

# CONTRIBUCIÓN DE LA FÍSICA A UNA MEJOR CONCEPTUALIZACIÓN ENERGÉTICA EN ALUMNOS DE INGENIERÍAS

## RESUMEN

En el presente trabajo se ponen en evidencia importantes deficiencias con relación al concepto general de energía, que manifiestan libros de amplia utilización por los estudiantes de ingenierías durante el primer curso de Física Introductoria. Además se expone un modelo instruccional no tradicional para este aspecto, que según resultados obtenidos de su aplicación en cursos desarrollados en Cuba y México, posibilita erradicar o reducir considerablemente los efectos negativos que en los alumnos suelen generar las dificultades inicialmente referidas.

**PALABRAS CLAVES:** Concepto de energía, Física Introductoria, modelo instruccional.

## ABSTRACT

*In the present work are revealed important deficiencies deal with the general concept of energy, that appear in wide utilization books used by the engineering students during the first course of Introductory Physics. Furthermore is exposed a not traditional instruction model for this aspect, that according to obtained results from its application underway developed in Cuba and Mexico, makes possible to eradicate or to reduce considerably the negative effects that in the pupils tend to generate the initially related difficulties*

**KEYWORDS:** *Energy concept, Introductory Physics, instruction model.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La comprensión de conceptos físicos por parte de los alumnos es un tema que a pesar de las investigaciones y las buenas valoraciones realizadas con respecto incluso al estado en que dicho fenómeno se comporta a la altura del ingreso universitario (Jaque, 1995), continúa requiriendo de estudios que permitan alcanzar mejores resultados diversas áreas de contenido de esta disciplina y en particular en la que es objeto de este estudio: los conceptos energéticos.

De otro lado, el que los estudiantes logren aplicar adecuadamente el método de enfoque energético para la resolución de problemas, constituye uno de los objetivos fundamentales de cualquier curso de Física de nivel universitario, y especialmente de aquellos que pertenecen a los currículas dirigidos a la formación de ingenieros.

Para fundamentar la relevancia de profundizar en la enseñanza-aprendizaje de los conceptos energéticos basta citar dos argumentos esenciales: la existencia de una crisis energética mundial, y la necesidad cada vez más imperiosa de emplear suministradores energéticos ecológicamente sostenibles.

Sin embargo existen resultados de investigaciones en el área educativa que revelan que todavía en la actualidad hay problemas importantes en este sentido y que ellos

## RAÚL A. ORTIZ PÉREZ

Dpto. de Física, Univ. de Camagüey,  
C.P. 74650, Cuba

e-mail: [rortiz82@yahoo.com](mailto:rortiz82@yahoo.com)

## JOSÉ L. COMPARÁN ELIZONDO

Grupo Regiomontano de Fabricación  
de Instrumentos

Científicos Educativos, U.A.N.L.,  
Monterrey, México

## ROBERTO PORTUONDO PADRÓN

Centro de Estudio de Ciencias de la  
Educación

Universidad de Camagüey, Cuba.

muy particularmente son provocados o acentuados por los libros de texto empleados por los estudiantes.

Específicamente dentro del área latina un estudio realizado hace ya algunos años (Michinel, 1994) dejó al descubierto la presencia de importantes preconcepciones inadecuadas relacionadas con conceptos energéticos en libros de Física muy usados para el nivel secundario y universitario en Venezuela en la década de los años 80.

Investigaciones subsiguientes (Cappannini, 1996; Bordogna, 2000 y Cotignola, 2001) han continuado esta dirección de estudio profundizando especialmente en los conceptos energéticos que se involucran en la Primera Ley de la Termodinámica, y han revelado incluso el origen histórico de muchas de las dificultades conceptuales y de nomenclatura que todavía subsisten en relación a dichas nociones.

Basándose en los estudios precedentes ya referidos, el presente trabajo presenta los principales resultados de una investigación que abordó el análisis de una muestra compuesta por más de 20 libros que resultan frecuentemente usados por los alumnos durante su primer curso de la Física Introductoria para carreras de Ingeniería en Cuba, y donde se identifican determinadas tendencias asumidas por sus autores con relación al tratamiento didáctico de un asunto tan importante como resulta ser el concepto general de energía.

Además en concordancia con la idea de que desde la Mecánica que inicia los cursos introductorios de Física, la energía debe ser claramente definida (Cotignola, 2001; Arons 1999), se presenta una estrategia didáctica orientada a dicho propósito que se apoya en la utilización de las potencialidades que a estos efectos brinda el estudio de la Teoría de la Relatividad Especial de Albert Einstein.

