



Universidad de Valladolid

Trabajo fin de máster en Educación Secundaria y Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanzas de Idiomas

Especialidad: Física y Química

Curso 2020-2021

ENERGÍA Y TRABAJO EN ESO Y BACHILLERATO

Realizado por: Guzmán Peña Alonso

Dirigido por: Manuel Ángel González Delgado, Miguel Ángel González Rebollo

Contenido

RESUMEN.....	5
ABSTRACT	5
1. INTRODUCCIÓN DEL TRABAJO Y JUSTIFICACIÓN DEL MISMO	7
2. PLAN DE TRABAJO	13
3. ENERGÍA Y TRABAJO EN 1º DE BACHILLERATO	15
3.1. Breve recorrido histórico acerca del concepto de energía.....	15
3.2. Tipos de energía.....	16
3.3. Trabajo de una fuerza y energía cinética.....	18
3.4. Energía potencial y energía mecánica	21
3.5. Energía potencial electrostática	23
3.6. Energía interna.....	24
3.7. Intercambios de energía: calor y trabajo.....	24
3.8. Ley de Hess	27
3.9. Conservación de la energía	27
3.9.1. Conservación de la energía mecánica: Física Clásica	27
3.9.2. Conservación de la energía: Física Moderna	29
4. PROPUESTA DE APROXIMACIÓN GLOBAL PARA EL ESTUDIO DE LA ENERGÍA EN BACHILLERATO.....	31
4.1. Discusión acerca de energía y trabajo en Bachillerato.....	31
4.1.1. Teorema de la energía cinética	31
4.1.2. Concepto de calor.....	34
4.1.3. Conservación de la energía	35
4.2. Propuesta de aproximación global para el estudio de la energía	36
4.2.1. La elección del sistema bajo estudio.....	36
4.2.2. Energía del sistema.....	38
4.2.3. Tránsferencia de energía entre el sistema y el entorno.....	40
4.2.4. Ecuación global de la conservación de la energía	41
4.2.5. Supuestos prácticos para 1º de Bachillerato.....	42
4.2.6. Supuestos prácticos de utilidad para la asignatura Física de 2º de Bachillerato	49
5. PROPUESTA PARA IMPLEMENTAR LA APROXIMACIÓN GLOBAL DE LA ENERGÍA EN 1º DE BACHILLERATO	53
5.1. Durante el curso.....	53

5.2. A través de un seminario en la asignatura de Física y Química 1º de Bachillerato	54
6. CONCLUSIONES.....	63
Bibliografía.....	65

RESUMEN

Energía y trabajo son dos contenidos que aparecen en las asignaturas de Física y Química de 2º, 3º 4º de la ESO, 1º de Bachillerato, y de las asignaturas de Física, Química de 2º de Bachillerato. La energía se caracteriza por ser un concepto global y por ser una magnitud que se conserva. Actualmente la forma en la que se presentan los contenidos relativos a energía en los centros de educación secundaria presenta ciertas inconsistencias, que son las que se discuten en esta memoria, para a continuación mostrar un posible enfoque global para el estudio de la energía, que puede ser introducido a los estudiantes a través de una propuesta de seminario.

Palabras clave: energía, calor, trabajo, sistema, conservación de la energía, energía interna, formas de intercambio de energía, aproximación global de la energía, propuesta de seminario.

ABSTRACT

Energy and work are two contents that appear in the subjects of Physics and Chemistry of 2nd, 3rd, 4th of ESO, 1st of Baccaureate, and of Physics, Chemisty of 2nd of Baccaureate. Energy is characterized by being a global concept and by being a quantity that is conserved. Currently the way in which contents are presented in secondary education centers presents certain inconsistenciesm, which are those discussed in this report, to then show a posible global approach to the study of energy, which can be introduced to students through a seminar proposal.

Keywords: energy, heat, work, system, energy conservation, internal energy, forms of energy exchange, global approach to energy, seminar proposal.

1. INTRODUCCIÓN DEL TRABAJO Y JUSTIFICACIÓN DEL MISMO

La **energía** es un concepto de gran relevancia en el estudio y resolución de diferentes **problemas físicos**. Se trata de un **concepto global** empleado en diferentes partes de la física como son: la mecánica, la termodinámica, el electromagnetismo y la física moderna. Dicho concepto se utiliza a su vez en otros muchos campos, ejemplos de ellos son la biología, la química, la astronomía o la geología. Dada su importancia, **es necesario estudiarlo de forma coherente**. No obstante, **el concepto de energía a menudo es explicado de manera poco clara e inconsistente tanto por los libros de texto como por el propio profesor** (Jewett Jr, Energy and the confused student I: Work, 2008).

Para poder hablar de Física es necesaria una cierta **precisión en el lenguaje**. Sin ella la comunicación científica “se rompe” y esta ciencia deja de ser consistente (Bauman, Physics that textbook writers usually get wrong, 1992). **La Física es una ciencia experimental** que a su vez **ha de ser rigurosa**, especialmente cuando se enseña **en los cursos superiores de educación preuniversitaria, que son 1º y 2º de Bachillerato**.

