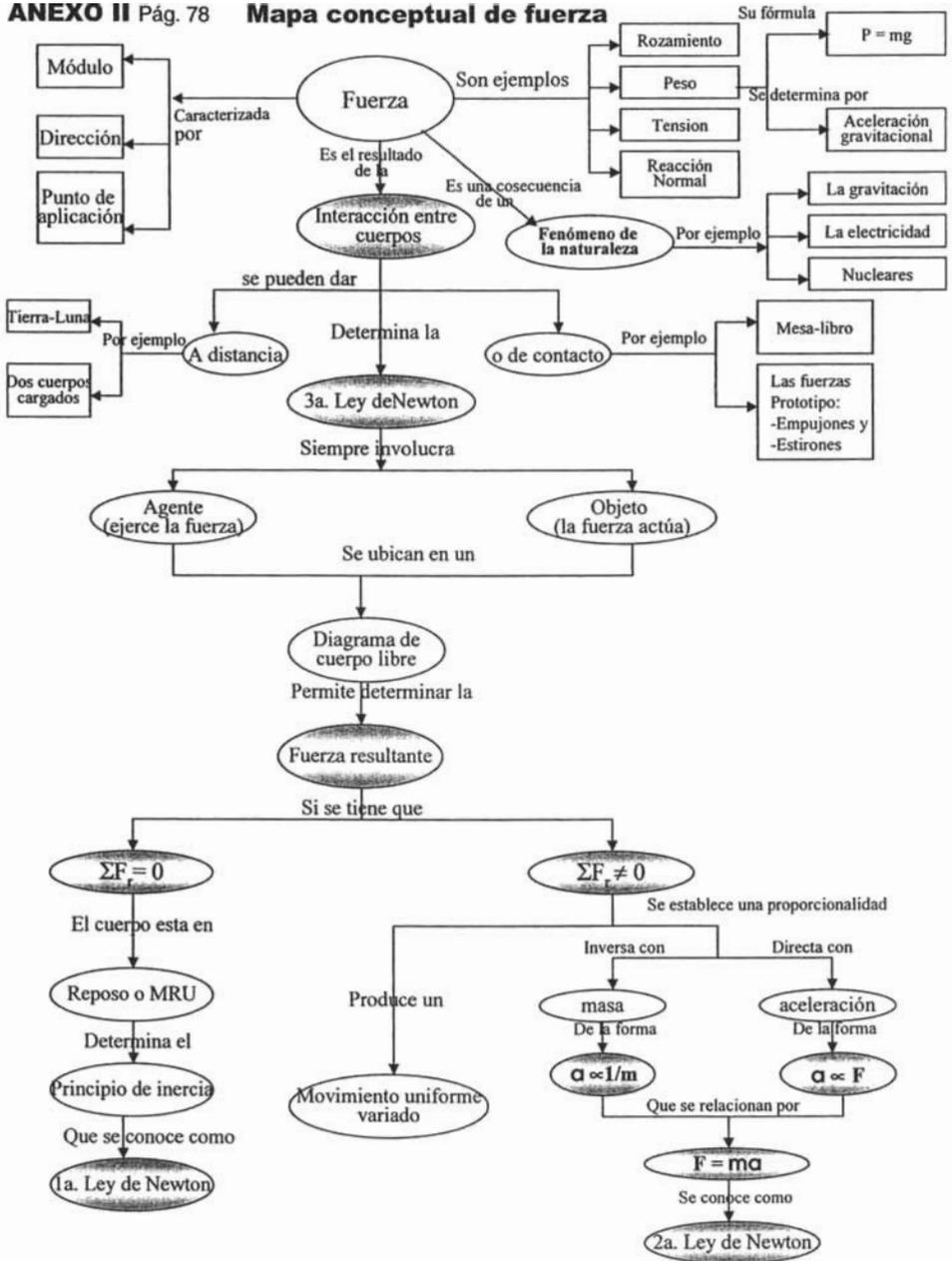
Tabla 12. Energía potencial elástica.

Altura h (m)	E. Cinética K (J)	E. Potencial gravitacional U_g (J)	E. Potencial elástica U_{ela} (J)	E. Mecánica total $E = K + U_g + U_{\text{ela}}$
0				
0.1	2.75	-2	0.25	1
0.2				
0.3				
0.4				

ANEXO I: Programa operativo de fenómenos mecánicos (dinámica).

Conceptos	Preguntas-claves	Contenidos procedimentales
<ul style="list-style-type: none"> • Concepto de interacción. • Clasificación de interacciones. • Concepto de fuerza. • 3ª. Ley de Newton. • Diagrama de cuerpo libre. • Fuerza resultante: <ul style="list-style-type: none"> o si $F_r = 0$, se tiene el principio de inercia (reposo o MRU); o si $F_r \neq 0$, se tiene la 2ª Ley de Newton. • Fuerza centrípeta. • Trabajo. • Potencia mecánica. • Energía de movimiento:: <ul style="list-style-type: none"> o traslación; o rotación. • Teorema trabajo-energía cinética. • Energía de posición. • Energía mecánica total. • Colisiones entre partículas en una dimensión. • Conservación de la energía cinética. • Conservación de la energía mecánica. 	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son las causas que originan cambios en un sistema físico? • ¿Las interacciones solo se producen cuando dos sistemas están en contacto? • ¿Para mantener un cuerpo con velocidad constante se necesita una fuerza? • ¿En una interacción entre dos cuerpos se produce un cambio de energía? • ¿Qué entiendes por trabajo? • ¿Realizas trabajo al sostener por 10 minutos una masa de 15 kg? • ¿Podrías cuantificar el trabajo que realizas al trasladarte de la escuela a tu casa? • ¿Cuánta energía necesitas para realizar la actividad anterior? • ¿A que se le llama energía mecánica? • ¿Cuáles son los diferentes tipos de energía mecánica? • ¿Es posible estudiar el movimiento de un objeto desde un punto de vista energético? • ¿Cómo se puede determinar la energía cinética y potencial de una partícula? • ¿Qué magnitudes físicas nos permiten calcular la cantidad de movimiento de una partícula? • ¿Bajo que condiciones la cantidad de movimiento de una partícula se conserva? • ¿En que condiciones la energía mecánica de un objeto se conserva? • ¿Como podrías calcular el gasto energético de un atleta, al recorrer los 400 m planos? • ¿Cómo podrías calcular el trabajo realizado por una bomba de agua para llenar una cisterna que se encuentra a 10 m del piso? 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación interrogantes vida cotidiana. • Intercambio y defensa de ideas • Emisión de predicciones e hipótesis sobre los factores que producen cambios. • Utilización de aparatos de medida. • Montaje del diseño experimental • Recolección de datos. • Representación e interpretación de gráficas y • Establecimiento de relaciones cuantitativas y cualitativas. • Comunicación e interpretación de resultados. • Expresión de ideas utilizando el lenguaje científico. • Intercambio y defensa de ideas. • Utilización de ecuaciones matemáticas en la resolución de problemas. • Familiarización con el cambio de unidades. • Diseño y realización de experiencias para contrastar hipótesis. • Elaboración de informes coherentes con el proceso seguido • Utilización de modelos científicos en la vida cotidiana. • Interpretación de datos a partir de un modelo. • Resolución de problemas.

ANEXO II Pág. 78 **Mapa conceptual de fuerza**

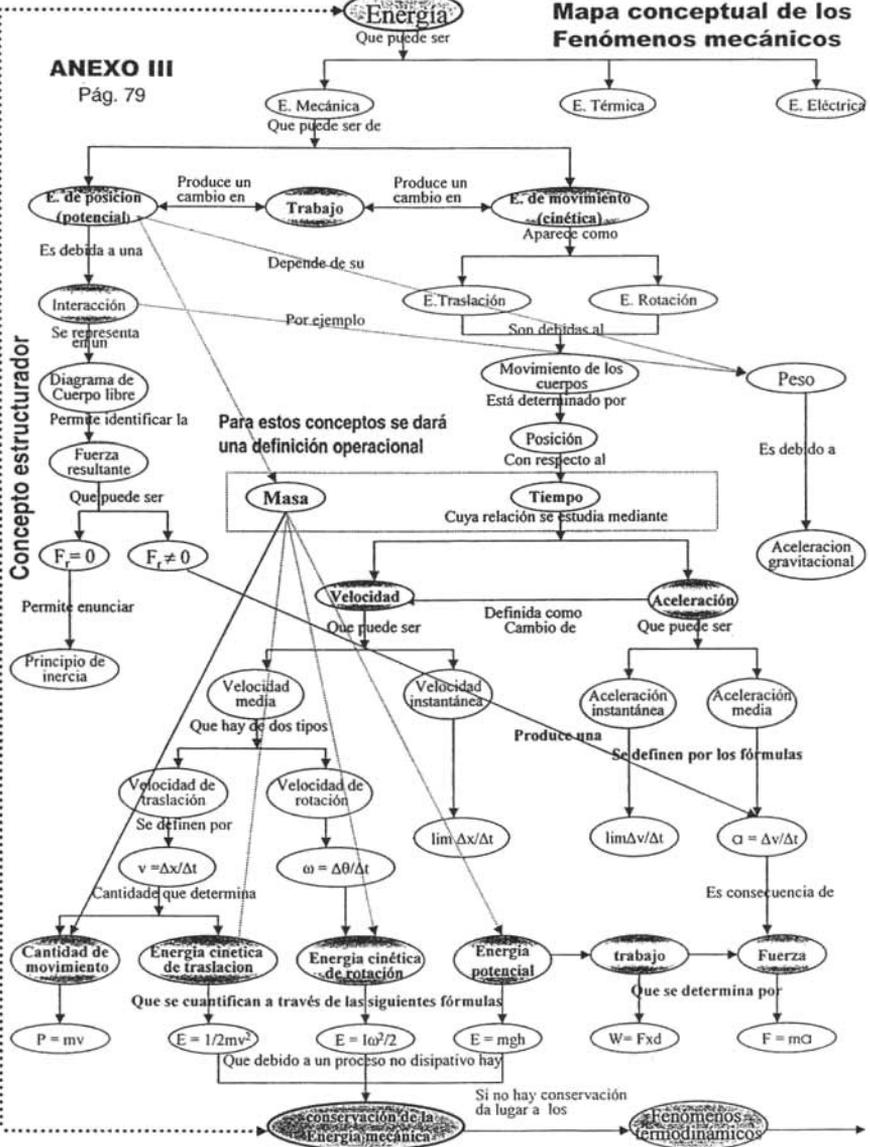


ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA



ANEXO III
Pág. 79

Mapa conceptual de los Fenómenos mecánicos

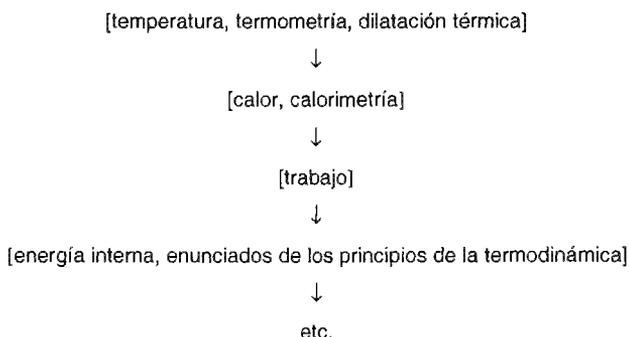


Concepto estructurador

4 FENÓMENOS TERMODINÁMICOS

4.1 Introducción.

La enseñanza-aprendizaje de la *termodinámica* tiene serias dificultades de las que cabe destacar las dos que a continuación expongo y que, en las investigaciones¹ que hay sobre la enseñanza de este tema, están situadas entre sus problemas fundamentales. Por una parte, es un hecho que el estudiante al llegar al aula posee concepciones que por lo general no coinciden con las científicamente aceptadas mostrando, además, una fuerte resistencia a cambiarlas y modificarlas en el sentido que la física les otorga. Y, por otra, encontramos que la secuenciación de enseñanza tradicional, y normalmente utilizada por los profesores, sigue *verbatim* los libros de texto, abordando esta temática de la siguiente manera:



Estas dos cuestiones se complican más todavía al hacer una revisión del concepto de *calor* que vienen en los diferentes libros de texto, pues el análisis que he realizado revela la utilización de expresiones como "energía calórica", "energía calorífica" y "energía térmica", "energía en tránsito", entre otras, como sinónimos de los términos de *calor* y *energía interna*, causando grandes confusiones terminológicas y, sobre todo, conceptuales, tanto en el profesor como en el estudiante. En este sentido, un buen ejemplo lo proporciona Wilson², pues para este autor "calor es energía interna que se agrega a un cuerpo o que se extrae de él", no sólo confundiendo los términos físicos de *calor* y *energía interna*, sino concibiendo *calor* como una substancia.

Ahora bien, esta secuenciación textual coincide con el desarrollo histórico de los conceptos, lo que en principio es valioso. Sin embargo, no es el enfoque adecuado para que el estudiante *construya contextualmente, a partir de él mismo*, los conceptos referidos, como se plantea en este trabajo. En efecto, la propuesta didáctica aquí presentada no sólo toma en cuenta tanto las pre-concepciones de los estudiantes, que forman parte del marco

¹ Vázquez, D. 1987, Martínez, J. 1997 y Cárdenas, M. 1996.

² Wilson, J. Física con aplicaciones. Mc-Graw Hill. México. 1993. Pág. 346.

referencial con la que ellos interpretan los conceptos y las actividades que se les proponen (Novack, J. 1992, Moreira, M.1994), sino también la manera de secuenciar las actividades, tratando que ésta secuenciación *conduzca y facilite* al estudiante la construcción pertinente de los conceptos físicos de la termodinámica. Así, se ha llegado a "invertir", por llamarlo de alguna manera, la secuenciación de enseñanza tradicional de estos conceptos, presentándole al alumno los conceptos de *energía interna* y *temperatura* desde el inicio e insistiendo y empleando el *modelo molecular de la materia* (vea figura 1), lo que da lugar al concepto de *equilibrio termodinámico* y a la introducción y manejo de las *variables de estado* a lo largo de este desarrollo didáctico, dándole prioridad al sentido físico de estos conceptos en conformidad con diversos autores, y proporcionándole al estudiante una manera "práctica" de cuantificar la transferencia de energía. al observar y medir los cambios de las variables físicas de estado.

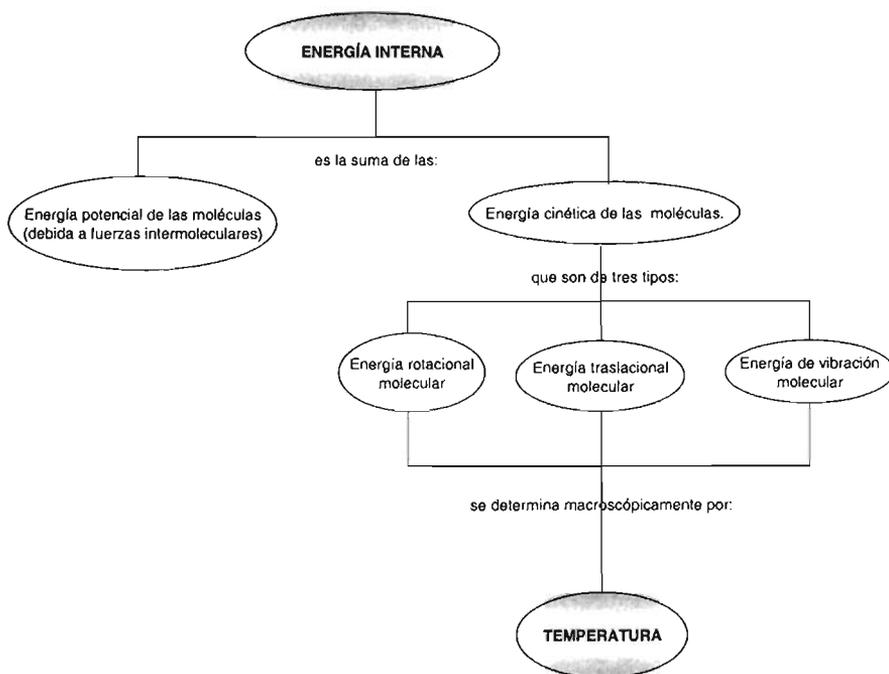


Figura 1. Energía interna.

Al respecto, cabe destacar lo que señala Vázquez³:

La transferencia de energía entre sistemas por interacción térmica implica el concepto de energía interna, el cual implica a su vez el conocimiento de la constitución molecular de la materia, el concepto microscópico (estadístico) de temperatura y el conocimiento de varias formas de energía asociadas a las moléculas y a los átomos o iones que las componen. Estas formas de energía asociadas a las partículas atómicas son además necesarias para justificar los modelos elementales de transferencia de energía en las interacciones térmicas, es decir, la transferencia por interacción mecánica microscópica y la transferencia por interacción electromagnética.

Mientras que Cárdenas y Ragout insisten en el uso de modelos físicos para que los estudiantes logren una construcción conceptual más cercana a la interpretación física actual. En las palabras de estos autores⁴:

... un valioso recurso didáctico, para mejorar la comprensión y facilitar el aprendizaje, que el docente proporcionará a los alumnos, [son] explicaciones fundamentadas en la teoría cinético molecular de la materia, durante el estudio de la termodinámica. De esta manera se favorecería la construcción, por parte de los estudiantes, *de modelos físicos*, en lugar de centrar el aprendizaje en manejo de relaciones funcionales entre variables, que, si no se presentan cuidadosamente, pueden fomentar el manejo puramente matemático de las mismas, perdiéndose así el significado físico de las variables de estado y de interacción que describen los procesos en estudio.

Todo esto permite construir, organizar y diferenciar otros conceptos de manera constructiva; a saber, *calor-temperatura* y *calor-trabajo-energía* y, con estos, que el alumno elabore adecuadamente la primera y segunda ley de la termodinámica. Cabe decir que el mapa de la figura 1, es un complemento del mapa conceptual *Fenómenos termodinámicos*⁵ y ambos constituyen la base conceptual de las secuencias didácticas correspondientes a ésta temática y que los he organizado de la siguiente manera.

A. Secuencias didácticas para temperatura, calor, trabajo, energía interna y primera ley de la termodinámica.

B. Secuencias didácticas para entropía, eficiencia de una máquina térmica y segunda ley de la termodinámica.

³ Vázquez, D. *Algunos aspectos a considerar en la didáctica del calor*. Enseñanza de las ciencias. 1987. 5 (3). Pág. 236.

⁴ Cárdenas, M. y Ragout, S. Explicaciones de procesos termodinámicos a partir del modelo corpuscular. Enseñanza de las ciencias. 1996. 14 (3). Pág. 346.