## 2. SOBRE EL CONCEPTO DE ENERGÍA

La muestra de análisis para la investigación que quedó compuesta por un grupo de libros que usualmente manejan los estudiantes de Ingenierías durante su primer curso de Física General en Cuba, y que además resulta bastante representativa de lo que ocurre en este sentido a escala internacional, se muestra en la Tabla 1 (Ver el Anexo I).

Una revisión rigurosa de la referida literatura docente, teniendo en cuenta el tratamiento que se le da a un aspecto tan importante como lo es la definición del concepto general de energía, revela la existencia de tres tendencias o direcciones fundamentales seguidas por sus autores. Estas tendencias son las siguientes:

### 2.1 Identificación de la energía con la capacidad de realizar trabajo

A este grupo pertenecen un conjunto de buenas obras, algunas de las cuales incluso resultan relativamente modernas, pero que sin embargo poseen como rasgo distintivo el ofrecer como definición general del concepto de energía, una concepción que corresponde a los siglos XVII y XVIII, cuando el desarrollo teórico y la confirmación práctica alcanzada por la Mecánica de Newton llevaron a los científicos a pensar que la importante característica de energías tales como la cinética o la potencial gravitatoria de los macrocuerpos, de estar relacionadas con la capacidad de dichos sistemas para realizar trabajo, constituía un rasgo completamente general y esencial que resultaba válido para cualquier otro tipo de energía, y que por lo tanto devenía en concepción general de esta última.

Una de las más inmediatas dificultades de tal concepción, supuestamente general, se pone en evidencia cuando los alumnos, al pasar al estudio de fenómenos de la Termología, que son los que comúnmente le resultan subsiguientes al estudio de la Mecánica en los currículas de ingenierías, chocan con la realidad de tener que reconocer que existen sistemas físicos que poseen energía que es ¡incapaz de trabajar!. Sirva de ejemplo el mero caso de la energía térmica poseída por un gas ideal que se encuentra encerrado en un recipiente en forma de cilindro con pistón móvil, pero que se encuentra en equilibrio termodinámico con sus alrededores.

Las obras que pertenecen a este grupo se encuentran agrupadas en la sección I de la Tabla 1.

### 2.2 No formulación de un concepto general de energía

La característica fundamental de los libros pertenecientes a este grupo es que si bien no incurrir en la errada generalización que se discutió en el epígrafe anterior, tampoco se pronuncian por ninguna formulación general del concepto de energía; limitándose a introducir las diferentes formas de energía (cinética, potencial, interna, etc.) de una forma esencialmente operacional. En estas obras el énfasis fundamental se centra en la utilidad de una acertada selección de la expresión o formulación matemática del tipo de energía que resulta correspondiente para la situación específica que ocupa el interés en cada caso concreto.

Vale destacar dentro de este grupo el caso de un autor tan referencial como Feynman, quien dentro de las famosas conferencias que dictara durante el curso académico 61-62 en el Caltech escribiera “Es importante darse cuenta que en la física actual no sabemos lo que la energía es”<sup>1</sup>.

Los libros pertenecientes a este grupo se encuentran dentro de la sección II de la Tabla 1.

### 2.3 Identificación de la energía como la medida universal del movimiento de la materia

El rasgo fundamental de las obras pertenecientes a este grupo es que en aras de presentar una noción globalizadora, definen el concepto físico de energía como la medida general del movimiento de la materia en todas sus formas, utilizando en tal enunciado la acepción filosófica del término movimiento, o sea, el entendido como todo tipo de cambio experimentado por la materia. Esta noción, aunque sin dudas apropiada para contribuir a formar en los alumnos una comprensión a escala filosófica del carácter inalienable del movimiento respecto de la materia, presenta dos limitaciones didácticas fundamentales: primero, que al manejar tal grado de generalidad, permite la confusión en el alumno de que la energía como magnitud física, pueda ser aplicada a movimientos inherentes a niveles de muy elevado desarrollo de la materia, como es el caso del movimiento social; y segundo, que por no delimitar cuales son las principales características del estado de una entidad física que fungen como factores determinantes de su energía, dicho concepto deviene considerablemente inoperante a escala de los problemas particulares y de carácter cuantitativo que suele tener que enfrentar un estudiante de ingenierías durante sus cursos

<sup>1</sup> FEYNMAN, R. P. Y LEIGHTON, R. B. (1987). Física. Vol. 1.

México. Addison-Wesley Iberoamericana. pp. 4-2.

de Física Introductoria y posteriormente durante su desempeño como egresado.