La *ORDEN EDU/362/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo de la educación secundaria obligatoria en la Comunidad de Castilla y León* recoge lo siguiente en relación a las asignaturas que incluyen a la física:

*“La **distinción entre los enfoques fenomenológico y formal** se vuelve a presentar claramente en el estudio de la Física, que abarca tanto «El movimiento y las fuerzas» como «**La energía**». En el primer ciclo, el concepto de fuerza se introduce empíricamente, a través de la observación, y el movimiento se deduce por su relación con la presencia o ausencia de fuerzas. **En el segundo ciclo, el estudio de la Física introduce de forma progresiva la estructura formal de esta materia, una vez que los alumnos conocen más conceptos matemáticos**. En lo referente a la **metodología**, la enseñanza de esta materia debe incentivar un aprendizaje contextualizado socialmente. Esto implica que los **principios** que están **en vigor** se tienen que relacionar con todo el proceso histórico seguido hasta su consecución, incluidas las crisis y remodelaciones profundas de dichos principios. Los alumnos deben tener la visión de una materia en la que los conocimientos se han ido adquiriendo mediante el planteamiento de hipótesis y el trabajo en equipo de científicos, y como respuesta a los desafíos y problemas que la naturaleza y la sociedad plantean. Esta materia también debe incentivar la capacidad de **establecer relaciones cuantitativas y espaciales, potenciar la discusión y argumentación verbal y fomentar la capacidad de resolver problemas con precisión y rigor** (ORDEN EDU/362/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo de la educación secundaria obligatoria en la Comunidad de Castilla y León).”*

Cabría preguntarse lo siguiente: “¿cómo puede el alumno mostrar argumentos consistentes en torno a un cierto contenido de la materia si los conceptos en sí se le han presentado con ciertas inconsistencias?”. En el caso que nos ocupa, que es el de trabajo y energía, se pueden observar varias de ellas, que serán discutidas en esta memoria.

Los contenidos **energía y trabajo**, sobre los que versa esta memoria, aparecen de forma explícita en las asignaturas de **Física y Química de 2º, 3º y 4º ESO, 1º de Bachillerato**, y son utilizados implícitamente en las asignaturas de **Física de 2º de bachillerato y Química de 2º de bachillerato**. Dichos contenidos relativos a trabajo y energía en se recogen de la siguiente manera en el *Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato*:

Física y Química 2º de la ESO

BLOQUE 5. Energía

- ❖ Energía
- ❖ Tipos
- ❖ Energía térmica

Se introduce el concepto de energía explícitamente, así como los tipos de energía. Los libros de texto ofrecen un *enfoque fenomenológico*. Se estudia el principio de conservación de la energía mecánica y se plantean supuestos prácticos sencillos sobre la aplicación del mismo. También se introducen los conceptos de calor y trabajo como las dos posibles formas de intercambio de energía, estudiando además la diferencia entre calor y temperatura. La temperatura se explica a través de la teoría cinético-molecular.

Física y Química 3º de la ESO

BLOQUE 5. Energía

- ❖ Electricidad y circuitos eléctricos. Ley de Ohm
- ❖ Dispositivos electrónicos de uso frecuente
- ❖ Aspectos industriales de la energía
- ❖ Fuentes de energía
- ❖ Uso racional de la energía

En este curso se estudia la energía eléctrica como la energía de uso cotidiano, ya que es capaz de transformarse fácilmente en otros tipos de energía y su transporte es

relativamente sencillo. Se tratan aspectos relativos a la producción, consumo y aprovechamiento de la energía.

Física y Química 4º de la ESO

BLOQUE 5. La energía

- ❖ Energías cinética y potencial
- ❖ Energía mecánica
- ❖ Principio de conservación
- ❖ Formas de intercambio de energía: el trabajo y el calor
- ❖ Trabajo y potencia
- ❖ Efectos del calor sobre los cuerpos
- ❖ Máquinas térmicas

En este curso vuelve a estudiarse de forma explícita el concepto de energía. Se estudian la energía y el principio de conservación de la energía mecánica y algunas de las formas de intercambio de energía. En 4º de la ESO la asignatura de Física y Química adquiere un enfoque más formal y riguroso que en los dos cursos anteriores. Además se introducen las máquinas térmicas.

Física y Química 1º de Bachillerato

BLOQUE 4. Transformaciones energéticas y espontaneidad de las reacciones químicas

- ❖ Sistemas termodinámicos. Primer principio de la termodinámica. Energía interna. Entalpía. Ecuaciones termoquímicas.
- ❖ Ley de Hess
- ❖ Segundo principio de la termodinámica. Entropía.
- ❖ Factores que intervienen en la espontaneidad de una reacción química. Energía de Gibbs.
- ❖ Consecuencias sociales y medioambientales de las reacciones químicas de combustión.

En ese bloque, correspondiente a la parte de química del temario, la energía se estudia desde el enfoque termodinámico aludiendo a la energía interna de un sistema. Se estudian el primer principio de la termodinámica/termoquímica que relaciona los cambios en la energía interna de un sistema con calor y trabajo, y la Ley de Hess.

BLOQUE 8. Energía

- ❖ Energía mecánica y trabajo
- ❖ Sistemas conservativos
- ❖ Teorema de las fuerzas vivas
- ❖ Energía cinética y potencial del movimiento armónico simple
- ❖ Diferencia de potencial eléctrico

Este bloque se corresponde con la parte de física. Se estudia la conservación de la energía mecánica (cinética más potencial), los sistemas conservativos, el teorema de las fuerzas vivas, y la energía del oscilador armónico. También se estudia la energía potencial electrostática como forma de energía potencial de un sistema.