⁵ Cf. Anexo II. Pag. 159.

4.2 Secuencias didácticas para los conceptos de la ley cero, temperatura, calor, trabajo y energía: *primera ley de la termodinámica*.

Las secuencias que se exponen a continuación tienen por finalidad que el alumno logre un aprendizaje significativo de los contenidos señalados en la primera columna del *Programa operativo: fenómenos termodinámicos*⁶ y, con base en el mapa conceptual *Fenómenos termodinámicos*⁵, han dado lugar a la siguiente unidad didáctica.

A. Fase de iniciación a los conceptos de temperatura, calor, trabajo y energía.

Para precisar las ideas previas con las que llegan los alumnos con relación a los conceptos básicos de la termodinámica, y que han expuesto sucintamente con las actividades desarrolladas en el capítulo 2⁷, ahora se llevan a cabo las preguntas generadoras correspondientes a la segunda columna del *Programa operativo: fenómenos termodinámicos*⁸, a través del *Test de termodinámica*⁹. Cabe señalar que las respuestas que comúnmente he obtenido con este test no distan mucho de los obstáculos epistemológicos inherentes a la enseñanza-aprendizaje tradicional de la termodinámica, comprobados y señalados en diferentes publicaciones dedicadas a la investigación educativa de la física. Dentro de esta problemática, que atañe tanto a profesores como a estudiantes, se pueden señalar las siguientes cuestiones.

Obstáculos epistemológicos más frecuentes de los estudiantes con relación a los conceptos de temperatura, calor, trabajo y energía.

- Al preguntar por las nociones de "temperatura" y "calor" he observado que en la gran mayoría de los estudiantes prevalece la errónea idea de que "son lo mismo". Por ejemplo, al medir la temperatura de dos cuerpos diferentes (el cuerpo humano y cualquier cosa a temperatura ambiente), dicen que "el de mayor temperatura está más caliente, tiene más calor, que el que tiene menor temperatura", no distinguiendo el concepto de *temperatura* al de *calor*, siendo el primero una *propiedad intensiva* del objeto y el segundo un *proceso de transferencia*.
- "Calor", para los estudiantes, es "energía que está en los cuerpos" y se mide con la "temperatura" (idea compartida por los estudiantes del mundo entero).
- (Macedo y Soussan, 1986) en sus investigaciones han evidenciado que "calor" es generalmente asociado a "una fuente o a un estado", se utilizan tanto "el calor" como "la temperatura" para designar un "estado caliente". "La temperatura" representa la "cantidad de frío" o "de calor" que poseen los cuerpos.

⁶ Cf. Anexo I. Pág. 160

⁷ Cf. Capítulo 2, secuencias didácticas 2 y 6.

⁸ Anexo II, de este capítulo. Pág. 130.

⁹ Anexo III, de este capítulo. Pág. 131.

- (Brook et al, 1984) observa que la mayoría de los alumnos no explican las *transferencias de calor* ni los *cambios de estado* en términos del *comportamiento molecular de la materia*.
- (Brook et al, 1984) han encontrado que algunos estudiantes asocian tanto al "calor" como al "frío" características de un *fluido*, entendiéndose mejor cuando éstos conllevan un cambio de temperatura que cuando no es así.
- (G. Erickson, 1979) en sus investigaciones muestra que los alumnos ven "la temperatura de un cuerpo" como "función del volumen de éste": "un cubo de hielo grande tarda más en fundirse que otro más pequeño, porque el grande tiene una temperatura más fría que el pequeño", pudiéndose interpretar este criterio relativo a la cantidad como el origen de la confusión entre *calor* y *temperatura* por parte de muchos estudiantes. Se interpreta también "la temperatura" como "la medida de la mezcla de calor y de frío dentro de un objeto".
- Resultados análogos a los de Erickson, fueron obtenidos por Stavy y Berkovitz cuando los alumnos establecían que la mezcla final de iguales cantidades de agua a 20 °C y a 40 °C sería de 50 °C (consideración de la *temperatura* como una *propiedad extensiva*).
- (J.L. García Hourcarde y C. Rodríguez, 1985) detectaron en los alumnos que el calor es "algo": tiene categoría de substancia que se contiene y se transmite. Para los estudiantes, en su gran mayoría, el calor es una "substancia": "cierra la ventana porque se va salir el calor".
- Esta substancia es "propia" de cada cosa, en el sentido de que "hay cuerpos calientes " y "cuerpos fríos" per se. Ejemplos, "la madera es caliente", "el ladrillo es frío".
- (R. Driver y T. Russell, 1982) Las conclusiones que alcanzan en sus investigaciones referidas al calor se destaca que muy pocos alumnos son capaces de predecir que la temperatura del agua durante el cambio de estado de fusión permanece constante, aún cuando se calienta la mezcla de hielo y agua.
- (Brook y otros, 1984) La mayoría de los alumnos no explican las transferencias de calor y los cambios de estado en términos del comportamiento molecular de la materia.
- Para ellos "calor" y "trabajo" es "energía".

Problemas de conceptualización de los profesores en torno a los conceptos termodinámicos básicos.

- En general, los profesores de bachillerato hacen una interpretación incorrecta de la primera ley de la termodinámica: $\Delta U = W + Q$. Dicha interpretación considera al trabajo W y el calor Q como "formas de energía" y no como procesos para que se produzca la variación de la energía ΔU .
- Los profesores insisten y refuerzan la identificación *calor-energía interna-temperatura*, sugerida por los cursos y textos tradicionales (Martínez y Pérez, 1992).
- (Warren, 1982) apunta que es incorrecto referir que la *energía* se transforma en *trabajo*, confusión que aparece escrita en la mayoría de los libros de texto y que persiste en los profesores de bachillerato, siendo que *la energía puede ser transformada o transmitida*

(o ambas cosas a la vez) por medio del trabajo, pero no transformarse en trabajo. En otras palabras, una parte de la energía se utiliza para realizar un trabajo, pero ella misma no se transforma en trabajo, sino, de nuevo, en energía.

Ahora, al considerar las respuestas dadas por los estudiantes a las preguntas generadoras, y considerando la problemática general a que ha lugar, he tenido cuidado de que en esta fase de iniciación queden establecidas las ideas, nociones y prejuicios con las que cada estudiante concibe a los términos básicos de la termodinámica para que, en las fases subsiguientes, los vayan reconstruyendo y diferenciando a la luz del paradigma físico actual.

B. Fase de información e introducción a los conceptos de temperatura, calor, trabajo y energía.

En esta fase a los estudiantes se les confronta con los conceptos físicos de *temperatura, calor, trabajo, energía*, así como conceptos correlacionados con ellos, a través de investigaciones documentales (bibliográficas e Internet) y experimentales (reales y virtuales), conduciendo al estudiante a una primera diferenciación de sus saberes con el conocimiento científico. En este sentido, los estudiantes deberán hacer lo siguiente.

- i. Explicar las propiedades que distinguen a los gases, líquidos y sólidos, a través del modelo molecular de la materia.
- ii. Explicar las variables de estado P , V , T y U , a través de la teoría cinético molecular.
- iii. Determinar experimentalmente las relaciones entre las variables de estado que caracterizan un sistema termodinámico.
- iv. Establecer la diferencia que hay entre *temperatura* y *calor*, así como la que existe entre *calor, trabajo* y *energía*.
- v. Informarse acerca de las definiciones de los conceptos físicos de *temperatura, calor, trabajo* y *energía*.
- vi. Conocer el enunciado de la *primera ley de la termodinámica* y aplicarlo en algunas situaciones sencillas.
- vii. Identificar los distintos procesos que se dan en un *gas ideal* al interactuar con su medio.
- viii. Utilizar el *modelo molecular de la materia* para dar una explicación de los procesos termodinámicos que se describen con las *variables de estado* (compresión y dilatación de un gas).

C. Fase de ampliación y aplicación de los conceptos de temperatura, calor, trabajo y energía.

Con las secuencias didácticas de esta fase, se busca que el alumno *extienda* los conceptos termodinámicos que se han venido elaborando, a través del establecimiento y aplicación de diversos registros de representación matemática: *tablas, gráficas* y *modelos algebraicos*

(fórmulas), de tal manera que tenga la capacidad de pasar de unos a otros, enriqueciendo así sus significados. El diseño de estas actividades tiene presente, en todo momento, el contexto que el estudiante ha venido manifestando a lo largo de esta experiencia docente, buscando, además, que los temas de estas actividades sean de su interés, lo que redundará en una construcción conceptual pertinente al estudiante, brindándole mejores posibilidades de uso para sus propios fines.

D. Primera ley de la termodinámica.

Con estas secuencias didácticas, el alumno identificará y diferenciará la interacción térmica (Q) de la interacción mecánica (W) en situaciones prácticas, que son las formas y mecanismos de transferencia de la energía en un sistema termodinámico. Además, conocerá los distintos procesos que se llevan a cabo en un sistema termodinámico al interactuar con su medio, enunciará la *primera ley de la termodinámica* y aplicará ésta ley para calcular: Q , W y ΔU en un sistema termodinámico.

4.2.1 Fase de iniciación a los conceptos de temperatura, calor, trabajo y energía.

Secuencia didáctica 1. Investigación de los preconceptos acerca de los términos de temperatura, calor, trabajo y energía.

El alumno contestará el *Test de termodinámica*¹⁰, sea como cuestionario o a manera de entrevista con el profesor.

4.2.2 Fase de información e introducción a los conceptos de la ley cero, temperatura, calor, trabajo y energía.

Secuencia didáctica 2. Investigación documental acerca del concepto de sistema termodinámico y nociones correlativas.

En esta secuencia el alumno se informará acerca de los conceptos más importantes relacionados con un *sistema termodinámico*. Para ello se le dejará una investigación documental sobre los conceptos siguientes: *sistema termodinámico*, *frontera* y *medio ambiente*. Además, se le pedirá que indague acerca de los tipos que hay de *paredes* (*aislantes*, *adiabáticas*, *diatérmicas*), de los tipos que hay de *sistemas termodinámicos* (*adiabático*, *aislado*, *cerrado*, *abierto*).

¹⁰ Cf. Anexo III. Págs. 131.

Una vez hecha la investigación documental, se lleva a cabo una discusión grupal en la que se subrayan, entre otras cosas, que la descripción de un *sistema* se puede hacer de dos maneras: *microscópicamente* o *macroscópicamente*, a través de las *variables de estado*, y que ambas son diferentes formas de describir la misma situación. Más aún, se complementará su documentación con explicaciones basadas en ejemplos específicos, como el de una *pelota en las inmediaciones de la tierra*, un bloque interactuando con un resorte, o un *gas encerrado en un recipiente interactuando con un pistón*.

4.2.3 Fase de información e introducción a la ley cero y al concepto de temperatura.

Secuencia didáctica 3. Ley cero y temperatura.

En esta secuencia didáctica nuestro objetivo es que el estudiante logre una primera comprensión sencilla de las nociones de equilibrio térmico y de temperatura. Para ello se le pedirá que realice las tres actividades siguientes.

(a). Los alumnos realizarán la lectura "*La temperatura y su medición*"¹¹, elaborando una reseña de las contribuciones que hicieron científicos como el Gran Duque de Foscona, Fahrenheit, Romer, Celsius y Kelvin, para la medición de la temperatura, además de que tengan noticia del significado de los conceptos de *equilibrio térmico* y de la *ley cero de la termodinámica*.

(b). Los alumnos, organizados en equipos, realizarán el experimento "Equilibrio térmico"¹² con el que quedará asentada la primera ley de la termodinámica en los siguientes términos:

dos sistemas en equilibrio térmico con un tercero, están en equilibrio térmico entre sí,

que, de acuerdo con R. H. Fowler¹³, será llamado el principio cero de la termodinámica.

(c). En esta actividad el alumno construirá y calibrará un termómetro, con la finalidad de poner en práctica la ley cero de la termodinámica. Esta actividad se sugiere realizarla como proyecto de investigación.

4.2.4 Fase de información e introducción a los conceptos de variables de estado y de energía interna, bajo una interpretación microscópica.

¹¹ Cf. Antología de materiales y experimentos: Temperatura.

¹² *Ibid.* Experimento: Equilibrio térmico.

¹³ Zemansky, M. *Calor y termodinámica*. Aguilar. España. 1973. Pág. 8.

Secuencia didáctica 4. Interpretación de las variables de estado (P , V , T) y de la energía interna (U) a través de la teoría cinético-molecular.

Esta secuencia consiste de las cuatro actividades siguientes.

(a). El alumno en forma individual o en equipo efectuará una investigación documental sobre la *teoría cinético-molecular* (para un *gas ideal*). Su uso le permitirá favorecer la construcción de *modelos físicos*, cuestión que da lugar a una interpretación física de las variables de estado y contribuye a organizar y diferenciar otros conceptos termodinámicos como calor, trabajo y entropía, vinculados a los procesos de interacción térmica, para no seguir fomentando el manejo puramente algebraico de las variables de estado y sus relaciones.

(b). Los alumnos describirán cualitativamente el comportamiento de los gases realizando varios *experimentos virtuales* con la applet *Teoría cinética de los gases*¹⁴, con la que completarán la siguiente hoja de trabajo. Cabe aclarar que en una secuencia didáctica posterior, estos experimentos virtuales cobrarán cuerpo en experiencias concretas en el aula-laboratorio.

Hoja de trabajo 1. Teoría cinética de los gases.

En la presente hoja de trabajo harás un análisis cualitativo de las *variables de estado* de un *gas ideal*, así como de sus relaciones básicas. Para ello abre la página web *Teoría cinética de los gases* y haz lo siguiente para que veas cómo funciona ésta applet.

- Introduce el valor de la temperatura del gas ideal, en el control de edición titulado Temperatura.
- Introduce el volumen del recipiente, en el control de edición titulado Posición del émbolo.
- Introduce el número de partículas en el control del mismo título.

Observa de tres a cinco minutos el valor de la presión y anota en la columna correspondiente su valor promedio.

Ahora realiza lo siguiente en tu cuaderno de trabajo.

I. Relación cualitativa entre la *presión* y la *temperatura*, manteniendo constante el *volumen* y el *número de moléculas*, con los datos proporcionados en la tabla 1.

1. Completa la tabla 1.
2. ¿Describe la relación entre la *presión* y la *temperatura*?
3. ¿Aumenta linealmente la *presión* con la *temperatura*?

¹⁴ Este subprograma Java, se encuentra dentro de la web "Teoría cinética de los gases" y es parte del *Curso de Física con ordenador* de Ángel Franco García, Universidad del País Vasco. Este curso se puede bajar de la red libremente en la siguiente dirección: www.sc.ehu.es. De hecho se cuenta con este software.

Tabla 1. Relación cualitativa entre presión y temperatura de un gas ideal.

Temperatura	Volumen	Número de partículas	Presión promedio
0	40	20	
50	40	20	
100	40	20	
200	40	20	
300	40	20	

II. Ahora analiza la relación entre la presión y el volumen del gas ideal. (Recuerda que el volumen se obtiene a partir es la posición del émbolo).

4. Elabora una tabla similar a la tabla 1, en donde ahora mantendrás un valor fijo para la *temperatura* y para el *número de moléculas*, variando el *volumen* (posición del émbolo) y anota el valor resultante de la *presión promedio*.
5. Describe la relación entre la *presión* y el *volumen*.
6. ¿Se mantiene constante el producto P por V ?
7. Puedes concluir que la *presión* y el *volumen* varían de manera inversa.

III. Ahora tendrás una idea de la manera en que una partícula *debe* moverse dentro de un *gas ideal* (confinado en un recipiente) de acuerdo con las leyes de la mecánica clásica.

8. Para observar el movimiento (*vector velocidad*) asociado a cada partícula, pon 20 partículas en la casilla *Número de partículas*, y pulsa muchas veces seguidas el botón *Paso*.
 9. Describe como cambia el *vector velocidad* (flecha azul) de las partículas bajo las siguientes condiciones:
 - a. Cuando la partícula no choca con otra partícula ni con ninguna pared del recipiente.
 - b. Cuando la partícula choca con otra partícula.
 - c. Cuando la partícula choca con alguna de las paredes del recipiente.
 10. ¿Cómo se observa a nivel macroscópico el *choque de las partículas* contra las paredes del recipiente?
 11. ¿Qué observas en la velocidad de las partículas cuando aumentas la temperatura (manteniendo fijos las otras variables de estado)? ¿Crees que hay una relación entre la temperatura del gas y la velocidad de sus partículas?
- IV. Ahora describirás las principales características de los estados de la materia de acuerdo con el *modelo molecular*.
12. Completa la siguiente tabla, que representa las *propiedades de gases, líquidos y sólidos*.

Tabla 2. Diferentes estados de la materia.

PROPIEDAD	GASES	LÍQUIDOS	SÓLIDOS
Volumen			
Forma			
Compresibilidad			

13. Aplica el modelo molecular de la materia para describir el comportamiento de los líquidos, sólidos y gases.

14. Explica lo que sucede cuando un sólido cambia a líquido y el líquido cambia a gas.

(c). La tercera actividad propuesta para esta secuencia didáctica, consiste en que el estudiante afirme los dos puntos de vista: microscópico y macroscópico, para la descripción de los fenómenos termodinámicos para un gas ideal, y que ahora vincule la *energía cinética* de las moléculas con la *energía interna del gas ideal*, pues, en este caso, la *energía de "amarre"* no tiene lugar. De esta manera, la interpretación microscópica proporcionará las *causas* de los fenómenos bajo estudio: *el movimiento molecular*; mientras que la interpretación macroscópica proporcionará los *efectos visibles, lo que se mide en el laboratorio*. Por ejemplo, la siguiente fórmula:

$$PV = \frac{1}{3} Nm \bar{v}^2,$$

establece una importante relación entre dos efectos o propiedades macroscópicas del gas, a saber, la *presión (P)* y el *volumen(V)*, con las causas moleculares de las mismas, o sea, el *número de moléculas (N)*, la *masa (m)* y la *velocidad promedio de las moléculas del gas (\bar{v}^2)*. Hay que destacar, sin embargo, que no se trata de un curso introductorio a la Mecánica estadística, sino de echar mano de algunos elementos interpretativos de ésta para una mayor comprensión por parte del estudiante acerca de la temática abordada. En palabras de Cárdenas¹⁵:

Pensamos que, sin entrar en el tratamiento cuantitativo riguroso de la mecánica estadística, el docente puede acrecentar la comprensión de los procesos termodinámicos analizados en los cursos básicos, mediante el empleo de la teoría cinético molecular que den cuenta, de forma simplificada de los mecanismos de interacción [Q y W] entre el sistema considerado y su ambiente.