Los libros de la muestra analizada y que pertenecen a este grupo son los que se enmarcan en la sección III de la Tabla 1.

Otra deficiencia muy importante y que resulta en cierta medida una consecuencia de la ya citada presentación inadecuada del concepto general de energía; es la relacionada con el hecho de que tanto en estas obras analizadas en la muestra de estudio, como en el propio discurso pedagógico de muchos de los docentes que los emplean en sus cursos, se omite un análisis serio acerca de qué factores o características del estado de una entidad física son los que realmente influyen decisivamente en el valor de la energía resultante de tales sistemas. No resulta difícil entender la importancia de tal comprensión si se advierte que se está abordando la preparación de un futuro profesional de la ingeniería que deberá responsabilizarse con el empleo eficiente de la energía.

En aras de erradicar o disminuir significativamente las anteriores dificultades, los autores del presente trabajo elaboraron un modelo de enseñanza de estos contenidos orientada a propiciar que los alumnos puedan llegar a construir una conceptualización general de la energía, a partir de la delimitación de lo que se le ha denominado en este proyecto como *formas básicas de energía*.

### 3. PRINCIPALES RASGOS DEL MODELO DE ENSEÑANZA UTILIZADO

La estrategia desarrollada parte por reconocer las potencialidades que para los propósitos que se persiguen en torno al enfoque energético, brinda el estudio de la Teoría de la Relatividad Especial.

Los fundamentos de la mecánica einsteniana agrupados didácticamente en sus tres partes tradicionales: la cinemática, la dinámica y la energética, suelen ser tratados al término y como una generalización de la mecánica newtoniana. Ello significa que ya los alumnos universitarios al momento del enfrentamiento a esta teoría, cuentan con un determinado grado de dominio de nociones claves del enfoque energético, que incluso han utilizado como componentes de un poderoso método de solución de problemas propios de esta materia que han denominado método de enfoque energético. Pero a la vez, por haber estado dicho estudio fundamentalmente contextualizado al caso de macrocuerpos en movimiento a velocidades muy inferiores a la de la luz en el vacío, dichos estudiantes poseen una comprensión de los conceptos energéticos que resulta un tanto incompleta o excesivamente sesgada por las concepciones newtonianas.

Es por ello que el modelo de enseñanza que se propone para contribuir a que los alumnos adquieran una

comprensión más rigurosa y plena de las nociones fundamentales del enfoque energético, se ubica temporalmente en el primer curso de Física y durante la generalización que ofrece para la mecánica de Newton, la Teoría de la Relatividad Especial de Einstein.

En esta citada etapa los estudiantes por una parte, no han configurado aún un concepto verdaderamente general de energía y persisten en sus mentes las arraigadas herencias de la enseñanza media donde se reitera la identificación de la energía como la capacidad de realizar trabajo; y por la otra, manejan un diverso número de las llamadas formas de energía (cinética rotacional, térmica, electromagnética, potencial electrostática, nuclear, mecánica, etc.) sin que haya un real conocimiento de cuales son formas realmente esenciales de la energía de un sistema, y cuales no son más que apelativos genéricos que engloban a diversas formas específicas de energía que se dan dentro de los tipos fundamentales de movimiento físico de la materia, a saber: el mecánico, el térmico, el electromagnético y el cuántico.

El modelo que se elaboró en esta investigación se presenta a continuación a través de una secuencia de pasos que constituyen los momentos y las acciones claves que debe desarrollar el profesor dentro de los cursos a fin de lograr el referido propósito de perfeccionamiento.

Utilizar la expresión conocida como ecuación fundamental de Einstein ( $E=MC^2$ ) como formulación matriz que permite respaldar como la energía relativista total de un sistema se compone de no más de dos sumandos esenciales: uno que tiene en cuenta la energía cinética del movimiento del sistema como un todo (o de su centro de masa), y otro que incluye a todas las posibles formas de energía interna que puede tener dicho sistema.

Destacar que dentro del segundo sumando, denominado comúnmente como Energía en reposo, todas las diferentes formas posibles de energía no resultan ser más que la combinación de 3 formas fundamentales: la cinética (referida al movimiento de los constituyentes del sistema respecto de su centro de masa), la potencial (debida a la interacción a través de campos de fuerzas conservativos) y una que hasta ese momento no había sido estudiada dentro del curso y que se le denomina usualmente ¡también! como energía en reposo (relacionada en este caso con la masa propia de los componentes del sistema que al nivel de análisis utilizado no se le advierte constitución por otras partículas (Ejemplo: electrones).