Física 2º de Bachillerato

BLOQUE 2. Interacción gravitatoria

Momento de una fuerza respecto de un punto y momento angular. Fuerzas centrales y fuerzas conservativas. **Energía potencial gravitatoria.**

BLOQUE 3. Vibraciones y ondas

Movimiento oscilatorio: Movimiento vibratorio armónico simple. Elongación, velocidad, aceleración. Estudio experimental de las oscilaciones de un muelle. Dinámica del movimiento armónico simple. **Energía de un oscilador armónico.**

BLOQUE 4. Interacción electromagnética

Inducción electromagnética. Leyes de Faraday y de Lenz. **Producción de energía eléctrica, impacto y sostenibilidad. Energía eléctrica de fuentes renovables.**

BLOQUE 5. Introducción a la física moderna

La crisis de la Física clásica. Principios fundamentales de la relatividad especial. Repercusiones de la teoría de la relatividad. Variación de la masa con la velocidad y **equivalencia entre masa y energía.**

Efecto fotoeléctrico y espectros discontinuos: Insuficiencia de la Física clásica para explicarlos. Hipótesis de Planck. **Cuantización de la energía**. Hipótesis de De Broglie. Dualidad onda corpúsculo. Relaciones de indeterminación. Aportaciones de la Física moderna al desarrollo científico y tecnológico.

Física nuclear: Composición y estabilidad de los núcleos. **Energía de enlace**. Radiactividad. Tipos, repercusiones y aplicaciones. Reacciones nucleares de fisión y fusión, aplicaciones y riesgos.

En este curso la energía se utiliza como concepto herramienta para la resolución de diferentes problemas haciendo especial hincapié en: la energía que posee un campo y la equivalencia masa-energía.

Química 2º de Bachillerato

BLOQUE 2. Origen y evolución de los componentes del Universo

Propiedades de los elementos según su posición en el Sistema Periódico: **energía de ionización**, afinidad electrónica, electronegatividad, radio atómico.

El concepto de energía de ionización se presenta como energía necesaria para modificar la estructura electrónica de un átomo.

Una vez revisado que los contenidos de energía y trabajo como forma de intercambio de energía son básicos para el estudio de la física y de la química, y que se estudian para posteriormente poder ser utilizados como herramientas en la resolución de problemas más complejos en las asignaturas Física, Química de 2º de bachillerato, **es especialmente relevante encontrar un enfoque coherente para el estudio de dichos conceptos**.

En el curso de Física y Química de 1º de Bachillerato los contenidos energía y trabajo se estudian de manera más formal. Por lo tanto esta memoria se centra principalmente en el curso de **Física y Química de 1º de Bachillerato**. En primer lugar se presentan los contenidos de energía y trabajo estudiados en ese curso. En segundo lugar, se discuten algunos aspectos sobre cómo se están enseñando los mismos. En tercer lugar, se propone una aproximación global a la conservación de la energía, que permite entender el concepto energía y el principio de conservación de la energía de forma global y coherente. Por último se propone una actividad a modo de seminario para introducir a los estudiantes el enfoque global de la energía.

También se presentan ciertos contenidos relativos a la asignatura de **Física de 2º de Bachillerato** para mostrar cómo un alumno que comprenda la aproximación global después podrá utilizarla como herramienta en cursos superiores. Aludiremos a dos contenidos relativos a la *energía* en dicho curso: la energía del campo y la equivalencia masa energía.

2. PLAN DE TRABAJO

El **plan de trabajo** llevado a cabo para la elaboración de esta memoria de Trabajo de Fin de Máster consta de las siguientes etapas:

- 1) Revisión bibliográfica de artículos cuya temática es la enseñanza de los contenidos de energía y trabajo en cursos no universitarios.

Una de las partes más importantes de este trabajo consiste en revisar artículos de investigación educativa cuyo eje principal es la energía. Los más relevantes para el desarrollo de esta memoria han sido recogidos de “*American Journal of Physics*”, revista científica que recoge artículos dedicados a la enseñanza de la física y su pedagogía. Se puede acceder a ella a través del siguiente enlace:

<https://aapt.scitation.org/journal/ajp>

Dichos artículos dan cuenta de que la forma en la que se están estudiando los contenidos energía y trabajo en los cursos de educación no universitaria no está siendo consistente tanto por los libros de texto como por el propio personal docente. Los dos motivos principales de ello son:

- En la resolución de supuestos prácticos generalmente no se discute cuál es el sistema bajo estudio.
- La energía no se presenta como concepto global, dando lugar a inconsistencias cuando se estudian los temas correspondientes a la parte de Mecánica y cuando se estudian los temas correspondientes a la parte de Termodinámica.

- 2) Revisión de los contenidos de “Trabajo y Energía” en el curso de Física y Química de 1º de Bachillerato.

Revisión bibliográfica de libros de texto Física y Química de 1º de bachillerato para comprobar cómo estos presentan los contenidos de “Trabajo y energía”. La elección de este curso en particular se debe a que es el último curso preuniversitario en el que el contenido “Trabajo y energía” aparece explícitamente como bloque en el currículo.

- 3) Propuesta de aproximación global para el estudio de la energía y de la conservación de la energía.

Se propone una aproximación global para el estudio de los contenidos energía y trabajo en el curso de Física y Química de 1º de Bachillerato. La aproximación global

sirve para subsanar errores conceptuales y a su vez es un método consistente que servirá como herramienta para los estudiantes en cursos superiores.

- 4) Propuesta para implementar la aproximación global para el estudio de la energía en un curso de Física y Química de 1º de Bachillerato.

Propuesta para implementar la aproximación global para el estudio de la energía y de la conservación de la misma en el curso de Física y Química de 1º de Bachillerato. Consta de dos partes:

1. A lo largo del curso: ir introduciendo el enfoque global gradualmente.
2. Al final de curso: seminario final para la resolución de supuestos prácticos utilizando el enfoque global de la energía.

3. ENERGÍA Y TRABAJO EN 1º DE BACHILLERATO

En este capítulo se presentan los contenidos de **energía** y **trabajo** que se estudian en el curso de **Física y Química de 1º de Bachillerato**. Para revisar dichos contenidos se utilizan principalmente libros de texto de bachillerato. Los libros de texto consultados prescinden, en su amplia mayoría, del cálculo integral tanto para la deducción de expresiones como para la resolución supuestos prácticos. Esto se debe a que los alumnos aún no han estudiado cálculo integral en la asignatura de Matemáticas.