¹⁵ Cárdenas, M. Explicaciones de procesos termodinámicos a partir del modelo corpuscular. Enseñanza de las ciencias. 1996. 14 (3). Pág. 345.

Hoja de trabajo 2. Teoría cinético molecular.

Con base en la dos actividades anteriores, discute y contesta con tus compañeros de equipo las siguientes preguntas. No olvides anotar tus respuestas en tu cuaderno de trabajo.

1. Dos gases, *A* y *B*, tienen la misma temperatura, pero la masa de las moléculas de *A* es mayor que las de *B*. ¿Cuáles moléculas se mueven con más velocidad? ¿Cuáles tienen más energía cinética?
2. El volumen de un gas disminuye sin variar su temperatura. ¿Cómo varían:
 - a. la energía y la velocidad de las moléculas?
 - b. la frecuencia con que chocan las moléculas con las paredes?
 - c. ¿Qué efecto tiene esto sobre la presión?
3. La temperatura de un gas aumenta sin variar el volumen. ¿Cómo varían:
 - a. la energía y la velocidad de las moléculas?,
 - b. la frecuencia con que chocan las moléculas con las paredes?
 - c. ¿Qué efecto tiene esto sobre la presión?
4. Completa la siguiente tabla, expresando las variables de estado en su forma microscópica y macroscópica.

Tabla 3 .Representaciones de las variables de estado.

<i>Cantidad física</i>	<i>Microscópica</i>	<i>Macroscópica</i>
<i>Presión</i>		
<i>Volumen</i>		
<i>Temperatura</i>		
<i>Energía interna</i>		
<i>Energía cinética</i>		

5. En dos recipientes, *A* y *B*, tenemos masas iguales de un mismo gas, ambas a la misma temperatura. ¿Qué relación existe:
 - a. entre el número de moléculas de gas en cada recipiente?
 - b. entre la energía cinética media de las moléculas?
 - c. entre la energía cinética total de las moléculas?
 - d. entre las velocidades de las moléculas?

6. En dos recipientes, A y B, tenemos masas iguales de un mismo gas, pero la temperatura de A es mayor que la de B. ¿Qué relación existe:
- entre el número de moléculas de gas en cada recipiente?
 - entre la energía cinética media de las moléculas?
 - entre la energía cinética total de las moléculas?, y
 - entre las velocidades de las moléculas?

(d). Esta secuencia didáctica concluye con la construcción de las definiciones de *energía interna* y de *temperatura*, bajo la interpretación de la teoría cinético molecular. Para lograrlo se establece una discusión grupal en torno a estos dos conceptos retomando todos los elementos pertinentes desarrollados con las actividades precedentes.

4.2.5 Fase de información e introducción a la ecuación de estado de un gas ideal: leyes de Boyle y Gay-Lussac.

Secuencia didáctica 5. *Investigación documental acerca de la ecuación de estado de los gases ideales.*

En esta secuencia, el alumno identificará diversos procesos termodinámicos que se dan en un *gas ideal* al interactuar con su medio, con lo que determinará experimentalmente las *relaciones entre las variables de estado* que caracterizan un sistema termodinámico. En particular, se hará énfasis en las relaciones P vs. V y P vs. T , que constituyen la ley de los gases ideales. Por otra parte, se seguirá insistiendo en el punto de vista cinético-molecular de la materia, de manera que el estudiante elabore una explicación de las variables de estado bajo esta perspectiva.

Para realizar esta secuencia, el estudiante deberá realizar una investigación bibliográfica previa. En ella, el alumno deberá informarse acerca de lo que son los *procesos isobárico, isocórico, adiabático, isotérmico*, etcétera, así como sobre las relaciones que caracterizan un sistema termodinámico; en particular, la *ley de Boyle*, de *Gay-Lussac* y la *ley general de los gases*. Una vez hecha esta investigación, se hará una discusión en el aula-laboratorio de los conceptos investigados, con el propósito de identificar las relaciones entre las variables de estado del sistema, aunado a la realización de las dos investigaciones experimentales siguientes para constatar la teoría con los resultados experimentales.

Secuencia didáctica 6. *Ley de Boyle.*

El estudiante realizará el experimento "Ley de Boyle"¹⁶, con la finalidad de encontrar una relación entre la presión y el volumen de un gas, a temperatura constante.

¹⁶ Cf. Antología de materiales y experimentos: Experimento 4.1.

Secuencia didáctica 7. Ley de Gay-Lussac.

El estudiante realizará el experimento "Ley de Gay-Lussac"¹⁷, en donde se relaciona la temperatura y el volumen de un gas, a presión constante.

4.2.6 Fase de ampliación y aplicación de las leyes de Boyle, de Gay-Lussac y general de los gases.

Para que el alumno construya una comprensión precisa de la ley de Boyle, de Charles o de *la ley general de los gases*, considero necesario que tenga diferentes tipos de representación de la misma y que, además, pueda transitar de uno a otro. Entre más representaciones tenga: cotidianas, experimentales, aritméticas, geométricas, algebraicas, etcétera, la riqueza de un concepto o ley, como en este caso, el individuo tendrá mayores posibilidades de hacer una mejor construcción conceptual.

Secuencia didáctica 8. Representación aritmética, geométrica y algebraica de la ley de Boyle.

Con esta actividad se pretende que el alumno construya las representaciones aritmética, geométrica o gráfica y algebraica de la ley de Boyle.

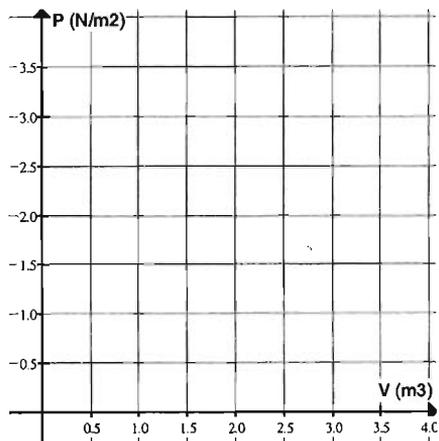
<i>Hoja de trabajo 3. Ley de Boyle.</i>					
<i>Tarea para el alumno.</i> Realiza las siguientes actividades en tu cuaderno de trabajo.					
En la tabla que figura a continuación se dan los valores de la presión ejercida sobre un gas y el cambio de volumen de éste para dos temperaturas diferentes.					
<i>Tabla 5. Representación aritmética de la ley de Boyle.</i>					
<i>Temperatura 27 °C</i>			<i>Temperatura 130 °C</i>		
<i>P</i> <i>(N/m²)</i>	<i>V</i> <i>(m³)</i>	<i>PV</i> <i>(Nm)</i>	<i>P</i> <i>(N/m²)</i>	<i>V</i> <i>(m³)</i>	<i>PV</i> <i>(Nm)</i>
<i>0.81 × 10⁶</i>	<i>2.43</i>		<i>1.85 × 10⁶</i>	<i>1.41</i>	
<i>1.30 × 10⁶</i>	<i>1.51</i>		<i>2.19 × 10⁶</i>	<i>1.20</i>	
<i>1.74 × 10⁶</i>	<i>1.13</i>		<i>2.46 × 10⁶</i>	<i>1.07</i>	

¹⁷ Cf. Antología de materiales y experimentos: Experimento 4.2.

2.05×10^6	0.96		2.94×10^6	0.89	
2.56×10^6	0.77		3.14×10^6	0.83	

I. Con tus compañeros de equipo resuelve las siguientes preguntas y las respuestas que obtengan escríbelas en tu cuaderno de trabajo.

1. Completa en cada caso la columna que corresponde al producto PV .
2. ¿Cómo se comporta el producto PV cuando se mantiene constante la temperatura? Escribe tus conclusiones.
3. ¿Qué ley puede enunciarse? ¿Hay una variación directamente proporcional entre la presión y el volumen?
4. Representa en una gráfica como la adyacente la presión y el volumen del gas en cada caso. Traza las líneas que unen los puntos que corresponden a una misma temperatura. ¿Cómo se llaman las líneas que obtuviste?



II. Resuelve los siguientes problemas.

5. Una cantidad de gas ideal a 10°C ocupa 4 litros y tiene una presión de 150 kPa. ¿Qué volumen tendrá si la temperatura se conserva constante y la presión disminuye a 120 kPa?
6. ¿Qué volumen de gas hidrógeno, a presión atmosférica, se requiere para llenar un tanque de $5\,000\text{ cm}^3$ bajo una presión manométrica de 530 kPa?
(Sugerencia. Recuerda que la presión absoluta esta dada por medio de la siguiente relación: $P_{\text{absoluta}} = P_{\text{manométrica}} + P_{\text{atmosférica}}$).
7. Un recipiente flexible se llena con 2 m^3 de gas a una presión absoluta de 400 kPa. Si el volumen se incrementa lentamente hasta 5 m^3 a temperatura constante y sin que cambie su masa, ¿cuál es la nueva presión absoluta?

Secuencia didáctica 9. Representación aritmética, geométrica y algebraica de la ley de Gay-Lussac.

En esta secuencia el estudiante desarrollará la siguiente hoja de trabajo.

Hoja de trabajo 4. Ley de Gay-Lussac.

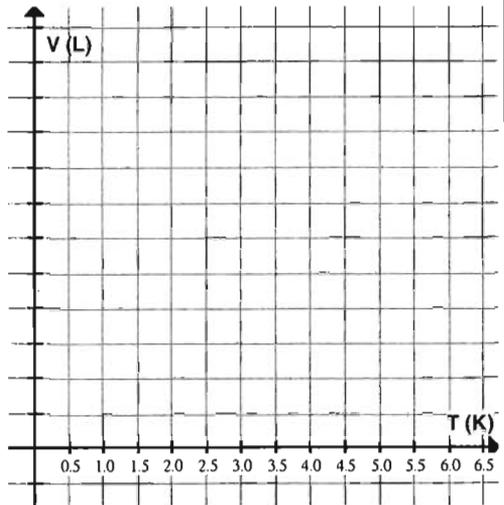
En la tabla siguiente se dan los valores del volumen y la temperatura en Kelvin de una muestra de un gas ideal (helio).

Tabla 6. Representación aritmética de la ley de charles.

Volumen (L)	Temperatura (°K)	V/T (L/°K)
0.7	73	
1.7	173	
2.7	273	
3.7	373	
5.7	573	

I. Contesta las siguientes preguntas en tu cuaderno de trabajo.

1. Completa la columna que corresponde al cociente V/T y exprésala en m^3/K .
2. ¿El valor de esta columna es más o menos constante? ¿Cuál es este valor?
3. Representa en una gráfica como la siguiente el volumen y la temperatura del gas. ¿Están alineados los puntos que marcaste?
4. Trace una línea que una a los puntos marcados.
5. ¿Cuál es el valor de la pendiente? Compáralo con el valor de la tercera columna de la tabla 5.



6. ¿Qué puedes concluir del cociente entre el volumen y la temperatura de un gas si la presión no varía?
7. ¿Qué tipo de variación se puede establecer entre el volumen y la temperatura del gas?
8. ¿Qué ley puede enunciarse en este caso?

II. Resuelve los siguientes problemas.

9. ¿Qué volumen, en litros, ocupa un mol de helio a una atmósfera de presión y a una temperatura de:

- 0 °C, y
- 20 °C.

10. Un globo grande lleno de aire tiene volumen de 200 litros a 0 °C. ¿Cuál será su volumen a 57 °C, si la presión se mantiene constante?

4.2.7 Fase de ampliación y aplicación de la ecuación de estado del gas ideal.

Secuencia didáctica 10. Ecuación de estado y cero absoluto.

Con la realización de la siguiente hoja de trabajo se pretende que el estudiante elabore, a partir de los datos proporcionados en la tabla 7, las representaciones aritmética y gráfica de la ecuación de estado de un gas ideal. Esto dará lugar a la determinación de su representación algebraica:

$$\frac{PV}{T} = k \quad \text{o} \quad PV = k T.$$

Aunado a esto, determinará gráficamente el cero absoluto (-273 °C), dando una interpretación molecular del mismo.

Hoja de trabajo 5. Ecuación de estado de un gas ideal y el cero absoluto.

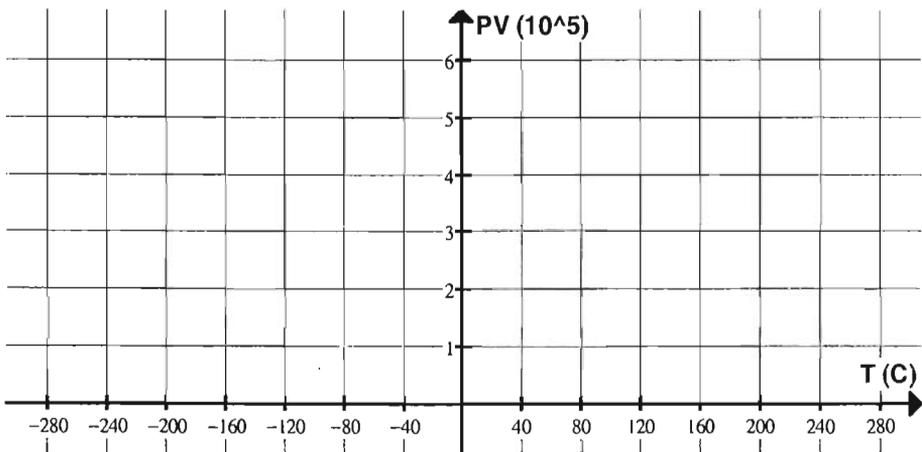
La tabla siguiente representa los valores de la presión y del volumen de cierto gas a diversas temperaturas.

Tabla 7. representación aritmética de estado de un gas ideal.

Temperatura (°C)	Presión (Pa)	Volumen (m³)	PV (Nm)	T (K)	$\frac{PV}{T} \left(\frac{Nm}{K} \right)$
210	4.3×10^5	0.85			
120	2.8×10^5	1.06			
0	1.5×10^5	1.38			
-80	1.0×10^5	1.45			
-120	0.8×10^5	1.4			

En tu cuaderno de trabajo contesta las siguientes preguntas.

1. Completa las últimas tres columnas de la tabla 7.
2. ¿Qué observas con el número calculado en la última columna? ¿Es más o menos constante? ¿Cuál su valor promedio?
3. En un sistema coordenado como el siguiente, marca los valores del producto PV para cada una de las temperaturas T .
4. ¿Se puede trazar una recta por estos puntos?
5. Calcula la pendiente de la recta que aproximadamente pasa por los puntos marcados. ¿Cómo es éste valor con el que obtuviste en la última columna de la tabla 6?
6. De los resultados que obtuviste en las preguntas 2 y 4, ¿se puede afirmar que el producto de la presión por el volumen de un gas varía directamente proporcional con la temperatura



7. Podrías determinar el modelo matemático que representa la gráfica anterior. ¿Qué nombre recibe ésta ecuación?. Usa un ajuste de *regresión lineal*.
8. Prolonga la recta que has trazado hasta que intersecte el eje de las temperaturas y estima el valor de la temperatura en ese punto.
 - a. ¿Qué significado tiene ésta temperatura?
 - b. ¿Se puede llevar el gas a una temperatura inferior a esa?
9. Como una aplicación de estos resultados, determina la relación entre la escala Kelvin (K) y Celsius ($^{\circ}C$).

Resulta importante subrayar que en la ecuación de estado, aunque la presión y el volumen varían con la temperatura, el producto de éstas variables tiene un valor fijo para cada temperatura, esto nos permite usar esta cantidad (PV) como indicador para medir la temperatura, en lugar de utilizar una columna líquida como se hace con los termómetros

habituales. A la escala de temperaturas obtenida de esta manera, o sea, definida por la representación algebraica del gas ideal, se le llama *escala absoluta de temperatura*.

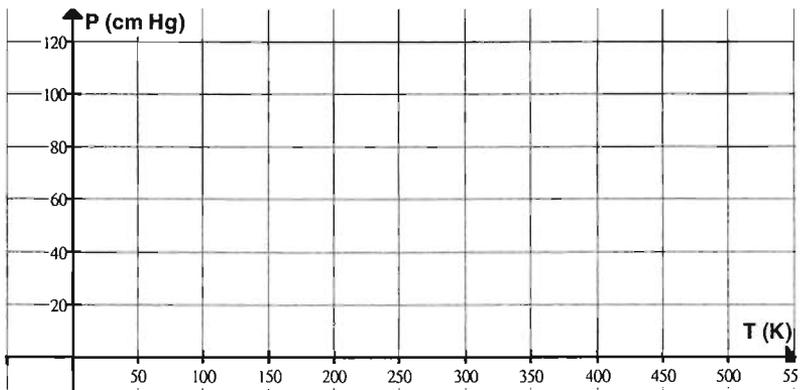
Secuencia didáctica complementaria 11. Líneas isoterma e isobárica.

Con las hojas de trabajo de esta actividad, se pretende que el alumno identifique en un diagrama P vs. T , o V vs. T , las curvas isobara o isoterma.

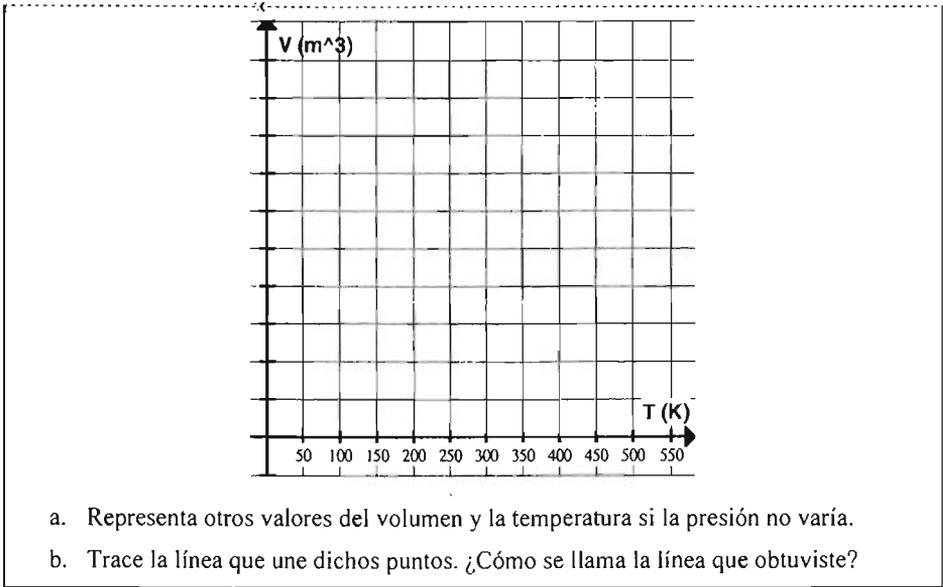
Hoja de trabajo 6. Líneas isoterma e isobárica.