Discutir como a la luz de esta formulación tan abarcadora y comprobada, se reconoce que son sólo 3 los tipos realmente esenciales de energía que tributan o contribuyen al valor de la energía total de un sistema y que por tanto se fundamenta con ello la posibilidad y conveniencia de definir como *formas básicas de energía*

a: *la cinética, la potencial y la “de reposo o másica”*; resaltando que en el último caso resulta favorable la diferenciación de nomenclatura (de en lugar de en) para evitar confusiones conceptuales entre la tradicional Energía en reposo (Eo) que aparece como un sumando de la ecuación fundamental de Einstein, y la “de reposo” que posee cualquier partícula (a la que no se le reconocen constituyentes internos) sólo en virtud de su masa propia. Un buen ejemplo ilustrativo a estos efectos resulta el caso de hacer los análisis correspondientes a las situaciones siguientes: energía en reposo de un núcleo atómico, y energía de reposo de un positrón.

Discutir la imprecisión conceptual de la conocida frase de ¡equivalencia de la masa y de la energía! Y profundizar en la adecuada significación de tal relación a través de un conjunto de importantes procesos seleccionados que involucran transformaciones de energía cinética en energía en reposo y viceversa y que en calidad de ejemplos se describen a continuación. Ellos son:

Energía inicial sólo en forma de energía másica o de reposo y transformación plena de ella en energía cinética de radiación: caso de la aniquilación de un par electrón-positrón.

Energía inicial sólo en forma de energía en reposo y transformación de una parte de ella en energía cinética: caso de la fisión del uranio.

Energía inicial sólo en forma de energía cinética y transformación plena de ella en energía másica o de reposo: caso de la producción del par electrón-positrón.

Energía inicial sólo en forma de energía cinética y transformación de una fracción de ella en energía en reposo: caso del efecto fotoeléctrico externo.

5. Arribar a un punto de conclusión de los anteriores análisis donde los alumnos puedan construir una definición general y rigurosa de la energía que discrimina 3 niveles fundamentales de significación, a saber:

a) Energía como categoría en la Filosofía: medida universal del movimiento de la materia en todos sus tipos.

b) Energía como concepto en la Física: propiedad del estado de un sistema que integra contribuciones vinculadas a la velocidad, a las interacciones y a la inercialidad de sus constituyentes.

c) Energía como magnitud en la física: escalar que caracteriza el estado de un objeto o sistema que queda determinado por el grado de posesión de masa en reposo, de velocidad, y de interacciones potenciales; y que resulta numéricamente invariante para un sistema de referencia determinado, y conservado si dicho sistema es aislado ( $W = Q = 0$ ).

Este modelo de enseñanza orientado a que los alumnos logren una adecuada profundización en la comprensión tanto del concepto general de energía como de las denominadas en este trabajo como formas básicas de energía, ha sido ensayado por sus autores durante la impartición de cursos de Física en universidades de Cuba y México, en el primer caso en la carrera de Ingeniería Química en la Universidad de Camaguey, y en el segundo a través de cursos de superación para profesores universitarios y de bachillerato que los autores de este estudio han impartido como parte de una Maestría en Enseñanza de las Ciencias desarrollada en la Universidad Autónoma de Nuevo León en la ciudad de Monterrey. En ambos casos se han obtenido resultados satisfactorios como consecuencia de la implementación de dicho modelo, tanto en lo referido a la calidad del aprendizaje conceptual logrado por los alumnos como por la mayor capacidad demostrada por ellos durante la aplicación del enfoque energético al análisis y solución de problemas docentes relacionados con dicha área de contenidos.

#### 4. CONCLUSIONES

Como consecuencia de los análisis, las propuestas y los resultados presentados en este trabajo, se conciben las siguientes conclusiones para el mismo:

Se evidencia que actualmente en muchos libros de significativo valor y amplio uso para el estudio de la Física de ingenierías, tanto en Cuba como en el extranjero, se presentan importantes dificultades relacionadas con el tratamiento didáctico de conceptos claves del enfoque energético.

Quedan relacionadas en tres grupos básicos, determinadas deficiencias esenciales, que pueden servir de guía a los profesores de esta disciplina en el necesario trabajo de perfeccionamiento conceptual de tan importante tema.

Se destaca la ventaja didáctica de utilizar a la energía total relativista como expresión matriz para la identificación por parte de los alumnos de las verdaderas “formas básicas de energía” que integran la energía total de un sistema físico.

Se formula un modelo didáctico para el tratamiento de conceptos energéticos claves en la Física universitaria que desplegado en una serie de pasos esenciales, resulta conveniente y unificador; a la vez que incluye una especie de modelo terminológico que propicia la simplicidad y la precisión en la nomenclatura a utilizar por los alumnos.