3.1. Breve recorrido histórico acerca del concepto de energía

Se incluye esta sección dada la importancia de enseñar a los alumnos a conocer y a comprender cómo las leyes y principios que estudian en las asignaturas de Física y Química se han ido construyendo a lo largo del tiempo.

El concepto de energía tal y como hoy en día lo conocemos no surgió de la noche a la mañana, y tuvo que pasar un cierto tiempo desde que la idea de energía apareció por primera vez hasta que se estableció el concepto tal y como lo conocemos actualmente.

Christian Huygens e Isaac Newton fueron contemporáneos, y pese a tener ideas completamente opuestas en lo referente a la naturaleza de la luz, ambos seguían ideas similares en sus estudios relativos a la energía. Fue Huygens (1629-1695) quien intuyó por primera vez el concepto de energía cuando trataba de establecer las reglas que regían las colisiones elásticas o choque elástico de dos cuerpos rígidos o no deformables. Para él, en esas colisiones elásticas deben conservarse las dos magnitudes siguientes:

- 1) **La cantidad de movimiento**, que se define como:

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (3.1.1)$$

Es una magnitud vectorial de igual dirección y sentido que la velocidad, que tiene especial importancia ya que incluye a los dos elementos que caracterizan el estado dinámico de una partícula: la masa m , magnitud escalar; y la velocidad \vec{v} , magnitud vectorial. En el Sistema Internacional se mide en $kg \cdot m \cdot s^{-1}$, sin ninguna otra unidad definida para dicha magnitud.

- 2) **La cantidad conocida como “vis viva” o “fuerza viva”**, que recibe ese nombre por referirse a cuerpos en movimiento, y se expresa como:

$$m \cdot v^2 \quad (3.1.2)$$

Huygens propuso que para las colisiones elásticas la suma extendida a todos los cuerpos colisionantes del producto de la masa de cada uno de ellos por el cuadrado de su velocidad permanece constante. A esa magnitud mv^2 , la anteriormente mencionada “vis viva”, se le conoce actualmente como energía cinética y se expresa como $\frac{1}{2}mv^2$. En el Sistema Internacional se mide en $kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$, que es el *Julio (J)*.

Newton se valió de los trabajos de Huygens acerca del momento lineal o cantidad del movimiento para establecer la tercera ley del movimiento. Se sabía que el momento lineal, magnitud vectorial, se conservaría y sería el mismo antes y después del choque.

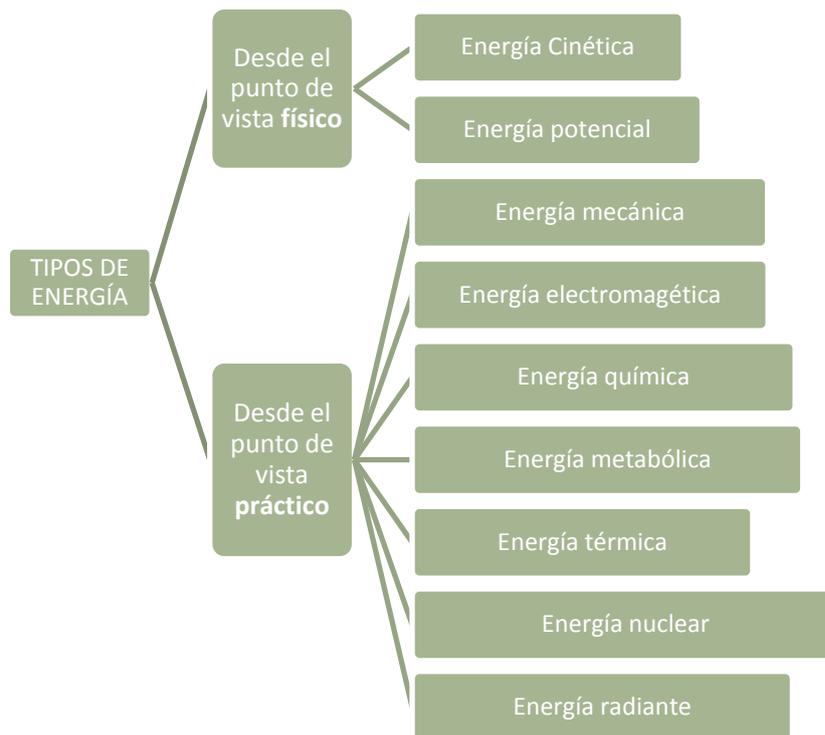
Después llegó Leibniz (1646-1716) que dijo que aquella *vis viva* era la que daba la información acerca del estado de reposo o movimiento de los cuerpos, y no la cantidad de movimiento, como pensaba Descartes. Surge así una controversia acerca de cuál es la cantidad que ha de conservarse en el universo. En el año 1743, D’Alembert señaló que para evitar confusiones no se llamaría vis (o fuerza) a ninguna de las dos magnitudes. Para la magnitud mv sugirió el nombre de *momentum*.

En el siglo XIX Thomas Young (1773-1829) define la cantidad mv^2 como **energía**, ayudando a diferenciar las dos magnitudes y a ir esclareciendo los conceptos. Al poco tiempo William Thomson, popularmente conocido como Lord Kelvin, llamó a dicha cantidad **energía cinética**, que es como se la llama actualmente.

Pero... ¿se conserva esa energía? Lo cierto es que solo lo hace en ciertos casos particulares. **La energía cinética forma parte de un concepto global, que es el de energía** que sí que se conserva en todos los procesos que se conocen en el universo a través del **principio de conservación de la energía**.