Realiza las siguientes actividades y anota tus respuestas en tu cuaderno de trabajo.

1. Un gas tiene una presión de 80cm de Hg a una temperatura de 27 °C. Representa el estado en el diagrama siguiente.



- a. Representa otros valores de la presión y la temperatura del gas si su volumen no varía.
 - b. Traza la línea que une dichos puntos. ¿Cómo se llama la línea que obtuviste?.
2. A cierta presión un gas ocupa un volumen de 1.8 m³ cuando su temperatura es 7°C. Representa ese estado en el siguiente diagrama.



4.2.8 Fase de información e introducción al concepto de calor.

Secuencia didáctica 12. Investigación documental al concepto de calor.

En esta secuencia el alumno reconocerá al *calor* como una cantidad neta de energía transferida en los procesos de interacción térmica entre sistemas y lo distinguirá de la *temperatura*. Además, introducirá el concepto de *calor latente* y determinará el *calor específico* de diferentes sustancias. Con ello dará una interpretación física de los *cambios de fase*. Para llevar a cabo lo anterior, se le pedirá al estudiante que efectúe la lectura 4.2¹⁸, para que realice un resumen del *desarrollo histórico del concepto de calor*. Además, en la misma lectura investigarán los siguientes conceptos con sus respectivas unidades en el sistema internacional (SI):

- *Calor.*
- *Unidades de calor: caloría (c), kilocaloría (kcal) y Joule (J).*
- *Calor específico.*
- *Calor latente.*

Una vez realizado este trabajo documental, se hará una discusión grupal que deberá conducir con la siguiente definición de calor¹⁹:

¹⁸ Cf. Antología de materiales y experimentos: material 4.2

¹⁹ Reif, F. Física estadística. Reverté. Barcelona. 1969. Págs. 36-37.

"cuando dos sistemas macroscópicos, a diferente temperatura, son puestos en *interacción térmica* exclusivamente, se denomina *calor* a la *energía que se transfiere* del sistema de mayor temperatura al de menor temperatura."

Es importante señalar que el profesor tiene que insistir en los siguientes aspectos que sustentan ésta definición.

- a. *El calor debe mostrarse como una cantidad neta de energía transferida en los procesos de interacción térmica entre dos (o más) sistemas.*
- b. *Para que se dé una transferencia neta de energía, debe haber dos o más sistemas que estén a temperaturas diferentes.*
- c. *Las condiciones de interacción térmica deberán estar plenamente garantizadas; esto con el propósito de que no haya "fugas" de energía y de que, además, permitan el libre flujo de ésta (las paredes no deberán ser o tener partes aislantes).*
- d. *De lo anterior, se desprende que en esta concepción del calor, aparecen implicados los conceptos de temperatura, energía, transferencia de energía e interacción térmica.*

Secuencia didáctica 13. Diferencia entre calor y temperatura.

El siguiente guión²⁰ se presenta bajo la forma de preguntas generadoras de ideas o problemas abiertos que expone el profesor. A continuación, los alumnos, en equipos, los discuten con base en algunos experimentos realizados en el laboratorio siguiendo las preguntas de la hoja de trabajo hasta que se llegue a la solución. La orientación histórica, unida a la dinámica de discusión en equipo, me parece una buena manera de secuenciar el proceso continuo de persecución y construcción del objeto del conocimiento.

Hoja de trabajo 7. Diferencia entre los conceptos de calor y temperatura.

La siguiente hoja de trabajo está diseñada a partir de una conferencia realizada por el médico Joseph Black, también químico, que hacía 1760 sugirió la necesidad de distinguir *calor* de *temperatura*.

Problema abierto: ¿Calor y temperatura representan lo mismo?

Esta es la pregunta conductora general de ésta práctica. Para que los estudiantes respondan a ella, se les conducirá a través de las dos etapas siguientes.

Primera etapa: *equilibrio térmico*.

El profesor llama la atención de los estudiantes hacia los objetos que hay alrededor y se pregunta sobre su *equilibrio térmico* más o menos en los siguientes términos:

1. *¿Es igual la temperatura de estos cuerpos?*

²⁰ Cf. Pessoa de Carvalho, A. M. y Castro, R. S. *La historia de la ciencia como herramienta para la enseñanza de Física en secundaria: un ejemplo en calor y temperatura*. Enseñanza de las ciencias, 1992. Págs. 289-294.

- a. ¿Podemos decir que tienen la misma temperatura?
- b. ¿Y que tienen el "mismo calor" o "calores iguales"?

Al hacer estas preguntas, los estudiantes establecerán sus opiniones antes y después de emplear un termómetro para averiguar la temperatura de algunos de los cuerpos circundantes.

Ahora se les pide a los estudiantes que tomen un objeto en las manos y que describan lo que ocurre en los siguientes términos:

2. Si cada uno de nosotros elige un objeto y lo sujeta entre las manos durante algún tiempo:
 - a. ¿qué ocurrirá?,
 - b. ¿podemos garantizar que después de algún tiempo todos los objetos estarán a la temperatura de nuestro cuerpo?,
 - c. ¿estos cuerpos tomarán el mismo tiempo para alcanzar esa temperatura o cada uno tendrá un tiempo propio?

De nuevo, los estudiantes deberán responder a éstas preguntas antes y después de tomar entre sus manos un objeto y de medir su temperatura antes, durante y después de sostenerlo.

Segunda etapa. Factores que determinan la rapidez del calentamiento de una sustancia.

Esta etapa consiste de dos experimentos que usan el mismo dispositivo, a saber, del montaje de dos vasos de precipitados (en los que se verterá agua), cada uno sobre un soporte universal, de manera que debajo de ellos esté colocado un mechero Bunsen.

La pregunta generadora en esta etapa es la siguiente:

Si tenemos una misma sustancia, ¿qué factores son los que determinan la rapidez de su calentamiento?

En principio, se les pide a los estudiantes que escriban la respuesta que ellos consideren pertinente y, a continuación, se les pide que lleven a cabo los experimentos siguientes.

Experimento 1. Vierte la misma cantidad de agua en los dos vasos y asegúrate de que los mecheros tengan la misma flama (es decir, que proporcionen la misma cantidad de calor). Responde las siguientes preguntas en tu cuaderno de trabajo.

1. Coloca los mecheros debajo de cada vaso hasta que cada uno de ellos alcance una temperatura de 50°C, cronometra el tiempo que se tarda cada vaso en alcanzar esa temperatura y anota tus mediciones.

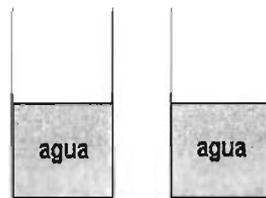


Figura 2.

2. Da una explicación del por qué los vasos de agua toman el mismo tiempo para alcanzar la misma temperatura. ¿Esto será cierto para cualquier otra temperatura? ¿Qué crees que ocurra cuando uno de los vasos tenga más agua que el otro?

Experimento 2. Vierte agua en los vasos de manera que uno tenga el doble que el otro y asegúrate de que los mecheros tengan la misma flama (es decir, que proporcionen la misma cantidad de calor). Responde las siguientes preguntas en tu cuaderno de trabajo.

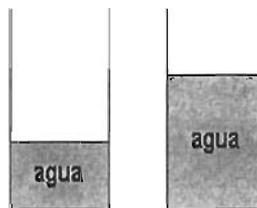


Figura 3.

3. Coloca los mecheros debajo de cada vaso hasta que cada uno de ellos alcance una temperatura de 50°C , cronometra el tiempo que se tarda cada vaso en alcanzar esa temperatura y anota tus mediciones.

4. ¿Podemos afirmar que el agua del primer recipiente tardará menos para alcanzar esa temperatura?

5. ¿Qué significa esa diferencia de tiempo necesaria para que sufra una misma variación de temperatura?

Experimento 3. Ahora veamos qué pasa al cambiar la situación anterior y, en lugar de dejar los mecheros puestos hasta que los vasos con agua alcancen los 50°C , se fija el tiempo de exposición de estos recipientes a la llama en 10 minutos.

6. ¿Crees que la temperatura del agua de los recipientes será la misma?

7. Al fijar el tiempo de exposición a la llama y garantizando que los mecheros sean iguales, ¿no suponemos la igualdad de otra cosa? ¿De qué cosa?

Después de que los estudiantes hayan conjeturado y respondido a estas cuatro preguntas, el profesor, junto con ellos harán una breve recapitulación más o menos en los siguientes términos. En la segunda situación, *las cantidades de agua reciben diferentes cantidades de calor de los mecheros, pues se mantienen expuestas a ella por tiempos diferentes*, alcanzando la misma temperatura. En la tercera situación, *las cantidades de agua reciben la misma cantidad de calor alcanzando diferentes temperaturas*. Bajo estas condiciones, a los estudiantes se les hace la siguiente pregunta:

8. ¿Calor y temperatura son la misma cosa?

Con estas actividades el alumno diferenciará su respuesta inicial a la pregunta 8 y, además, podrá concluir adecuadamente con la diferencia que existe entre los conceptos de calor y de temperatura.

4.2.9 Fase de ampliación y aplicación del concepto de calor.

Secuencia didáctica 14. Calor específico.

En esta secuencia experimental, el estudiante lleva a cabo el experimento "Calor específico"²¹, que consiste en la determinación del *calor específico* del aluminio y del cobre.

Secuencia didáctica 15. Fabricación de acero.

En esta otra secuencia, el alumno amplía el concepto de calor en un ejemplo práctico, al tener noticia de uno de los procesos con los que se fabrica el acero. Para ello desarrollará la siguiente hoja de trabajo.

Hoja de trabajo 8. Fabricación de acero.

Tarea para el estudiante. Realiza las siguientes actividades y contesta las preguntas en tu cuaderno de trabajo.

1. Lee el artículo "Procesamiento del acero"²². En este artículo se mencionan tres tipos de aceros: aceros de bajo, medio y alto carbono.
 - a. Identifica los porcentajes de carbono que contiene cada uno de estos tipos de acero, así como los porcentajes del metal aleante.
 - b. Investiga el uso de estos tipos de acero en la industria.
2. La figura 6 muestra los elementos de un horno industrial de gas para procesar acero. El aire se hace pasar por la cámara de combustión calentándolo a temperaturas elevadas. Después, el aire caliente se eleva hasta otra cámara en donde entra en contacto con el producto metálico (hierro-carbono). Consecuentemente, la temperatura del producto metálico aumenta, mientras que la temperatura del aire disminuye, hasta que ambos alcanzan una misma temperatura. Finalmente, el aire continúa subiendo hasta salir por la chimenea. Cabe destacar que durante este proceso la flama nunca toca al mineral.

²¹ Cf. Antología de materiales y experimentos. Experimento 4.3.

²² Cf. Enciclopedia de ciencia y tecnología. Tomo I, 3a edición. McGraw-Hill. México. 1998. Págs. 14-16.

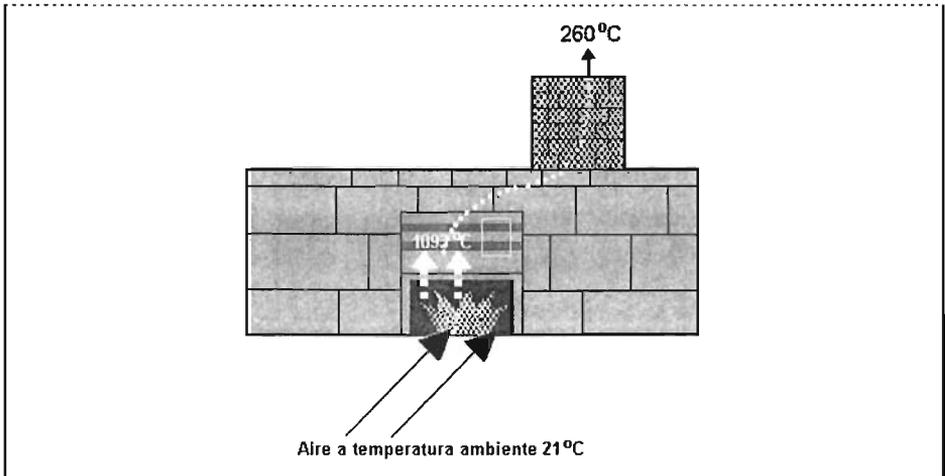


Figura 6. Elementos de un horno industrial. 500 °F, 70°F.

Problema. Suponiendo que 453 g de aire, a presión constante y a 21°C, se hace pasar a través de la flama del horno calentándolo hasta 1093°C, logrando con ello que el mineral eleve su temperatura de 21°C hasta 816°C y, finalmente, saliendo por la chimenea a una temperatura de 260°C, contesta las siguientes preguntas.

- ¿Qué cantidad de energía, en forma de calor, se transfiere de la flama del horno (cámara de combustión) a los 453 g de aire que pasa por ella?
- ¿Qué cantidad de energía, en forma de calor, se transfiere de los 453 g de aire al mineral, cuando aquél pasa y se pone en contacto con éste?

¿Qué porcentaje de calor cede el aire al pasar por el mineral?

- ¿Qué cantidad de calor original se "pierde" con la combustión de gases cuando estos salen por la chimenea?
- Para los ingenieros, el término *calor disponible* se refiere al calor que realmente alcanza al mineral (inciso b). En otras palabras, es la cantidad de energía que se transfiere al mineral. ¿Qué cantidad de energía de los 453 g de aire es el calor disponible del mineral?

Notas:

- Calor específico del aire: $c_p = 0.25 \text{ cal/ g } ^\circ\text{C}$.
- Calor específico del acero: $c_p = 0.11 \text{ cal/ g } ^\circ\text{C}$.
- Fórmula para calcular la cantidad de calor: $Q = cm (T_f - T_i)$.

4.2.10 Fase de información e introducción a los mecanismos de transferencia de calor.

Secuencia didáctica 16. *Investigación bibliográfica acerca de los mecanismos de transferencia de calor.*

En esta secuencia, se le pedirá al alumno una investigación documental²³ para realizar la siguiente hoja de trabajo.

<i>Hoja de trabajo 9. Transferencia de calor.</i>
Realiza una investigación bibliográfica y contesta las siguientes preguntas en tu cuaderno de trabajo.
1. Describe los tres procesos fundamentales de <i>transferencia de calor</i> .
2. Explica, mediante el modelo molecular, en qué consiste la conducción de calor en un sólido.
3. Frecuentemente se escucha sobre la <i>transferencia de calor por convección</i> en gases y líquidos, pero no en sólidos. ¿Por qué?
4. ¿Cuál es el mecanismo de transferencia de energía del Sol que permite el calentamiento de la Tierra?. ¿Por qué es incómodo vestirse de negro en verano?
5. Explica el funcionamiento de un radiador de coche.
6. Una persona cerca de una fogata o colocando su mano cerca de un foco siente calor ¿Por qué?
7. Explica por qué en un "termo" o frasco de Deware se conserva la temperatura de un líquido.
8. Explica a qué se debe que haya inversión térmica en la ciudad de México.

4.2.11 Fase de ampliación y aplicación de los mecanismos de transferencia de calor.

Secuencia didáctica complementaria 17. *El horno de microondas.*

En esta secuencia se utilizará como material bibliográfico el artículo *El horno de microondas* para que el estudiante conteste las preguntas de la siguiente hoja de trabajo.

²³ Cutnell, J. Jonson, K. *Física*. Ed Limusa, México, 1999, Págs. 355-369.

Hoja de trabajo 10. El horno de microondas.

Lee el artículo *El horno de microondas*²⁴ y realiza las siguientes actividades en tu cuaderno de trabajo.

1. Haz un resumen del desarrollo histórico del horno de microondas.
2. Haz una descripción de las unidades que componen un horno de microondas.
3. Describe las tres características más importantes de un horno de microondas.

¿Cuál es el mecanismo de cocción en un horno de microondas?

4.2.12 Fase de información e introducción a la relación entre calor y trabajo: primera ley de la termodinámica.

Secuencia didáctica 18. Investigación bibliográfica acerca de la primera ley de la termodinámica.

El estudiante hará la lectura 4.3²⁵, para que de manera clara y breve elabore un resumen sobre los conceptos termodinámicos siguientes:

- *interacción térmica* (Q);
- *equivalente mecánico del calor*; y
- *interacción mecánica* (W);
- *primera ley de la termodinámica*.
- *energía interna* (ΔU);

Posteriormente se hará una discusión en clase para establecer la relación que existe entre Q , W y ΔU , orientando ésta discusión hacia la formulación matemática del primer principio de la termodinámica. Además, se retomará la información de la *secuencia didáctica 4c*²⁶ para determinar las relaciones matemáticas, entre W , Q y ΔU con las variables de estado (P , V , T) en los procesos termodinámicos isocórico, isobárico, etcétera, para finalizar con la elaboración del formulario *Procesos termodinámicos elementales para un gas ideal*²⁷, cuyas relaciones le serán de utilidad al alumno en la resolución de problemas como los que aparecen en las hojas de trabajo 11 y 12.

²⁴ Moya, H. *El horno de microondas. ¿Cómo ves?* Año 4, No. 41. Abril, 2002. México.

²⁵ Cutnell, J. Jonson, K. Física. Ed Limusa. México 1999. Págs. 395-407.

²⁶ Vea páginas 103-104.

²⁷ Cf. Anexo IV. Pág. 163.

4.2.13 Fase de ampliación y aplicación de la primera ley de la termodinámica.

Secuencia didáctica 19. *Aplicaciones de la primera ley de la termodinámica.*

Esta secuencia didáctica consiste de las dos partes siguientes.

(a). En la primera parte el profesor hará una exposición detallada de la aplicación de la primera ley de la termodinámica para un proceso cíclico, en donde están involucrados los procesos: *isobárico*, *isocórico*, *isotérmico* y *adiabático*. Esto permitirá que el estudiante alcance una comprensión más clara de esta ley así como de los procesos mencionados, además de que aprenderá, en la práctica, a calcular Q , W y ΔU . Ahora bien, a lo largo de esta exposición (y cálculos) se irá exhibiendo y recalcando que los *procesos de transformación de energía* Q y W dependen de la trayectoria seguida, aunque la suma $|Q+W|$ no dependa en absoluto de la manera en que el sistema pasa desde del estado inicial hasta el estado final, estableciendo con ello una analogía con la energía potencial mecánica, lo que da pie a introducir una nueva función que se llamará *función de energía interna* (ΔU), concepto que se introdujo anteriormente con la teoría cinético molecular. El cual determina los balances o cambios de energía a lo largo del ciclo y que también, al término de éste, hace evidente el principio de la conservación de la energía para un proceso cíclico:

$$\Delta U = 0.$$

Para llevar a cabo esta primera parte, se le proporcionará al estudiante la siguiente hoja de trabajo, en la que irá llenando la tabla 8 conforme al desarrollo que haga de la misma el profesor.