Debe prestarse especial atención al sistema terminológico relacionado con el enfoque energético, ya que su manejo impreciso constituye una considerable fuente de generación de errores conceptuales o de nociones

seudocientíficas que sirven de impedimento al aprendizaje.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ARONS, A. (1999). Development of Energy Concepts in Introductory Physics Courses. *Am. J. Phys.* 67,(12), pp. 1063-1067.
- [2] BORDOGNA, C., COTIGNOLA, M., PUNTE, G. Y CAPPANNINI, O. (2001). La innovación como proceso: aplicación a la enseñanza de temas introductorios a la termodinámica. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Vol 18.
- [3] CAPPANNINI, O. Y PELTZER, E. (1996). La incorporación de los conceptos de energía, trabajo y calor en la formación básica de ingenieros. Primer Congreso Argentino de Enseñanza de Ingeniería. Córdoba. Argentina.
- [4] COTIGNOLA, M., BORDOGNA, C., PUNTE, G. AND CAPPANNINI, O. (2001). Difficulties in Learning Thermodynamic Concepts: Are They Linked to the Historical Development of this Field?. *Science & Education*. (aceptado para publicación en 02/2001, según comunicación privada recibida de los autores).
- [5] JAQUE, F. (1995). Deficiencias en los conocimientos de la física al llegar a la Universidad. *Tarbiya*. No.10, pp. 121-126.
- [6] MICHINEL, J. L. Y D'ALESSANDRO, A. (1994). 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), pp.369-380.

## ANEXO I

Tabla 1: Componentes de la muestra de investigación

I	Habe-Schain, U. Et. Al. (1981) <i>Physics PSSC</i> , Fifth Edition. U.S.A. D.C. Heath and Company. Tilley, D.E. and Thumm, W. (1974). <i>Physics for College Students</i> . U.S.A. Cummings Publishing Co. Inc. Meriam, J.L., (1965). <i>Mecánica</i> . La Habana. Ed. Rev. Beer, F.P. (1967). <i>Mecánica vectorial para ingenieros</i> . La Habana. Ed. Pueblo y Educación. Gran, M.F. (1968). <i>Elementos de Física General y Experimental</i> . La Habana. Ed. Ciencia y Técnica. Tippens, P.E. (1985). <i>Applied Physics</i> . Third Edition .México. McGraw-Hill. Ferrat, A. y otros. (1979). <i>Fundamentos de Mecánica</i> . La Habana. Ed. Pueblo y Educación.
II	Kittel, Ch. y otros. (1965). <i>Mecánica</i> , La Habana. Ed. Rev. Halliday, D. Y otros. (1992). <i>Física</i> , Versión ampliada, 4 <sup>ta</sup> Edición, La Habana. Ed. MES. Serway, R.A. (1993). <i>Física</i> , 2 <sup>da</sup> Edición en español. México. Ed. McGraw-Hill Interamericana. Alonso-Acosta. (1960). <i>Física General</i> . La Habana. Ed. Pueblo y Educación. Alonso, M. and Finn, E. (1980). <i>Fundamental University Physics. Mechanics and Thermodynamics</i> . 2 <sup>nd</sup> Edition México. Addison-Wesley. Cutnell, J. and Johnson, K. (1992). <i>Physics</i> . Second Edition. México. Ed. John Wiley & Sons. Inc. Arfken, G.B. et.al. (1984). <i>University Physics</i> , U.S.A. Academic Press. Sears F.W. and Zemansky M.W. (1967). <i>University Physics</i> , Third Edition. U.S.A. Addison-Wesley Publishing Company. Landau, L. y otros. (1973). <i>Curso de Física General</i> . Moscú. Ed. Mir. Frish, S. Y Timoreva A. (1967). <i>Curso de Física General</i> . Moscú. Ed. Mir. Savéliev, I.V. (1984). <i>Curso de Física General</i> . Moscú. Ed. Mir. Feynman, R. y Leighton, R. (1987). <i>Física</i> , Vol. 1, México. Addison-Wesley Iberoamericana.
III	Strelkóv, S. (1968). <i>Mecánica</i> , Moscú. Ed. Mir. Bazarov, D. (1969). <i>Thermodynamics</i> , La Habana. Ed. Rev. Portuondo, R y Pérez, M. (1983). <i>Mecánica</i> . La Habana. Ed. Pueblo y Educación. Ferrat, A. Y otros. (1988). <i>Mecánica y Física Molecular</i> . La Habana. Ed. Pueblo y Educación.