3.2. Tipos de energía

Hasta ahora únicamente se ha hecho alusión a uno de los tipos de energía, que es la energía cinética asociada al movimiento. **La energía se puede presentar de diferentes formas que se pueden clasificar de dos maneras** siguiendo el siguiente esquema:



Esquema 1. Clasificación de los tipos de energía desde el punto de vista físico y el punto de vista práctico adaptado a los contenidos que estudian los alumnos en el curso de Física y Química de 1º de Bachillerato (elaborado a partir de los libros de texto de Física y Química consultados).

Desde el punto de vista físico la energía se clasifica en dos tipos:

- La **energía cinética**: que se asocia al movimiento de una partícula o de un sistema de partículas.
- La **energía potencial**: que se asocia a una partícula o a un sistema de partículas por el hecho de encontrarse en un campo de fuerzas conservativo.

Desde el punto de vista práctico la energía se clasifica en los siguientes siete tipos:

- La **energía mecánica**: que engloba a la energía a la energía cinética y a la energía potencial, tanto la gravitatoria que tiene posee cuerpo por estar a una cierta altura con respecto de la superficie terrestre, como a la elástica que posee un cuerpo debido a su deformación.
- La **energía electromagnética**: que incluye a la energía eléctrica y a la energía magnética, que además está contenida en la corriente eléctrica.

- La **energía química**: que es la energía que poseen los compuestos según la estabilidad de sus enlaces químicos y que se pone de manifiesto en las reacciones químicas.
- La **energía metabólica**: que es una energía que se produce en los seres vivos a razón de la oxidación de los alimentos que ingieren.
- La **energía térmica**: que es la energía interna de los cuerpos debido al movimiento o agitación térmica de las partículas que los componen.
- La **energía nuclear**: que proviene de las reacciones nucleares, como puede ser la desintegración de un elemento radiactivo.
- La **energía radiante**: que es la que posee la radiación electromagnética. La energía solar es la más importante de ellas pues de ella procede la mayoría de la energía de la tierra.

Esta es una de las posibles clasificaciones, y es similar en todos los libros de texto consultados.

3.3. Trabajo de una fuerza y energía cinética

Las **fuerzas que actúan** sobre una partícula o punto material, cuyas dimensiones son consideradas cero con respecto del entorno en el que se encuentran, pueden ser: bien **variables con respecto del tiempo** o bien **variables con respecto de la posición**.

En el caso de que la fuerza sea variable con respecto de la posición es necesario definir el **concepto de trabajo** para la descripción del movimiento. Si la fuerza es **constante** el trabajo se define como el producto escalar de la fuerza por el desplazamiento:

$$W = \vec{F} \cdot \overrightarrow{\Delta x} \quad (3.3.1)$$

La interpretación geométrica del producto escalar es la proyección de uno de los vectores sobre el otro. Por la propia definición del producto escalar de dos vectores:

$$W = |\vec{F}| \cdot |\overrightarrow{\Delta x}| \cdot \cos\theta \quad (3.3.2)$$

En donde se toman los módulos o longitudes de los dos vectores, y θ es el ángulo que forman. En el caso de que el dicho ángulo sea de 90° el trabajo será nulo, y en el caso

de que el ángulo sea de 0° el trabajo será máximo. Un sencillo cálculo de análisis dimensional permite definir **la unidad en el Sistema Internacional para esta magnitud física, que es el Julio**:

$$1J [=] 1N \cdot 1m \cdot s^{-1} = 1kg \cdot 1m s^{-2} \cdot 1m$$

Así que 1 *Julio* es el trabajo realizado cuando una fuerza de un *Newton* desplaza a una partícula una distancia de un *metro*.

Si se aplica una fuerza sobre un cuerpo se realiza un trabajo que produce una variación de su estado inicial. El cuerpo tiene entonces una capacidad para realizar un trabajo similar al que se realizó sobre él y a dicha capacidad para realizar un trabajo se le llama energía. Los dos conceptos están intrínsecamente relacionados así que se puede pensar en la energía como la capacidad que tiene un cuerpo para realizar un trabajo. De esta manera se tiene que tanto la energía como el trabajo se miden en las mismas unidades en el Sistema Internacional, en *Julios*.

Si un cuerpo está en reposo y se realiza un trabajo sobre él para que adquiriera una cierta velocidad todo el trabajo realizado se habrá convertido en energía cinética. La expresión para la **energía cinética** se deduce a partir de una de la ecuación del movimiento rectilíneo uniforme independiente del tiempo:

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x \Rightarrow \Delta x = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} \quad (3.3.3)$$

En donde v es la velocidad final y v_0 es la velocidad inicial, a es la aceleración y Δx es el desplazamiento. Además se utiliza la ecuación fundamental de la dinámica $\vec{F} = m\vec{a}$ en la que al tomar los módulos de los dos vectores se tiene que:

$$F = ma \quad (3.3.4)$$

Conviene destacar que en un curso de Física y Química de 1º de Bachillerato no se puede exigir a los estudiantes que manejen con soltura el cálculo vectorial, ya que se estudia en la asignatura de Matemáticas y la mayoría de los alumnos no relacionan los contenidos que se estudian en una u otra materia.