Hoja de trabajo 11. Proceso cíclico.

Problema: Un mol de gas ideal monoatómico sigue el proceso cíclico que se muestra en la siguiente figura, donde $V_1 = 1.65 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ y $V_2 = 3.29 \times 10^{-3} \text{ m}^3$.

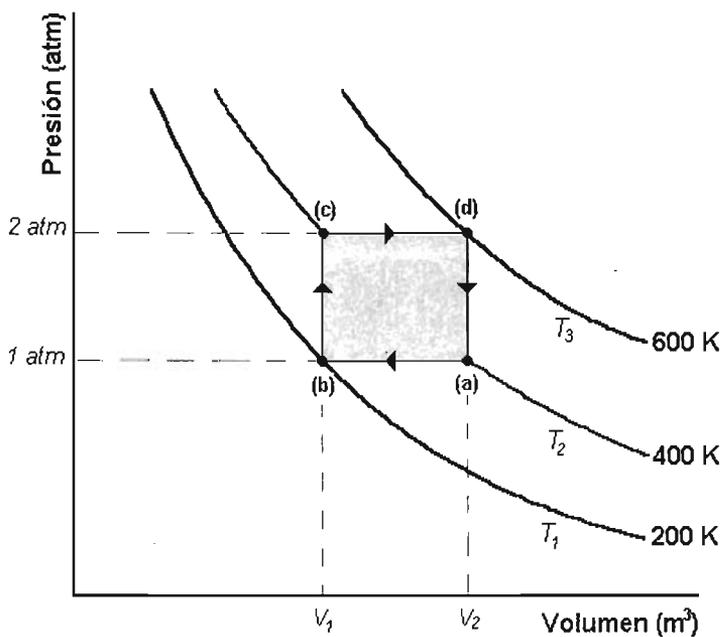


Figura 7. Representación de un proceso cíclico de un gas ideal.

Tabla 8. Procesos termodinámicos de un gas ideal.

ciclo	Tipo de ciclo	W (J)	Q (J)	$(Q + W)$ (J)	ΔU (J)
$a \rightarrow b$	isobárico	-166.1	-4155	-3989	-3989
$b \rightarrow c$	isocórico				
$c \rightarrow d$	isobárico				
$d \rightarrow a$	isocórico				

(b). La segunda parte de esta secuencia didáctica consiste en la realización por parte del estudiante, bajo la asesoría del profesor y con el formulario *Procesos termodinámicos simples...*¹⁵, del problema planteado en la siguiente hoja de trabajo.

Hoja de trabajo 12. Problema que involucra un proceso isotérmico.

Considérese el ciclo reversible de un gas monoatómico ideal, graficado en el diagrama PV (figura 8), en donde:

$$V_0 = 200 \text{ litros,}$$

$$R = 0.082 \text{ litros-atm.} = 8.31 \text{ J/molK,}$$

$$P_0 = 1 \text{ atm,}$$

$$2 \text{ mol de gas.}$$

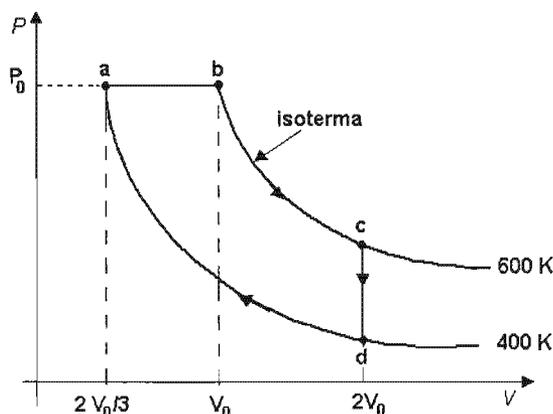


Figura 8. Representación de un proceso cíclico de un gas ideal.

Con base en el diagrama de la figura 8, calcula lo siguiente y anota tus resultados en la tabla 9. (Sugerencia: emplea las relaciones establecidas en la tabla 7.)

1. Describe las siguientes etapas del ciclo mostrado en la figura 8.

- a. $a \rightarrow b$;
- b. $b \rightarrow c$;
- c. $c \rightarrow d$;
- d. $d \rightarrow a$.

¹⁵ Cf. Anexo IV.

2. Calcula lo siguiente:
 - a. $W_{a \rightarrow b}$, $W_{b \rightarrow c}$, $W_{c \rightarrow d}$, $W_{d \rightarrow a}$,
 - b. W_{total} .
 - c. Indica, para cada etapa, si el trabajo es realizado *por*, o *sobre*, el sistema.
3. Calcula lo siguiente:
 - a. $Q_{a \rightarrow b}$, $Q_{b \rightarrow c}$, $Q_{c \rightarrow d}$ y $Q_{d \rightarrow a}$.
 - b. Q_{total} .
 - c. Indica si el calor es absorbido o cedido por el sistema en cada una de estas etapas.
4. Determine el cambio de energía interna (ΔU) durante las etapas del ciclo.
5. ¿Hay conservación de energía? O, en otras palabras, ¿ $\Delta U = 0$?

Tabla 9. Proceso cíclico de un gas ideal.

Proceso	Tipo de proceso	W (J)	Q (J)	$Q + W = \Delta U$ (J)
$a \rightarrow b$				
$b \rightarrow c$				
$c \rightarrow d$				
$d \rightarrow a$				
$a \rightarrow d$ (completo)				

A manera de conclusión en lo que respecta a la primera ley de la termodinámica, cabe señalar que los cambios producidos por la interacción térmica (Q) y la interacción mecánica (W) pueden describirse cualitativamente a partir de la teoría cinético-molecular, mientras que cuantitativamente puede hacerse a través de las variables termodinámicas P , V y T , como se muestra en el formulario *Procesos termodinámicos...* (Anexo 2). Por ejemplo, la expresión: $W = P(V_f - V_i)$, nos permite cuantificar la interacción mecánica (W) a través del cambio que produce en el volumen (ΔV) experimentado por la muestra de gas. De una manera semejante también cabe una explicación de la siguiente relación: $Q = c_p(T_f - T_i)$.

Secuencia didáctica 20. Construcción y análisis de un proceso cíclico.

Para ampliar y precisar los procesos termodinámicos bajo estudio, el alumno representará gráficamente un ciclo efectuado por un sistema termodinámico en un diagrama PV e interpretará físicamente cada una de sus etapas a través de la siguiente hoja de trabajo.

Hoja de trabajo 13. Construcción y análisis de un proceso cíclico.

Un gas se encuentra inicialmente a una presión de $5 \times 10^4 \text{ Pa}$, ocupando un volumen de 2 m^3 . El gas se expande a presión constante hasta un volumen de 5 m^3 . Después, se reduce su presión hasta $3 \times 10^4 \text{ Pa}$, sin variar su volumen. A continuación, se comprime a presión constante hasta su volumen inicial. Finalmente, se aumenta la presión, manteniendo el volumen constante, hasta llegar a las condiciones iniciales.

Tarea para el alumno.

Realiza las siguientes actividades en tu cuaderno de trabajo.

- a. Representa el ciclo bajo consideración en un diagrama P vs. V . Emplea una cuadrícula (cartesiana) como la mostrada en la figura 4.

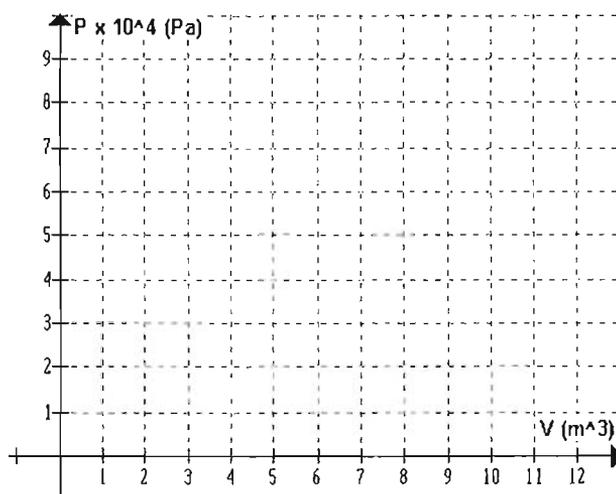


Figura 9. Cuadrícula cartesiana para trazar un diagrama PV.

- b. Calcula el trabajo durante las siguientes etapas:
- etapa de expansión;
 - etapa de compresión;
 - así como el trabajo neto realizado por el gas durante el ciclo.
- c. El calor absorbido por el gas durante las siguientes etapas:
- etapa de expansión;
 - etapa de compresión;
 - así como durante todo el ciclo.
- d. ¿El cambio de energía interna del gas durante el ciclo es igual a cero?

Con las actividades anteriores (secuencias didácticas 21-23), se espera que el alumno haya asimilado y comenzado a diferenciar e integrar en su estructura cognoscitiva la *primera ley de la termodinámica*, en particular con relación a los conceptos de calor (Q), trabajo (W) y energía interna (U). Sin embargo, conviene señalar que a lo largo de estas actividades, el profesor deberá ir entresacando y poniendo a la luz del estudiante, los conceptos y las proposiciones siguientes que subyacen a esta ley, siguiendo de esta manera una sugerencia hecha por Arons¹⁶.

- La suma algebraica de Q y W siempre tendrán el mismo valor, sin importar la manera en que el sistema pase de un estado específico a otro. En otros términos, esta suma no depende del camino seguido para llevar al sistema a un estado final.
- Este hecho empírico: $Q + W = \text{constante}$, indica que debe existir una nueva *función de estado*, que es una propiedad del sistema llamada *energía interna* del mismo y que se denota por U .
- La *energía interna* de un sistema, mantiene la siguiente relación:

$$\Delta U \equiv U_1 + U_2 = Q + W, \quad (*)$$

siendo Q el calor y W el trabajo transferidos por el sistema. Las cantidades de la derecha son *procesos de transferencia de energía* y no son propiedades de sistema, mientras que la cantidad de la izquierda es una *propiedad del sistema*.

- Para indicar matemáticamente que Q y W no representan cambios de una variable de estado, se evita el uso del símbolo Δ . (Carecen de significado los símbolos como W_1 o Q_1).
- El uso del símbolo Δ en U , enfatiza el hecho de que ahora tratamos con una variable de estado que cambia de un valor U_1 a otro valor U_2 , siempre que la temperatura o presión cambien de un valor inicial T_1 y P_1 a un único valor final T_2 y P_2 respectivamente. De esta manera, si $Q + W$ es positiva la energía interna del sistema se incrementa por esa cantidad, mientras que si es negativa la *energía interna* decrece en esa cantidad. Esta es otra formulación del *principio de conservación de la energía*.
- Por supuesto que la *ley de conservación de la energía* no se deriva de las leyes de movimiento de Newton.
- El análisis de una variedad de fenómenos termodinámicos, muestra que la *energía interna* asume varias formas diferentes, a saber:
 - Cambio de *energía interna térmica*: $\Delta U_{\text{Térmica}}$.
 - Cambio de *energía interna química*: $\Delta U_{\text{Química}}$.
 - Cambio de *energía interna cinética*: ΔU_K . La *energía cinética* aparece en diferentes formas: *traslacional* ($\Delta U_{\text{int-tras}}$), *rotacional* ($\Delta U_{\text{int-rot}}$) y vibracional.

¹⁶ Arons, A. *Developing the Energy Concepts in Introductory Physics*. The Physics Teacher. Octubre. 1989.

- Cambio de *energía interna potencial*: $\Delta U_{potencial}$. La energía potencial puede tener diferentes formas: *energía potencial gravitacional* ($\Delta U_{pot-grav}$), *energía potencial elástica* ($\Delta U_{pot-elástica}$) y *energía potencial electrostática* ($\Delta U_{pot-elec}$).
 - Así como otros tipos de *energía interna*, que abarcan la emisión o absorción del sonido y otras posibles interacciones.
- En general, el símbolo ΔU de la *primera ley* deberá escribirse como una suma algebraica de los diferentes cambios de *energía interna*, tal y como queda establecido en la siguiente relación:

$$\Delta U \equiv \Delta U_{térmica} + \Delta U_{química} + \Delta U_{cinética} + \Delta U_{potencial} + \dots \quad (**)$$

- A manera de ejemplo, apliquemos la ecuación anterior a un caso especial muy simple, a saber, la transferencia de una cantidad de calor Q a un sistema sobre el que no se realiza trabajo, ni en el que se da ningún intercambio de energía. En tal caso, la ecuación anterior, combinada con la ecuación (*) da como resultado lo siguiente:

$$\Delta U_{térmica} = Q.$$

Este resultado se puede interpretar de la siguiente manera.

- En tales circunstancias, la cantidad de calor transferida al sistema es igual al cambio de *energía interna térmica*.
- Además, note que en este postulado se usa el término *calor* solamente en relación con su transferencia, como se hace sistemáticamente en termodinámica evitando, así, el concepto erróneo de que el "calor reside en" o es una "propiedad del sistema".

4.3 Secuencias didácticas para el concepto de entropía y la segunda ley de la termodinámica.

La enseñanza del concepto de *entropía* es fundamental para comprender la evolución de algunos procesos físicos y químicos. Por ejemplo, la *degradación de la energía* y la *evolución energética* de ciertas reacciones químicas, son algunas cuestiones que no se pueden comprender atendiendo única y exclusivamente el primer principio de la termodinámica, por lo que es preciso introducir una nueva magnitud, la *entropía*. Sin embargo, sabemos que su enseñanza no es fácil y que la forma en que tradicionalmente se introduce este concepto imposibilita la comprensión de su verdadero significado e importancia. En este sentido, se suele identificar a la *entropía como una medida del desorden a nivel molecular*, siguiendo la idea de algunos textos clásicos de física empleados para tal fin. Por ejemplo, Gamow¹⁷ escribe lo siguiente:

¹⁷ Gamow, G. y Cleveland, J. Física. Aguilar. España. 1969. Págs. 172 – 175.

Los físicos emplean una palabra muy útil, la de entropía, que mide el desorden o falta de organización de un sistema.

y, más aún, en la revista de divulgación Scientific American Latinoamérica¹⁸, se toma a la entropía en este sentido, pues se dice ahí que:

... en la cadena de la evolución estelar, unos sistemas se transforman en otros a lo largo de un proceso que conserva la energía pero causa un aumento constante e irreversible de la entropía (una medida del desorden con que se distribuye la energía).

Esta interpretación es incorrecta (Brigdman,1941; Wrigh,1974; Dachin, 1978). De manera alternativa, la propuesta que se hace en este trabajo se basa en un artículo de Candel y Satoca (1984). En éste, los autores proponen una serie de posibles interpretaciones que ayudan a alcanzar una comprensión más clara y amplia del concepto, por lo que he considerado importante comentarlas y considerarlas en el desarrollo de las secuencias didácticas del concepto de *entropía* y de la *segunda ley de la termodinámica*.

a. La primera propuesta de Satoca se basa en una *interpretación molecular de la entropía*, haciendo referencia a lo expuesto por Boltzamn con base en la siguiente relación:

$$S = k \ln P,$$

en donde S es la entropía, k una constante y P la denominada probabilidad termodinámica. Aquí, el aumento de entropía proviene de una *redistribución espacial de las moléculas hacia estados más desordenados*. Frecuentemente, este *desorden puramente espacial* es aquel al que nos referimos en nuestras explicaciones y ello no es totalmente correcto, ya que esto solamente sería cierto considerando el problema en el *espacio de las fases*. Ahora bien, una explicación de este tipo deja completamente de lado el hecho de que un estado termodinámico está también definido por la *distribución energética* de las moléculas (especificando el número de moléculas con una energía determinada) y no sólo por su distribución espacial, tal y como queda establecido en la siguiente relación:

$$E = E(U, N, V),$$

lo que significa que, cuando un sistema evoluciona, sus moléculas pueden redistribuirse tanto *espacial como energéticamente*. De esta manera, la probabilidad termodinámica que aparece en la ecuación de Boltzmann hace evidente dos contribuciones: de un lado, *macroestados espaciales* y, del otro, *microestados energéticos*. En nuestras explicaciones en el aula nos olvidamos con frecuencia de estos últimos que, no obstante la dificultad que presenta su enseñanza, pueden ser introducidos bajo la siguiente interpretación debida a (Denbigh, 1971)¹⁹:

¹⁸ S.A.L. No. 19. Año 2. México. Febrero 2004. Agujeros negros en condensados de Bose-Einstein. Págs. 49-50.

¹⁹ Candel, R. y Satoca, V. Interpretación errónea del concepto de entropía. Enseñanza de las ciencias. 1984. Pág. 200.

Cuando un sistema aislado evoluciona con aumento de entropía, este aumento proviene de dos términos: de una entropía "configuracional" (S_c) y de una entropía "térmica" (S_t). Cada una de estas puede aumentar o disminuir, pero la entropía total aumenta, por lo que se puede escribir la relación siguiente:

$$\Delta S = \Delta S_c + \Delta S_t$$

De esta manera, el estudiante irá construyendo y ampliando el concepto de entropía a través de la realización de diversas actividades en las que haga uso de esta interpretación. Por ejemplo, en la *expansión adiabática reversible de un gas*²⁰, se tiene que el aumento de entropía es nulo:

$$\Delta S = 0,$$

dado que es un proceso reversible. En este caso, como el volumen del gas aumenta, "la distribución espacial se hace más amplia" (interpretará el estudiante), el término ΔS_c aumenta, por lo que la distribución energética de las moléculas ΔS_t irá disminuyendo en la misma proporción, lo que el estudiante leerá en "el descenso proporcional de la temperatura del gas", de manera que el estudiante podrá concluir que hay procesos en donde la re-ordenación espacial del sistema se traduce en una re-distribución energética: a mayor desorden espacial corresponde una disminución energética.

b. Otra de las interpretaciones propuestas por Satoca es la de considerar a la entropía como una *pérdida de información*. Si consideramos un sistema termodinámico sobre el que realizamos un conjunto de observaciones en un instante t_0 e inmediatamente después lo aislamos y aplicamos el segundo principio de la termodinámica, la información obtenida determina completamente el estado macroscópico del sistema pero no, desde luego, el estado molecular (microscópico). Sea pues N_0 el número de macroestados compatibles con el estado termodinámico inicial. A medida que transcurre el tiempo, si el estado inicial no era el de equilibrio, el segundo principio nos asegura el aumento de entropía, esto es, el aumento del número de macroestados compatibles con el estado del sistema, de acuerdo con la relación de Boltzmann. Por lo tanto, el valor final de macroestados N , siempre será mayor que N_0 . Por otra parte, las observaciones realizadas, pueden considerarse como información obtenida sobre el estado del sistema (*mensajes*). Se define la información que portan esos mensajes mediante una magnitud ligada a estos por una relación paralela a la de Boltzmann, que expresa una *medida de la falta de información*²¹. Podemos, por tanto, identificar el *aumento de entropía con una pérdida de información*. Podría argumentarse que, si nuestra información inicial del sistema fuese lo suficientemente detallada (conociendo la velocidad y posición de cada partícula con toda precisión), entonces de acuerdo con las leyes de la mecánica, hubiéramos podido predecir el estado futuro del sistema y no hubiera habido ninguna pérdida de información. Sin embargo, nunca puede obtenerse tan detallada información: en primer lugar hay una imposibilidad práctica de realizar medidas simultáneas de todas las partículas que componen el sistema y, en segundo lugar, hay una imposibilidad esencial de acuerdo con el *principio de indeterminación de Heisenberg*. Por lo tanto,

²⁰ Vea *Secuencia didáctica 25*.

²¹ Vea (Brillouin, 1959; Costa de Beauregard, 1963; Morowitz, 1968).

la base real del segundo principio resulta ser la imposibilidad de conocer de modo preciso el estado mecánico de un sistema de partículas.

c. La última interpretación del concepto de entropía sugerida por Satoca en el artículo bajo consideración y que, desde mi punto de vista, es la más adecuada para el enfoque que tiene este trabajo pues permite introducir el término entropía en forma sencilla y clara, consiste en relacionar la *entropía* con la *degradación de la energía* de la siguiente manera. Desde un punto de vista histórico, fueron precisamente las experiencias realizadas en torno a ciertos aspectos de la conversión de calor en trabajo las que condujeron al segundo principio de la termodinámica y que, de acuerdo con Kelvin, puede establecerse en los siguientes términos:

Es imposible construir una máquina térmica que, funcionando cíclicamente, convierta en trabajo toda la energía en forma de calor que recibe de una fuente térmica.

En otras palabras, aún cuando el trabajo pueda servir para incrementar cualquier tipo de energía de un sistema (térmica, potencial, cinética, magnética, etc.), *el calor posibilita solamente un aumento de energía térmica*. Existe, pues, una asimetría en los procesos de conversión de trabajo en calor y de calor en trabajo. Esta asimetría está reforzada por las posibilidades de convertir íntegramente el trabajo en calor y por la imposibilidad de llevar a cabo el proceso inverso en su totalidad o de un modo indefinido, por lo que se hace necesaria una *compensación (energía no útil)*, entendiéndose ésta como *la medida de la imposibilidad de convertir calor en trabajo de un modo indefinido en un proceso abierto*, o bien, como *la medida de la degradación inexorable de parte de la energía calorífica en un proceso cíclico de conversión de calor en trabajo*. Como señala Tijerina:

Todo sucede como si la cantidad total de energía en forma de calor que absorbe un sistema, a la hora de devolverla, cumplierse dos destinos diferentes; a saber, parte de la energía es devuelta en forma de trabajo y otra parte ("*Compensación*") necesariamente ha de ser cedida al refrigerante (sistema necesario para la conversión de calor en trabajo). La primera parte es la *energía útil*, ya que se convierte en trabajo. Por el contrario, la energía cedida en forma de calor al refrigerante es la *energía no útil*, ya que no está destinada a proporcionarnos trabajo. Este término de *energía no útil* está relacionado con la variación de entropía, por la relación:

$$U_{no\ útil} = W_{no\ útil} = T_0 \Delta S.$$

Podemos identificar el aumento de entropía de un sistema que evoluciona de forma aislada con el aumento de energía no útil.

En otras palabras, podemos interpretar el *aumento de entropía* con la *degradación de la energía* por lo que todos los procesos irreversibles (reales) siempre van acompañados de una *degradación de la energía*. Sucede pues, que la energía se conserva (primer principio), pero en lo referente a la producción de trabajo, cada vez está más degradada, esto es, se utiliza menos para producir trabajo. Es en este sentido que se deberá utilizar la degradación de la energía en la explicación de fenómenos de la vida diaria, como la *crisis energética* o el *calentamiento global*, ya que permitirá al alumno encontrar una conexión de la ciencia con problemas importantísimos de la vida cotidiana. Cabe mencionar que el carácter

asimétrico del segundo principio de la termodinámica trae como consecuencia la división de los procesos termodinámicos en *reversibles e irreversibles*.

4.3.1 Fase de información e introducción al concepto de entropía y a la segunda ley de la termodinámica.

Secuencia didáctica 21. *Investigación documental de la segunda ley de la termodinámica.*

Con esta secuencia, se pretende que el alumno aprenda a diferenciar entre un *proceso reversible* y uno *irreversible*, dando pauta para que conozca distintas formas de establecer la *segunda ley de la termodinámica*, así como los conceptos más importantes vinculados a ella. Para ello, se le pedirá al estudiante una investigación documental acerca de los siguientes conceptos, teniendo como texto base la lectura 4.4²².

- a. *Procesos reversibles e irreversibles.*
- b. *Energía útil.*
- c. *Entropía.*
- d. *Degradación de la energía (energía no útil).*
- e. *Segunda ley de la termodinámica (planteada en términos de: flujo de calor, entropía, principio de Carnot).*

Ahora, a partir de esta investigación se hará una discusión en el aula-laboratorio que tenga como eje las dos preguntas generadoras siguientes:

- ¿un barco podría bombear agua del mar, sacar de ella la energía calorífica para accionar sus hélices y arrojar al mar los bloques de hielo resultantes?,
- ¿un avión podría tomar aire, transformar su calor en energía cinética y lanzar un chorro frío por una tobera colocada en la parte posterior?,

a través de las cuales se irán aclarando y estableciendo los conceptos investigados por el estudiante de manera que, además, comiencen a diferenciarlos de sus preconcepciones y comiencen a ponerlos en el horizonte científico.

²² Cutnell, J. Jonson, K. Física. Ed Limusa. México. 1999. Págs. 414-430

Secuencia didáctica 22. Interpretación molecular de la entropía.

En esta secuencia didáctica, echaremos mano de un experimento virtual, a saber, del experimento denominado *Cálculo del trabajo, calor y variación de energía interna de una transformación*.²³ con el propósito de que el alumno comprenda que

"cuando un sistema aislado evoluciona con aumento de entropía, este aumento proviene de dos términos: de una entropía 'configuracional' (S_c) y de una entropía 'térmica' (S_t)".

En este caso, el alumno observará un aumento (disminución) de volumen con una disminución (aumento) de temperatura, durante la evolución del proceso adiabático de un gas ideal (monoatómico), esto es, se debe de cumplir: $\Delta S_c + \Delta S_t = 0$. La experiencia en sí es muy sencilla; sin embargo, el trasfondo teórico que supone, y que se hará evidente durante esta práctica, resulta ser de suma importancia para entender el concepto de entropía.

Hoja de trabajo 15. Expansión adiabática reversible de un gas.

Realiza el experimento virtual *Cálculo del trabajo, calor y variación de energía interna de una transformación*. con los datos que se proporcionan en la tabla. Completa la tabla y contesta las preguntas que se hacen a continuación.

- Selecciona gas monoatómico.
- Especifica el *estado inicial* de un proceso termodinámico introduciendo el valor de *1 atm* para la presión y los valores indicados en la tabla para el volumen y la temperatura.
- Elige una transformación adiabática, pulsando en el botón correspondiente situado en el panel izquierdo.
- Introduce el valor del volumen final, o de la temperatura final, según se indica en la tabla 10.
- Pulsa el botón titulado *Calcular*.

Tabla 10.

V_i (litros)	T_i (K)	V_f (litros)	T_f (K)
1	293	2	
2	293	5	
5	293	10	

²³ Franco García, A. *Física con ordenador. Curso interactivo de Física en Internet*. Física estadística y termodinámica. Procesos reversibles. : www.sc.ehu.es.

1	250		50
5	200		400
10	100		600

Como habrás observado, hemos hecho un estudio "virtual" del proceso adiabático de un gas ideal monoatómico partiendo siempre de una presión inicial igual 1 atm . De esta manera, nuestra intención es dirigir la atención sobre el cambio o evolución del volumen del gas, así como de su temperatura exclusivamente.

1. Con los datos calculados por la applet, completa la tabla 10.
2. ¿Qué observas cuando en un proceso adiabático el volumen evoluciona hacia un volumen más grande? ¿Qué ocurre con la evolución de la temperatura en este caso? Explica.
3. ¿Qué observas cuando en un proceso adiabático el volumen evoluciona hacia un volumen más pequeño? ¿Qué ocurre con la evolución de la temperatura en este caso? Explica.
4. Considerando lo anterior y el hecho de que en un proceso reversible el cambio $\Delta S = 0$, haz una interpretación de la siguiente relación:

$$\Delta S = \Delta S_V + \Delta S_T,$$

en donde ΔS_V es la evolución del volumen del gas, mientras que ΔS_T es la evolución o cambio de su temperatura.

Secuencia didáctica 23. Degradación de la energía.

En esta secuencia didáctica, se pondrá de manifiesto que el aumento de la *entropía* en un sistema termodinámico corresponde a la *degradación de la energía*, es decir, a un aumento de la *energía no útil*, en el sentido de que no todo el calor proporcionado por alguna fuente se transforma en *trabajo*. Para ello retomaremos la secuencia didáctica 6, del capítulo 2, pues ahora el alumno llevará a cabo una actividad parecida pero ahora dirigida a una central termonuclear. Precisando, el alumno realizará un diagrama sobre las transformaciones de energía que se dan en una central termonuclear, subrayando en cada una de sus etapas la energía útil (que se convierte en *trabajo mecánico*) y la no útil (que se pierde por disipación del calor en el medio y, por ende, no realiza trabajo).

4.3.2 Fase de ampliación y aplicación de la segunda ley de la termodinámica.

Secuencia didáctica 24. Cálculo de la entropía de un sistema.

En esta secuencia el alumno pondrá en juego su construcción conceptual de la segunda ley de la termodinámica, así como de los conceptos relacionados con ella. Para ello el alumno resolverá la siguiente hoja de trabajo, individualmente y bajo la asesoría del profesor.

Hoja de trabajo 15.

En la siguiente figura se muestra que 1200 J de energía calorífica fluyen espontáneamente de un depósito caliente a 650 K a un depósito frío a 350 K . Determina el cambio de entropía del universo para este proceso irreversible.

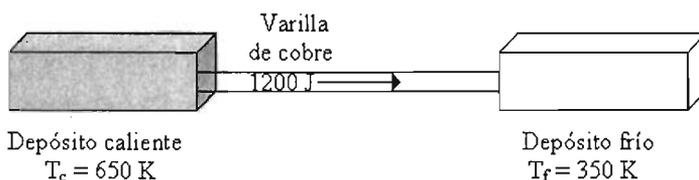


Figura 10.

El flujo de calor de lo caliente a lo frío es irreversible, por lo que la relación:

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

se aplica a un proceso hipotético en el que los 1200 J de energía se toman reversiblemente del depósito caliente, y se agregan de manera reversible del depósito frío. El cambio de entropía total del universo es la suma algebraica de los cambios de entropía de cada depósito.

Tarea para el alumno. En tu cuaderno de trabajo realiza lo siguiente.

1. Enuncie la segunda ley en términos de la entropía.
2. Determine la entropía del depósito caliente.
3. Determine la entropía del depósito frío.
4. ¿Cuál es el cambio de la entropía del universo?
5. ¿Qué significado tiene que el cambio de entropía sea mayor que cero?

- ✓ Haciendo referencia a las actividades anteriores es conveniente mencionarle al alumno lo siguiente: ya que la entropía del universo siempre aumenta ($\Delta S_{\text{universo}} > 0$) en un proceso irreversible, la cantidad de *energía no útil*, en el sentido que no efectúa trabajo también crece. Por tanto, en el futuro es factible que todo la *energía se degrade* hasta el punto en que no sea posible utilizar nada de ella para efectuar trabajo. Tal suceso se denomina “*muerte térmica*” del universo, que llegará cuando el flujo de calor irreversible, de las partes calientes a las partes frías del universo, se haya presentado hasta tal grado que todas las regiones tengan una temperatura común. En esta condición no existirán los depósitos caliente y frío que deben tener las máquinas para producir trabajo.

4.3.3 Fase de información e introducción a los conceptos de la máquina térmica.

Con esta fase, y con la siguiente, se espera que el estudiante realice lo siguiente.

- i. Enunciar el segundo principio de la termodinámica en términos de la máquina térmica.
- ii. Describir las etapas que conforman a un motor de combustión externa, así como a uno de combustión interna.
- iii. Representar en un diagrama PV los ciclos de Carnot, de Otto y de Stirling.
- iv. Describir las diferencias entre una máquina térmica y un frigorífico.
- v. Calcular la eficiencia de una máquina térmica para un ciclo determinado.

Secuencia didáctica 25. *Investigación documental acerca de las máquinas térmicas y conceptos correlacionados.*

En esta secuencia, el alumno hará una investigación documental de los siguientes conceptos.

- Máquina térmica y el segundo principio de la termodinámica.
- Eficiencia de una máquina térmica.
- Ciclo de Carnot.
- Eficiencia de una máquina de Carnot.

Con los resultados de esta investigación, se llevará a cabo una discusión grupal en torno a la pregunta siguiente: ¿una máquina puede lograr una eficiencia del 100%?, con el propósito de introducir estos conceptos y, además, de ampliar el significado de la segunda ley de la termodinámica.

4.3.4 Fase de ampliación y aplicación de los conceptos de la máquina térmica.

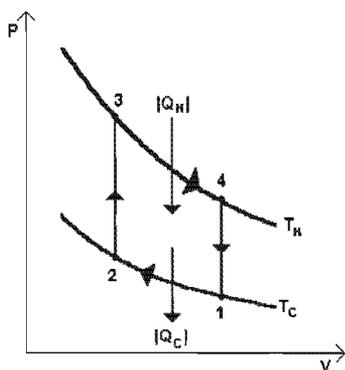
Secuencia didáctica 26. Ciclos de una máquina térmica.

Se pedirá que el alumno, una vez organizado en equipos, realice la lectura 4.5²⁴ con la finalidad de que describa las etapas que conforman un motor de combustión externa; en particular el *motor Stirling* y la *máquina de vapor*. Además, deberá dar cuenta de los motores de combustión interna, específicamente, del *motor de gasolina* y del *motor diesel*. Por último, en un diagrama PV , como el siguiente, representará el ciclo de un motor Stirling y de un motor de gasolina (ciclo Otto). Para ello, el alumno deberá realizar la siguiente hoja de trabajo.

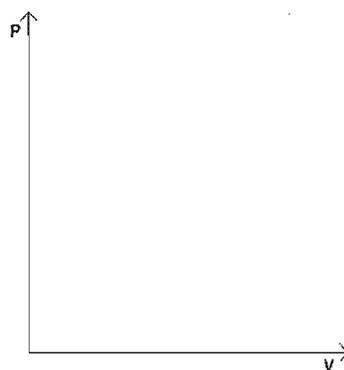
Hoja de trabajo 17. Ciclos de una máquina térmica.

Haz la lectura 4.5 y realiza las siguientes actividades.

1. Describe las etapas de los motores de combustión externa siguientes:
 - a. motor Stirling,
 - b. máquina de vapor.
2. Describe los siguientes motores de combustión interna:
 - a. motor de gasolina,
 - b. motor diesel.
3. En un diagrama PV , como el siguiente, representa el ciclo de un motor Stirling y de un motor de gasolina (ciclo Otto).



(a). Ciclo ideal de un motor Stirling.



(b). Ciclo Otto.

²⁴ Zemansky, M. *Calor y termodinámica*. Aguilar. México. 1973. Págs. 169-189.

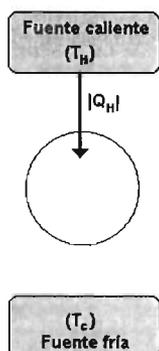
Secuencia didáctica complementaria 27. Frigorífico.

Con la actividad anterior el alumno ya estará en condiciones de representar simbólicamente una máquina térmica y un frigorífico, por lo que el deberá poder realizar la siguiente hoja de trabajo. De esta manera, esta secuencia didáctica es una recapitulación conceptual.

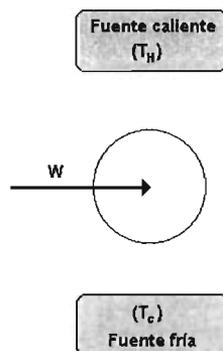
Hoja de trabajo 17. Representación esquemática de una máquina térmica.

En tu cuaderno de trabajo dibuja los siguientes diagramas y realiza lo siguiente.

1. Completa correctamente cada diagrama.
2. Describe las diferencias entre una máquina térmica y un frigorífico.
3. Investiga el enunciado de la segunda ley de la termodinámica dado por Lord Kelvin.



(a). Máquina térmica.



(b). Frigorífico.

Secuencia didáctica 28. Eficiencia térmica.

Esta secuencia didáctica consta de las dos partes siguientes.

(a). El alumno, junto con el maestro, resolverán un problema para calcular la *eficiencia térmica* para un *ciclo termodinámico*. Esto lo llevará a cabo realizando la siguiente hoja de trabajo.

Hoja de trabajo 18. Cálculo de la eficiencia térmica (1a. parte).

Problema A.

Una máquina térmica utiliza un gas ideal monoatómico como sustancia de trabajo realizando el ciclo mostrado en la figura 11. Este ciclo consiste en quintuplicar la presión *isocóricamente* (volumen constante) de C a A, quintuplicar el volumen *isotérmicamente* (temperatura constante) de A a B, y comprimir *isobáricamente* (presión constante) a la quinta parte del volumen de B a C. Encuentre la eficiencia de la máquina.

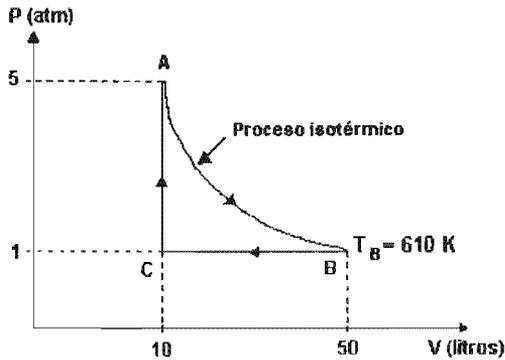


Figura 11. Ciclo de una máquina térmica.

Solución.