Llevando las expresiones (3.3.3) y (3.3.4) a la definición de trabajo, para el caso en el que el ángulo que forman los vectores \vec{F} y $\Delta\vec{x}$ es igual a cero:

$$W = F\Delta x \cos 0^\circ = F\Delta x = ma \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 \quad (3.3.5)$$

Así pues, la energía cinética del objeto que se mueve con una cierta velocidad \vec{v} es:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3.3.6)$$

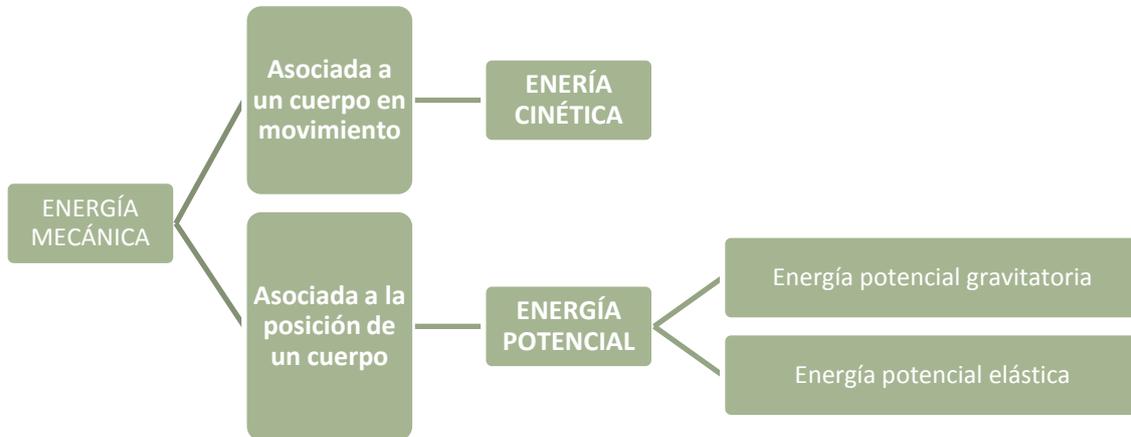
En donde m es la masa del objeto y v es su velocidad. La energía es una magnitud escalar con lo que la velocidad, tal y como aparece en la fórmula anterior, también es una magnitud escalar. Si el cuerpo inicialmente se movía con una cierta velocidad v , se tiene que el trabajo realizado se ha empleado para variar la energía cinética de la partícula:

$$W = \Delta E_c \quad (3.3.7)$$

$$W = E_{c_{final}} - E_{c_{inicial}} = \frac{1}{2}mv_{final}^2 - \frac{1}{2}mv_{inicial}^2 \quad (3.3.8)$$

A la expresión (3.3.7) se le conoce como *teorema de las fuerzas vivas* y se refiere al estado de movimiento de un cuerpo.

3.4. Energía potencial y energía mecánica



Esquema 2. Energía mecánica: cinética; y potencial gravitatoria y elástica. Esta clasificación es la misma en todos los libros de texto consultados para la elaboración de esta memoria (Elaborado a partir de los libros de texto de Física y Química consultados).

La energía es potencial cuando **la fuerza es conservativa o recuperadora**. En ese caso se dice que “el trabajo realizado va en contra de la fuerza y se almacena en forma de energía potencial”. A los estudiantes se les enseña que energía potencial puede ser de dos tipos:

- **Energía potencial gravitatoria:** que es la energía que tienen los cuerpos por el hecho de encontrarse en puntos cercanos a la superficie de la tierra.
- **Energía potencial elástica:** que es la energía que adquiere un objeto elástico como un muelle/resorte elástico cuando se comprime o se estira.

El trabajo realizado por una fuerza conservativa es igual a la variación de la energía potencial con un signo menos delante:

$$W = -\Delta E_p \quad (3.4.1)$$

La energía potencial depende de la posición de un cuerpo. Para deducir la expresión de la **energía potencial gravitatoria** de un cuerpo que está cerca de la superficie terrestre se utiliza la fuerza peso viene dada por:

$$P = mg \quad (3.4.2)$$

Con $g = 9,81m s^{-2}$ en puntos cercanos a la superficie terrestre y m la masa del objeto. A través de la definición de trabajo realizado para elevar verticalmente un objeto hasta una cierta altura:

$$W = F\Delta h \cos 0^\circ = F\Delta h = F(h - h_0) = mg(h - h_0) = mgh - mgh_0 \quad (3.4.3)$$

Y la energía potencial gravitatoria es:

$$E_p = mgh \quad (3.4.4)$$

El otro tipo de energía potencial que se presenta en esta sección es la **energía potencial elástica**, que se deduce a partir de la ley de Hooke:

$$\vec{F} = k\vec{x} \quad (3.4.5)$$

En este caso \vec{F} es una fuerza recuperadora que depende de la posición, \vec{x} es el vector de posición del objeto con respecto de la posición de equilibrio en la cual el muelle no está deformado y k es la constante de objeto expresada en Nm^{-1} . La fórmula para la energía potencial elástica se deduce a través de la siguiente construcción geométrica:

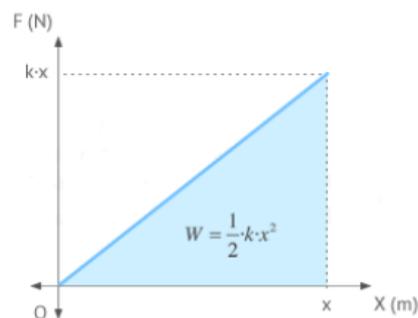


Figura 1. La energía potencial elástica se obtiene a partir de la ley de Hooke y de la definición de trabajo (Fiscalab).

Y se obtiene la expresión para la energía potencial elástica:

$$E_p = \frac{1}{2} kx^2 \quad (3.4.6)$$

Algunos libros de texto de Física y Química de 1º de Bachillerato indican que la expresión (3.4.6) puede deducirse a través del concepto de integral:

$$W = \Delta E_p = \int_0^x F dx = \int_0^x kx dx = \frac{1}{2} kx^2 \quad (3.4.7)$$

Y conviene señalar que los libros de texto añaden esta deducción cuando los alumnos aún no han estudiado el cálculo integral, con lo que no pueden comprenderla.