La eficiencia de la máquina está dada por la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = \frac{W}{Q_H}$$

En esta expresión, W es el *trabajo total* efectuado por la máquina, mientras que Q_H es el *calor* suministrado a la máquina. De esta manera, para obtener la *eficiencia* primero se debe calcular el *trabajo* que se efectúa durante cada una de las tres partes del ciclo, con el fin de calcular el *trabajo total* a partir de la suma algebraica de los tres valores individuales. Esto lo hacemos de la siguiente manera.

Paso 1. De $C \rightarrow A$ el volumen permanece constante en la gráfica presión-volumen, por lo que el trabajo es cero, como cualquier proceso isocórico ($W_{AC} = 0$). De $A \rightarrow B$ el gas se expande isotérmicamente a la temperatura T_A , de un volumen inicial $V_i = 10 \text{ L}$, a un volumen final $V_f = 50 \text{ L}$. Por consiguiente, el trabajo positivo de expansión es el siguiente:

$$W_{AB} = nRT_B \ln(V_f/V_i) = (1 \text{ mol})(8.31 \text{ J/molK})(610 \text{ K})\ln(50 \text{ lt}/10 \text{ lt}) = 8113 \text{ J}$$

De $B \rightarrow C$ el gas es comprimido isobáricamente a la presión de 1 atm , por lo que el trabajo

negativo de compresión es:

$$W_{BC} = P_i(V_f - V_i) = (1 \text{ atm})(50 \text{ lt} - 10 \text{ lt}) = (1.01 \times 10^5 \text{ N/m}^2)(40 \times 10^{-3} \text{ m}^3) = 4040 \text{ J}$$

De $A \rightarrow B$ la temperatura permanece constante a T_A mientras el gas efectúa trabajo cuando se expande. En esta condición isotérmica, la energía calorífica que fluye hacia el gas ideal es igual al trabajo realizado por el gas, como está establecido en la siguiente fórmula:

$$Q_{AB} = W_{AB} = nRT \ln(V_f / V_i) = 8113 \text{ J.}$$

De $B \rightarrow C$ El volumen disminuye a presión constante, lo que significa, según la ley del gas ideal, que la temperatura desciende de T_B a T_C . Así, el calor *fluye hacia fuera del sistema* de $B \rightarrow C$. Por tanto, solamente es necesario combinar el calor de los pasos $C \rightarrow A$ y $A \rightarrow B$ para obtener el calor total que entra Q_H .

$$Q_H = Q_{CA} + Q_{AB} = 6082.9 \text{ J} + 8113 \text{ J} = 14.2 \text{ KJ.}$$

Entonces la eficiencia es,

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{trabajo efectuado}}{\text{calor de entrada}} = \frac{W}{Q_H} = \frac{4.10 \text{ KJ}}{14.2 \text{ KJ}} = .288 = 28.8\%$$

Resumen de cuestiones importante. Hay tres pasos para calcular directamente la eficiencia de una máquina térmica a partir de su gráfica presión-volumen. Primero, determinar el trabajo asociado con cada segmento del ciclo, y luego, sumar algebraicamente todas las contribuciones para obtener el trabajo total. Segundo, calcular el calor asociado con cada segmento del ciclo para el cual el calor fluye hacia el sistema, y sumar todas las contribuciones para obtener el calor total que entra. En uno o más de tales segmentos del ciclo, el calor puede fluir fuera del sistema. Por último, al dividir el trabajo total entre el calor total que entra para determinar la eficiencia, aprovechar cualesquiera de las relaciones entre la presión, el volumen y la temperatura en varios puntos del ciclo. Para un gas ideal, $PV = nRT$ y, si la expansión o la compresión ocurre *adiabáticamente*.

(b). Con base en la actividad anterior, el estudiante ahora deberá resolver el siguiente problema, sea de manera individual o bien en equipo.

Hoja de trabajo 19. Cálculo de la eficiencia térmica (2a. parte).

Tarea para el alumno. En tu cuaderno de trabajo resuelve el siguiente problema.

En la figura 12 está representado un ciclo de una máquina térmica (el rectángulo $ABCD$). La sustancia de trabajo de la máquina es un gas ideal monoatómico y el ciclo incluye un aumento isocórico de la presión en un factor de cuatro de A a B , una expansión isobárica

del volumen en un factor de cuatro de B a C , un descenso isocórico de la presión en un factor de cuatro de C a D y una compresión isobárica del volumen en un factor de cuatro de D a A . ¿Cuál es la eficiencia de ésta máquina térmica?

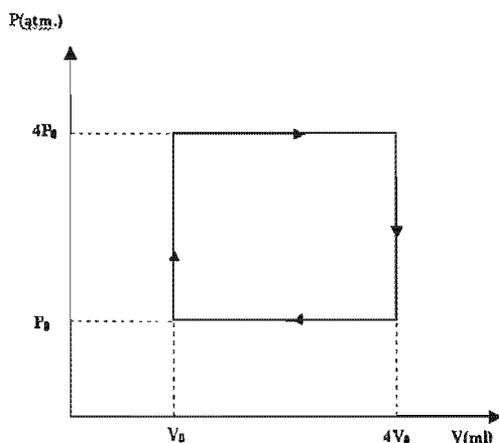


Figura 12. Ciclo de una máquina térmica.

Secuencia didáctica 29. Eficiencia de un automóvil.

Para darle una mayor utilidad y sentido a los conceptos hasta aquí desarrollados y que, además, tengan un significado más cercano a la realidad del estudiante, se usarán los datos de prueba de diferentes vehículos proporcionados en la revista *AUTOPLUS*, con el propósito de calcular su eficiencia tanto en carretera como en la ciudad. Para ello, el profesor hará los cálculos para el vehículo cuyos datos aparecen en el primer renglón de la tabla, dejando que el estudiante investigue los datos para otros tres automóviles y determine su eficiencia en esos dos situaciones.

Hoja de trabajo 20. eficiencia de un automóvil.

Tarea para el estudiante. Realiza lo siguiente en tu cuaderno de trabajo.

1. Toma nota de la manera en que el profesor calcula la eficiencia del Chrysler 300M, tanto en la ciudad, como en la carretera.
2. Investiga en la revista *AUTOPLUS* (o en otra) los datos necesarios para calcular la eficiencia de un automóvil en ciudad y en carretera y anótalos en la tabla.
3. Calcula la eficiencia para cada uno de los automóviles de los que has tomado sus datos.

Tabla 11. Datos proporcionados por el fabricante para calcular la eficiencia de un automóvil.

Marca de carro	Consumo (Km/L)		V_{max} (Km/h)	P_{media} (P_m) (Hp)
	Ciudad	Carretera		
Chrysler 300M	7.5	10.9	220	127.5

Tabla 12. Resultados de la eficiencia de un automóvil.

Energía de entrada E_i (J/m)		P_{media} (P_m) (J/s)	V_{max} (m/s)	Energía de salida E_o (J/m)	Eficiencia del motor	
Ciudad	Carretera				Ciudad	Carretera
4.8×10^3	3.3×10^3	95 076.8	61.1	1 556.0	32.4 %	47.1 %

NOTA. En investigaciones realizadas por Fowler²⁵, encontró que la eficiencia del motor para convertir la energía calorífica de la gasolina a energía mecánica de movimiento, estaba el valor entre 25 % hasta 30 % en la ciudad.

Secuencia didáctica complementaria 30. Entropía y eficiencia.

Con esta secuencia se hace una recapitulación de las construcciones conceptuales de los estudiantes acerca de los conceptos de entropía y eficiencia.

²⁵ Fowler J., Energy-Environment Source Booke (NSTA, Washington, DC. 1975), p148

Hoja de trabajo 22. Entropía y eficiencia.

Tarea para el alumno. En tu cuaderno de trabajo contesta las siguientes preguntas.

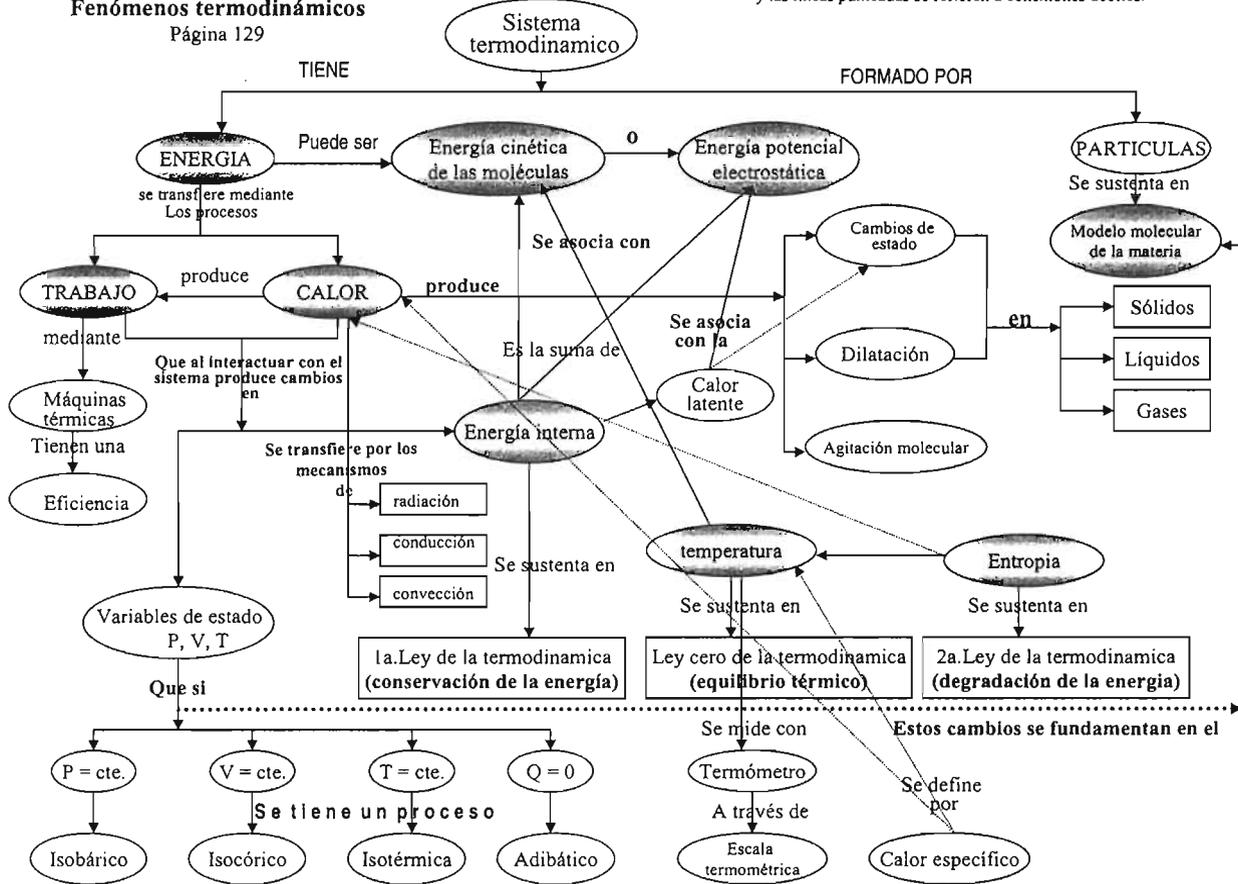
1. La segunda ley de la termodinámica:
 - (a) excluye las máquinas de movimiento perpetuo,
 - (b) se aplica solo cuando la primera ley es satisfecha,
 - (c) da una ecuación de estado para un sistema,
 - (d) no se aplica a un sistema cerrado.
2. Por lo general en un proceso natural, el cambio en la entropía de un sistema es:
(a) positivo, (b) negativo, (c) cero, (d) el mismo que el cambio de energía interna.
3. ¿Cuál proceso tiene el mayor cambio de entropía: 0.75 kg de agua al cambiar a hielo a 0 °C o 0.25 kg de agua al cambiar a vapor a 100 °C ?. Comenta con tus compañeros sobre los cambios de entropía e términos del orden y desorden.
4. En el congelador de un refrigerador de Carnot se colocan dos kilogramos de agua a 0 °C. La temperatura del congelador es -15 °C y la temperatura de la cocina es 27 °C. Si el costo de la energía eléctrica es de 60 centavos por KWH, ¿cuánto cuesta hacer dos kilogramos de hielo a 0 °C?
5. El motor de un automóvil tiene una eficiencia de 22% y produce 2510 J de trabajo. a) ¿Cuánto calor descarga el motor?, b) ¿cuál es el destino de éste?
6. El calor que entra a una máquina es 5.75 kcal y el calor que se expulsa es 1.40 kcal. Encuentra, a) el trabajo que efectúa la máquina y, b) la eficiencia de la máquina.
7. La eficiencia de una máquina es 71% y produce 4800 J de trabajo. Determine, a) el calor que entra, b) el calor que se expulsa.
8. Una máquina de vapor realiza 8.5×10^3 J de trabajo útil cada ciclo, pero pierde 5.5×10^2 J por la fricción y elimina 2.0 Kcal de energía calorífica. ¿Cuál es la eficiencia?

Mapa conceptual de los Fenómenos termodinámicos

Página 129

ANEXO I

Las líneas solidas representan conexiones fuertes entre conceptos y las líneas punteadas se refieren a conexiones débiles.



ANEXO II: Programa operativo de fenómenos termodinámicos.

Conceptos	Preguntas clave
<p>Modelo molecular de la materia, en: a) sólidos, b) líquidos y c) gases.</p> <p>Gases ideales.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conceptos termodinámicos importantes • Variables de estado: P, V y T <p>Temperatura y energía interna.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ley cero de la termodinámica. • Energía interna. • Relación entre las variables que caracterizan a un sistema termodinámico (Boyle, Gay-Lussac y ecuación de estado de los gases ideales). • Interpretación microscópica de las variables de estado. <p>Calor y temperatura.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diferencia entre calor y temperatura y energía interna. • Calorimetría. • Formas como se transfiere el calor. • Cambios de fase • Calor específico. <p>Calor y trabajo, como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Variables de interacción en procesos de transferencia de energía: • Primera ley de la termodinámica. <ul style="list-style-type: none"> ○ Conservación de la energía ○ Interacción térmica, calor(Q) ○ Interacción mecánica, Trabajo(W). • Procesos termodinámicos: isobáricos, isotérmicos, isocórico y adiabático. • Los cambios producidos por el calor y el trabajo pueden: <ul style="list-style-type: none"> ○ describirse cualitativa y cuantitativamente a partir de las variables termodinámicas y ○ explicarse a partir de la teoría cinética de los gases. <p>2ª. Ley de la termodinámica.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Concepto de entropía, • Maquinas térmicas. • Eficiencia energética. 	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son las propiedades que distinguen a los gases, líquidos y sólidos uno de otro? • ¿Cómo se puede mostrar que el calor es una forma de energía? • ¿Qué sucede a nivel molecular en un cambio de fase? • ¿Qué ejemplos pueden mostrar que el calor puede transferirse de diferente forma? • ¿Qué variables pueden cuantificar los cambios que produce el calor en diferentes sistemas. • ¿Qué es la energía interna de un sistema? • ¿Hay alguna relación entre trabajo, calor y energía interna? ¿Cuál es? • ¿Cómo puede cuantificarse la temperatura? • ¿Cómo explicarías la diferencia entre calor, temperatura y energía interna, a través de la teoría cinética? • ¿Cómo puedes representar la temperatura de un cuerpo en diferentes escalas? • ¿Qué factores pueden modificar la energía interna de un sistema al interactuar con su entorno?. • ¿Es posible convertir todo el calor en trabajo? • ¿Qué factores determinan la eficiencia de las maquinas térmicas?. • Al utilizar las maquinas térmicas ¿toda la energía que suministra la fuente puede transformarse en trabajo?. ¿Esta energía se conserva o parte se degrada? • ¿A qué se debe el calentamiento global del planeta?. <p>Se deberá por otro lado hacer lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Planear y realizar actividades experimentales para determinar las relaciones entre las variables que caracterizan al sistema termodinámico • Clasificar los procesos que experimentan algunos sistemas en: isotérmicos, isobáricos isocóricos y adiabáticos

ANEXO III. Test para ubicar los conceptos previos de termodinámica.

El siguiente conjunto de preguntas permiten ubicar las ideas previas de cada estudiante con respecto a los conceptos fundamentales de la termodinámica, a saber, acerca de los conceptos de temperatura, calor, energía y trabajo.

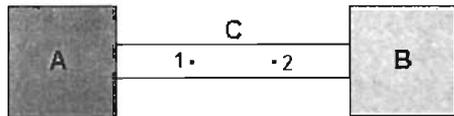
TEST

Subraya la respuesta que consideres más adecuada.

1. Si trato de imaginarme cuándo o dónde estaría presente el calor, pienso:
 - a. en cualquier cuerpo, ya que todo cuerpo posee calor;
 - b. solamente en aquellos cuerpos que están "calientes";
 - c. en situaciones en las que siempre ocurre transferencia de energía de un cuerpo a otro.
2. Según yo entiendo, el calor es:
 - a. energía en movimiento (o cinética) de las moléculas;
 - b. energía que se pone en juego sólo cuando hay una diferencia de temperatura;
 - c. la energía contenida en un cuerpo.
3. En el interior de una habitación que no haya sido calentada o enfriada durante varios días:
 - a. la temperatura de los objetos de metal es inferior a la de los objetos de madera;
 - b. la temperatura de los objetos es la misma;
 - c. ningún objeto tiene la misma temperatura que otro.
4. El agua (a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$) que se forma cuando se funde un cubito de hielo (también a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$), contiene:
 - a. más energía que el hielo;
 - b. menos energía que el hielo;
 - c. igual cantidad de energía que el hielo.
5. Se coloca un cubito de hielo a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un recipiente con agua que también está a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Entonces:
 - a. el agua cede calor al hielo;
 - b. ni el agua ni el hielo tienen calor porque están a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 - c. ninguno de los dos puede ceder calor al otro.
6. Si pienso en dos bolitas (esferas) idénticas, una que está en un horno caliente y la otra que está en una heladera. ¿qué diferencia hay entre ellas si las saco al mismo tiempo del horno y de la heladera?
 - a. contienen distinta cantidad de calor;
 - b. tienen distinta temperatura;
 - c. una esfera contiene calor y la otra no.
7. Si coloco un vaso con agua un cubito de hielo a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y en otro vaso idéntico, con la misma cantidad de agua, tres cubitos de hielo a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, ¿en qué situación el agua se enfria más?
 - a. en el vaso donde se colocan tres cubitos;

- b. en el vaso donde se coloca un cubito;
 - c. se enfría igual en los dos vasos.
8. Dos esferas del mismo material pero de diferentes masas quedan durante mucho tiempo en un mismo horno. Al sacarlas, se les pone inmediatamente en contacto. En ese caso:
- a. pasa calor de la esfera de mayor masa a la de menor masa;
 - b. pasa calor de la esfera de menor masa a la de mayor masa;
 - c. ninguna de las dos esferas cede calor a la otra.
9. Las mismas esferas anteriores se dejan ahora en una heladera durante mucho tiempo. Luego, igual que antes, se las saca y se les pone inmediatamente en contacto. En esta nueva situación:
- a. ninguna de las esferas posee calor;
 - b. pasa calor de la esfera de mayor masa a la de menor masa;
 - c. ninguna de las esferas puede ceder calor a la otra.
10. Cuando una porción de agua que está hirviendo pasa al estado de vapor, cambia:
- a. su energía interna;
 - b. el calor que contiene;
 - c. su temperatura.
11. Cuando se transporta calor desde una punta a la otra de una barra metálica, pienso que lo más correcto sería decir que:
- a. el calor pasa a través de la barra, casi como si fuera un líquido;
 - b. se transporta energía por el movimiento desordenado de átomos o moléculas;
 - c. la energía pasa través pero no pasa nada con los átomos ni con las moléculas.
12. Según lo que yo pienso, la energía interna de un cuerpo tendría que ver con:
- a. el calor que posee el cuerpo;
 - b. la energía de sus átomos y moléculas;
 - c. la masa que posee.
13. Si coloco en un horno dos vaso con iguales cantidades de agua y de leche, podré observar que el tiempo necesario para elevar la temperatura de 1 gramo de agua en 1 °C es mayor que el tiempo para que pase lo mismo con la leche. Esto quiere decir que, comparada con la leche, el agua acumula:
- a. la misma cantidad de energía que la leche;
 - b. más energía;
 - c. menos energía.
14. Si miro la figura y pienso que el cuerpo A está a 60 °C y el cuerpo B está a 10 °C, y además sé que el cuerpo C (que está en contacto con A Y B) es un buen conductor de calor (por ejemplo un metal), ¿cómo serán las temperaturas en los puntos marcados con los números 1 y 2?

- a. $T_1 = T_2$;
- b. $T_1 > T_2$;
- c. $T_1 < T_2$.



15. En el interior de un congelador que ésta a -20 °C se colocan algunos objetos de metal y otros de plástico. Después de varios días se podría afirmar que la temperatura de los objetos de plástico es:
- a. mayor que la temperatura de los objetos de metal;
 - b. menor que la temperatura de los objetos de metal;
 - c. igual que la temperatura de los objetos de metal.

TABLA : Procesos termodinámicos elementales para un gas ideal

Tipo de proceso	Definición	Expresión para:			
		Q (Interacción térmica)	W (interacción mecánica)	ΔU (energía interna)	ΔT (cambio de temperatura)
<i>Cíclico</i>	es un proceso que se origina y termina en el mismo estado.	$Q = W$	$W = Q$	$\Delta U = 0$	$\Delta T = 0$
<i>Adiabático</i>	Es aquel donde no hay transferencia de calor (medio-sistema)	$Q = 0$	$W = 3/2nR(T_f - T_i)$	$\Delta U = 3/2nR(T_f - T_i)$	$\Delta T \neq 0$
<i>Isotérmico</i>	Es aquel que ocurre a temperatura constante	$Q = nRT \ln(V_f/V_i)$	$W = nRT \ln(V_f/V_i)$	$\Delta U = 0$	$\Delta T = 0$
<i>Isobárico</i>	Es aquel que ocurre a presión constante	$Q = c_p n(T_f - T_i)$	$W = P(V_f - V_i)$	$\Delta U = Q - W$	$\Delta T \neq 0$
<i>Isocórico</i>	Es un proceso que ocurre a volumen constante	$Q = c_v n(T_f - T_i)$	$W = 0$	$\Delta U = Q - W$	$\Delta T \neq 0$
<i>Cuasiestático</i>	Ocurre con la suficiente lentitud como para que una presión y una temperatura existan en todas las regiones del sistema todo el tiempo.				

Convención de signos: El trabajo efectuado *por* el sistema se le asigna un valor positivo y al trabajo efectuado *sobre* el sistema se le asigna un valor negativo. También por convención, el calor *absorbido* por el sistema es positivo y el calor *cedido* por el sistema es negativo.

R: constante universal de los gases ($R = 8.31 \text{ J/mol K}$ o 1.99 cal/ mol K)

c_p :calor específico a presión constante (para un gas ideal monoatómico, $c_p = 5/2 R = 20.8 \text{ J/mol K}$ o 4.9 cal/mol K)

c_v : calor específico a volumen constante (para un gas ideal monoatómico, $c_v = 3/2 R = 12.5 \text{ J/mol K}$ o 3.0 cal/mol K)

5 CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Este trabajo ha sido fruto de algunas de las inquietudes que me han surgido como profesor de física de bachillerato, siendo una de las principales mi preocupación por hacerles accesibles y claros a los estudiantes los conceptos básicos de la física que en este nivel educativo se tienen por objetivos. A partir de esto, comencé a investigar diversas cuestiones relacionadas con las ideas, métodos y conceptos físicos que son puestos en juego en este acto educativo, mientras que, por otra parte, comencé a hurgar acerca de los diferentes factores que intervienen en la enseñanza de las ciencias y, específicamente, lo relacionado con la enseñanza de la física en el bachillerato. Fue de esta manera que años atrás tuve contacto con las principales ideas y metodología del constructivismo, en particular, con la Teoría del Aprendizaje Significativo de D. Ausubel, y a partir de ahí emprendí la tarea de llevar a cabo la enseñanza de la física bajo este punto de vista.

De esta manera, he llegado a plantear la tesis del presente trabajo, a saber, que:¹

Una enseñanza de la física sustentada en la Teoría del aprendizaje significativo de David Ausubel, permite que los estudiantes de bachillerato construyan un conocimiento físico sólido y estable, construcciones conceptuales que les permiten, además, poner ese conocimiento al servicio de sus propios intereses.

así como el argumento que la defiende:

la propuesta constructivista presentada para la enseñanza-aprendizaje de los temas de Mecánica y Termodinámica del bachillerato, en donde el concepto de energía, junto a su ley de conservación, constituyen su marco referencial.

Conclusiones.

Esta tesis, que he venido constatando una y otra vez durante mis últimos años de práctica docente con mis estudiantes, permite concluir lo siguiente.

- El enfoque constructivista aventaja, y con mucho, a los enfoques tradicionales de la enseñanza de la física desde el mismo momento en que asume al aprendiz como el actor principal de su conocimiento, a saber, desde su propio *lenguaje*.
- Está ampliamente aceptado que los conocimientos científicos deben tener una estructura coherente, global y estable, cuestión que se logra eficientemente a través de la

¹ Cf. Página vi.

diferenciación progresiva y reconciliación integradora dadas en la construcción conceptual o re-significación llevadas a cabo a través de *aprendizajes significativos*.

- Los conceptos físicos que se van adquiriendo bajo este enfoque, pueden articularse de diferentes maneras, en concordancia plena de los intereses propios de los aprendices. En particular, y como ha quedado expuesto a lo largo de este trabajo, al emplear el concepto de energía como hilo conductor en torno al cual hemos estructurado los conceptos mecánicos y termodinámicos básicos, hemos colocado a los estudiantes ante situaciones en las que se han puesto en relieve los *atributos de la energía* (transferencia y transformación, conservación y degradación, además de su cuantificación) en muchos de los procesos reales en que se presentan cotidianamente (nutrición, centrales eléctricas, electrodomésticos, etcétera), colocando a los estudiantes en situación de poder echar mano de esos conceptos, ideas y métodos para sus propios fines.
- Este enfoque permite tratar al mismo nivel el principio de conservación de la energía y el concepto de degradación. Y esto en mi opinión da lugar a que el alumno alcance una comprensión más acorde con el entorno actual. En efecto, al destacar el concepto de entropía, queda completamente claro que el concepto de entropía pone en relieve la necesidad urgente del diseño y aprovechamiento de nuevas fuentes de energía no renovables. Petróleo, contaminación ambiental, ecología (uso de presas que destruyen los ecosistemas en torno a los cuales se construyen).
- A medida que se ha llevado a cabo este trabajo en el aula, he venido comprobando, una y otra vez, que la enseñanza de las ideas, conceptos y métodos físicos, partiendo de contextos lo más cercanamente posibles a la realidad de los aprendices, se logra una mayor motivación, participación y comprensión de los mismos, logrando con ello el propósito fundamental de la enseñanza de la física, a saber, la modificación de sus esquemas conceptuales en otros mucho más cercanos al pensamiento científico contemporáneo.
- Cabe agregar que, como profesor, este enfoque me ha llevado a profundizar en el conocimiento físico, puesto que para poder enseñar las cuestiones físicas “básicas” de esta manera, se hace necesaria una actualización y profundización permanente del conocimiento físico actual.
- El papel del profesor cambia sustancialmente, pues deja de imponer la enseñanza o el conocimiento convirtiéndose ahora en un *facilitador del aprendizaje*.
- Finalmente, hay que destacar que este enfoque de abordar la enseñanza de la física no es la panacea, sino sólo constituye un esfuerzo serio por mejorar la calidad de la enseñanza de la física en el bachillerato.

Perspectivas.

Estas conclusiones se complementan con las siguientes perspectivas.

- No sólo los temas de Mecánica y Termodinámica puede ser abordados a través del concepto de energía. Este concepto, como ya he señalado, es un concepto general, a la vez que un principio heurístico, de todo el conocimiento físico, por lo que con él se pueden estructurar los demás contenidos temáticos de física del bachillerato.
 - Para los temas de Electromagnetismo se puede tomar como concepto ancla el de corriente eléctrica.
 - Para los temas del Movimiento ondulatorio, se puede tomar como concepto ancla a los movimientos telúricos o temblores.
- Llevar a cabo investigaciones más puntuales acerca de las siguientes cuestiones estrechamente relacionadas con nuestra forma de ver el mundo y con la manera en que se ve desde la física contemporánea:
 - Elaborar investigaciones conducentes a identificar las nociones, creencias e ideas previas relacionadas con la temática de la física del bachillerato.
 - Determinar cuáles son los enseres, herramientas o, en una palabra, los *útiles* más comunes o generales que los estudiantes tienen en su entorno, o que pueden integrar al mismo, y que están directamente vinculados con los temas de física contemplados en el bachillerato.
- Evaluar las secuencias didácticas aquí presentadas, identificando hasta donde se alcanzan los cambios conceptuales y semánticos pretendidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arons, A.

Developing the Energy Concepts in Introductory Physics. The Physics Teacher. 27(7). 1989.

Newtons' Laws of Motion and the 17th Century Laws Impact. Am. J. Phys. 35(4). 1964.

Thinking, Reasoning and Understanding in Introductory Physics Courses. The Physics Teacher. 19(3). 1981.

Bialko, A. *Nuestro planeta tierra.* Ed. Mir. Moscú. 1994.

Borese, A. et al. *Investigación sobre las concepciones de los estudiantes acerca de los estados de agregación y los cambios de estado.* Enseñanza de las ciencias. 14(1). 1996.

Bauman, R.

Physics that Textbook Writes Usually Get Wrong, Work I. The Physics Teacher. 30(5). 1992.

Physics that Textbook Writes Usually Get Wrong, Work II: Heat and Energy. The Physics Teacher. 30(8). 1992.

Baylin, M. *Carnot and the Universal Heat Death.* Am. J. Phys. 53(11). 1985.

Candell, R., et al. *Interpretación errónea del concepto de entropía.* Enseñanza de las ciencias. 2(3). 1984.

Cárdenas, M., et al. *Explicaciones de procesos termodinámicos a partir del modelo corpuscular: una propuesta didáctica.* Enseñanza de las ciencias. 14(3). 1996.

Carlton, K. *Teaching about Heat and Temperature.* Physics Education. 35(2). 2000.

Carmona A, I. *Aerodinámica y actuaciones del avión.* Paraninfo. España. 1999.

Cutnell, J., et al. *Física.* Ed Limusa, México, 1999.

Deacon, C. *Error Analysis the Introductory Physics Laboratory.* Physics Teacher. 30(9). 1992.

Domínguez, C., et al. *Las partículas de la materia y su utilización en el campo conceptual de calor y temperatura: un estudio transversal.* Enseñanza de las ciencias. 16(3). 1998.

Driver, R.

-et al. *"Student's of the Principle of Energy Conservation in Problem Situations".* Physics Education, 3(3), 1985.

-*Enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias.* Enseñanza de las ciencias. 6(2). 1988.

Duit, R, "Learning the Energy Concept in School, Empirical Results from The Philippines and West Germany", *Physics Education*, 1984, Vol. 19.

- Enciclopedia de ciencia y tecnología*. Tomo I, 3a edición. McGraw-Hill. México. 1998.
- Feynman, R. P. *Lectures on Physics*. Fondo Educativo Interamericano. Bilingüe, Vol. 1. U. S. A. 1971.
- Fowler, J., *Energy-Environment Source Booke*. NSTA, Washington, DC. 1975.
- Franco García, A. *Física con ordenador. Curso Interactivo de Física en Internet*. Dpto. Física Aplicada I. Universidad del País Vasco. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial. <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/default.htm>
- Galagovsky, L. *Redes conceptuales: base teórica e implicaciones para el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias*. Enseñanza de las ciencias. 11(3). 1993.
- Galloway, L. *Measuring the Mechanical Equivalent of Heat-Electrically*. Physics Teacher. 30(11). 1992.
- García, A., et al. *Planificación de una unidad didáctica: el estudio del movimiento*. Enseñanza de las ciencias. 13(2). 1995.
- Gutiérrez, A. et al, *Física II Interacciones*. CCH UNAM. México. 1998.
- Gil, P. *Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza-aprendizaje de las ciencias*. Enseñanza de las ciencias. 20(5). 1999.
- Hewson, P. *La enseñanza de "fuerza y movimiento", como cambio conceptual*. Enseñanza de las ciencias. 8(2). 1990.
- Hierrezuelo, M., et al. *Una propuesta para introducción del concepto de energía en el bachillerato*. Enseñanza de las ciencias. 8(1). 1990.
- Holton, G. *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Ed. Reverté. 2a. edición. España. 1981.
- Homer, W., et al. *Independence of the First and Second Laws Thermodynamics*. Am. J. Phys. 33(5). 1962.
- Karplus, R. *Educational Aspects of the Structure of Physics*. Am. J. Phys. 49(3). 1981.
- Kuhn, T. S. *La conservación de la energía como ejemplo de descubrimiento simultáneo*. La tensión esencial. FCE. México. 1982.
- Laburú, C., et al. *Investigación del desarrollo y aprendizaje de la noción de aceleración en adolescentes*. Enseñanza de las ciencias. 10(1). 1992.
- Lang, Da S., et al. *Validación de un Test para verificar si el alumno posee concepciones científicas sobre calor, temperatura y energía interna*. Enseñanza de las ciencias. 14(1). 1996.
- Lehrman, R. *Isn't the Energy an Ability to Realise Work?* The Physics Teacher. 24(1). 1992.
- López, ...

- Mach, E. *Science Mechanics*. 2a. Edition. London. 1922.
- Malloney, D. *Forces as Interactions*. The Physics Teacher. 28(6). 1990.
- Marco *Conceptual para los Programas de Estudio del Área de Ciencias Experimentales*. CCH, junio de 1995.
- Martínez, J., et al. Estudio de propuestas alternativas de la enseñanza de la termodinámica básica. *Enseñanza de las ciencias*. 15(3). 1997.
- Mc Dermont, L. *Research on Conceptual Understanding in Mechanics*. Physics Today. 37(6). 1984.
- Meisel, W. *¿ mv o mv^2 that what the question?* The Physics Teacher. 31(3). 1993.
- Michinel, M., et al. *El concepto de energía en los libros de texto: de las concepciones previas a la propuesta de un nuevo sublenguaje*. *Enseñanza de las ciencias*. 12(3). 1994.
- Moreira, A. *La teoría del aprendizaje significativo de David Ausubel*. Traducción y adaptación del capítulo 2 del libro *Uma Abordagem Cognitivista ao Ensino de Física* (Editorial de la Universidad, Porto Alegre, Brasil, 1983), de Ileana María Greca. Fascículos del CIEF, Seie Enseñanza Aprendizaje, No. 1 y No. 2., 1993.
- Nalence, E. *Using Automobile Road Test Data*. The Physics Teacher. 28(6). 1988.
- Novack, J. D. *Constructivismo humano: un consenso emergente*. *Enseñanza de las ciencias*, 1988, 6(3).
- Oda, B. *Introducción al análisis gráfico de datos experimentales*. UNAM Facultad de Ciencias. México.
- Pérez, L., y A. Favieres, "La energía como núcleo en el diseño curricular de la física". *Enseñanza de las Ciencias*, 1995, 13(1).
- PSCC. *Física*. Ed. Reverté. España. 1962.
- Romer, R. *Temperature Scales: Celsius, Fahrenheit, Kelvin, Réaumur, and Romer*. The Physics Teacher. 20(7). 1982.
- Sánchez Blanco, G.
- De Pro Bueno, et al. La utilización de un modelo de planeación de unidades didácticas: el estudio de las disoluciones en la educación secundaria. *Enseñanza de las ciencias*. 15(1). 1997.
 - Valcárcel Pérez, M.V. "Diseño de Unidades Didácticas en el Área de Ciencias Experimentales". *Enseñanza de las Ciencias*. 11(1). 1993.
- Sevilla, S.
- Reflexiones en torno al concepto de energía*. *Enseñanza de las ciencias*. 4(3).1986.
 - Los procedimientos en el aprendizaje de la física*. *Enseñanza de las ciencias*. 12(3). 1994.
- Solbes, J., et al. *Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía*. *Enseñanza de las ciencias*. 16(3). 1998.

- Solomon, J. *Teaching the Conservation Energy*. *Physics Education*. 20(6). 1985.
- Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*. APHA-AWWA., 14th Edition. 1975.
- Taylor, J., et al. *Conservation of Energy with Rubber Ramp*. *The Physics Teacher*. 35(2). 1997.
- Thomsen, V. *Precisión y terminología de la medición*. *The Physics Teacher*. 35(1). 1997.
- Trowbridge, D., et al. *Investigation of Understanding of the Concepts of Velocity in One Dimension*. *Am. J. Phys.* 48(12). 1980.
- Vázquez, D. Algunos aspectos a considerar en la didáctica del calor. *Enseñanza de las ciencias*. 5(3). 1987.
- Wilson, J. *Física con aplicaciones*. Mac Graw-Hill. México. 1993.
- Zemansky, M. *Calor y termodinámica*. Ed. Aguilar. España. 1973.