Entonces se tiene que la **energía potencial total de un cierto sistema** es la suma de dos energías, potencial gravitatoria y potencial elástica $E_p = E_{pg} + E_{pe}$.

La energía mecánica se define como la suma de energía cinética y energía potencial:

$$E_M = E_c + E_p = E_c + E_{pg} + E_{pe} \quad (3.4.8)$$

Y se tiene que las pueden devolver íntegramente el trabajo realizado.

3.5. *Energía potencial electrostática*

La fuerza electrostática, al igual que la fuerza gravitatoria, **es conservativa**. Por ello existe una energía potencial electrostática asociada a esas dos fuerzas. Los libros de texto de Física y Química de 1º de Bachillerato indican que cuando se realiza un trabajo en contra del campo eléctrico para desplazar una fuerza, el trabajo realizado sobre la carga se almacena en forma de energía potencial.

Así pues la **energía potencial electrostática** se define como:

“la energía que posee una carga eléctrica debido a la posición que ocupa en el espacio cuando actúa sobre ella un campo eléctrico (Física y Química Bachillerato Edebé, 2008)”.

Para una carga puntual q sometida a la acción del campo de otra carga puntual Q la energía potencial electrostática se calcula como:

$$E_{pel} = K \frac{Q q}{d} \quad (2.5.1)$$

Con $k = 9 \times 10^9 Nm^2 C^{-2}$ la constante de Coulomb, válida para el vacío.

3.6. *Energía interna*

Si se considera una pelota en reposo sobre la superficie terrestre, en donde la energía potencial gravitatoria es cero, entonces se tiene que su energía mecánica también es cero.

Falta por definir otro tipo de energía que posee la propia pelota por el hecho de ser un cuerpo no puntual formado por partículas: la **energía interna**. Si se considera a la pelota como sistema ha de tenerse en cuenta su energía interna, que es la que tienen sus partículas y es:

- Energía potencial: las fuerzas atractivas y repulsivas entre las partículas que la conforman.
- Energía cinética: a consecuencia de los movimientos de rotación, vibración y traslación de sus partículas.

Y de este modo, en los libros de texto de Física y Química de 1º de Bachillerato se suele definir energía interna como:

*“(...) **energía interna (U)** de un cuerpo a la energía total de las partículas que lo constituyen, es decir, a la suma de todas las formas de energía que poseen sus partículas: átomos, moléculas e iones (Física y Química Bachillerato Edebé, 2008).”*

Esta última definición es la que permite diferenciar entre dos conceptos diferentes pero muchas veces utilizados indistintamente: temperatura y calor.

3.7. *Intercambios de energía: calor y trabajo*

La **energía se puede intercambiar** bien en forma de trabajo, como ya se ha visto, o bien en forma de calor. Para entender qué es el **calor** es necesario considerar los cuerpos desde el punto de vista microscópico y tener en cuenta el movimiento de sus partículas. Se alude entonces a la **teoría cinético-molecular** que interpreta el calor como una forma de intercambio de energía o energía transferida.

El **calor**, al igual que el trabajo y al igual que la energía, **se mide en Julios en el Sistema Internacional** aunque existe otra magnitud también utilizada que es la **caloría**,

que se define a través del trabajo necesario para elevar 1°C la temperatura de 1 *gramo* agua, que es de 4,18 J. La equivalencia entre la caloría y el julio es:

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$$

$$1 \text{ J} = 0,24 \text{ cal}$$

Tanto la energía como el calor y el trabajo se expresan en la misma unidad, el *Julio J*, magnitud derivada del Sistema Internacional.

Una vez definidos los conceptos de energía así como las dos formas en las que la energía puede intercambiarse, calor y trabajo, puede presentarse la ecuación que las relaciona. Es el **primer principio de la termodinámica/termoquímica** para el caso de que el sistema bajo estudio sea cerrado, que intercambia energía pero no materia.

Si se produce un proceso con un intercambio de calor y de trabajo entre el sistema y el ambiente el cambio de energía interna del sistema es:

$$\Delta U = Q + W \quad (3.6.1)$$

El criterio termodinámico aceptado por la *IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry)* es:

- *Signo Positivo (+)*, para el trabajo y el calor que entran al sistema e incrementan la energía interna.
- *Signo Negativo (-)*, para el trabajo y el calor que salen del sistema y disminuyen la energía interna.

En el bloque de Termoquímica del curso de Física y Química de 1º de Bachillerato el trabajo de expansión-compresión realizado sobre un sistema como pudiera ser un gas se define como:

$$W = -p\Delta V \quad (3.6.2)$$

En donde el signo menos aparece por consonancia con el criterio de signos adoptado, p es la presión y $\Delta V = V_{final} - V_{inicial}$ la variación de volumen del sistema. Los libros de texto consultados también hacen alusión a que las variables termodinámicas son variables macroscópicas.

Se comentan los siguientes **casos particulares**:

1) Procesos a temperatura constante

En estos procesos la energía interna del sistema no varía:

$$Q = -W \quad (3.6.3)$$

El calor que absorbe el sistema lo emplea en realizar un trabajo de expansión.

2) Procesos a volumen constante

Durante el proceso el volumen no varía así que el trabajo realizado es $W = 0$. Se llaman procesos isócoros y en ellos se tiene que:

$$\Delta U = Q \quad (3.6.4)$$

3) Procesos a presión constante. Entalpía

Para expresar procesos que ocurren a presión atmosférica y en recipientes abiertos se emplea el concepto de entalpía cuyo valor viene dado por:

$$H = U + pV \quad (3.6.5)$$

Si hay variación de entalpía entonces se tiene que

$$\Delta H = \Delta U + p\Delta V + \Delta pV \quad (3.6.6)$$

Y como la presión atmosférica es constante durante el proceso:

$$\Delta H = \Delta U + p\Delta V \quad (3.6.7)$$

Al aplicar la ecuación de los gases ideales $pV = nRT$ queda representada como:

$$\Delta H = \Delta U + \Delta nRT \quad (3.6.8)$$

Con Δn la variación del número de moles (cantidad de sustancia) y $R = 0,08205746 \text{ atm L mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ la constante de los gases ideales. De esta manera el primer principio de la termoquímica mide la variación de la entalpía, magnitud utilizada habitualmente en química.

3.8. Ley de Hess

Una de las aplicaciones directas del primer principio de la termodinámica es la ley de Hess. Cuando una reacción química transcurre en varias etapas el calor absorbido o cedido por el sistema solo depende de las entalpías de formación de los reactivos iniciales y de los productos finales. La ley de Hess dice:

“Si una reacción química se realiza en varias etapas sucesivas la variación de entalpía de la reacción dependerá solamente de los estados inicial y final y no de cuáles sean las etapas que conducen a uno y otro estado.”

Como consecuencia de ello la entalpía de la reacción global es la suma de las entalpías de las reacciones intermedias. Esta ley permite calcular entalpías difíciles de determinar experimentalmente a partir de otras ya conocidas.

3.9. Conservación de la energía

La conservación de la energía es uno de los aspectos más importantes ya que la energía es una magnitud global que se conserva. Puede estudiarse desde el punto de vista de la física clásica, y desde el punto de vista de la física moderna.

3.9.1. Conservación de la energía mecánica: Física Clásica

Una serie de hechos hacen pensar que en ciertos procesos físicos hay una cierta cantidad que se conserva:

- 1) Si se deja caer una bola desde una cierta altura por un plano inclinado podrá subir por otro plano inclinado hasta la misma altura aunque la inclinación del otro plano sea distinta.
- 2) En un péndulo simple las oscilaciones se producen siempre hasta la misma altura.
- 3) Si tiramos una bola hacia arriba desde un lugar con una cierta velocidad, cuando llegue al mismo punto en su caída tendrá la misma velocidad.

Estos hechos pueden interpretarse desde el punto de vista de la energía: en todos los casos la energía es mecánica: cinética y potencial gravitatoria. En el primer ejemplo, la bola tiene una cierta energía potencial y según cae va adquiriendo energía cinética, su velocidad aumenta. Cuando vuelve a subir ocurre lo contrario, va adquiriendo energía

potencial y va perdiendo energía cinética. Algo similar ocurre en los otros dos ejemplos.

Por lo tanto:

$$E_{c_1} + E_{p_1} = E_{c_2} + E_{p_2} \quad (3.9.1.1)$$

En los tres ejemplos la energía mecánica, cinética más potencial gravitatoria, se conserva. Pero, ¿ocurrirá esto siempre? En los casos reales el sistema bajo estudio, la bola, pierde energía. Dicho de un modo más correcto, la intercambia con su entorno en forma de calor y trabajo. En el primer ejemplo la bola no subirá hasta la altura inicial en el segundo plano; en el segundo ejemplo el péndulo cada vez oscila con menor amplitud; y por último, la bola no llegará con la misma altura porque el aire la ha ido frenando.

En cualquier caso, la energía no desaparece sino que se el sistema la cede al entorno. Por ello es necesario definir bien el sistema que se estudia y su energía.

En un curso de Física y Química de 1º de Bachillerato se estudia el trabajo de una fuerza disipativa, como es la fuerza de rozamiento. Esta fuerza actúa en sentido opuesto al de desplazamiento y se expresa como:

$$W_{\text{rozamiento}} = F_{\text{rozamiento}} \Delta x \cos \theta \quad (3.9.1.2)$$

Este último concepto se enseña sin explicar el origen de dichas fuerzas ya que los alumnos no estudian las cuatro interacciones fundamentales en profundidad hasta el curso de Física de 2º de Bachillerato.

Y tendrá signo negativo. La ecuación (3.9.1.1) pasa a ser:

$$E_{c_1} + E_{p_1} + W_{\text{rozamiento}} = E_{c_2} + E_{p_2} \quad (3.9.1.3)$$

La expresión (3.9.1.3) es la conservación de la energía mecánica utilizada para la resolución de problemas como podría ser el de un bloque que cae por un plano inclinado. No podría ser utilizada en el caso de que la fuerza fuera dependiente de la velocidad. Por ejemplo: en el caso de una pelota cayendo por el aire, que es un fluido, la fuerza depende de la velocidad.

3.9.2. Conservación de la energía: Física Moderna

Algunos libros de texto aluden a que en el siglo XX Einstein publica la Teoría de la Relatividad Especial, incluyendo la ecuación de equivalencia masa-energía.

Hasta el siglo XX existían los siguientes dos principios de conservación:

- 1) **Ley de Lavoisier o principio de conservación de la masa:** los átomos son indivisibles e inmutables. Por ello, en una reacción química, los que estén presentes en los reactivos serán los mismos en número y clase que los que estén presentes en los productos. Con ello la masa será constante.
- 2) **Principio de conservación de la energía:** la energía total del universo permanece constante.

Con la publicación de Einstein de la Teoría de la Relatividad Especial las dos magnitudes anteriores, masa y la energía, se relacionan a través de la siguiente expresión:

$$E = mc^2 \quad (3.9.2.1)$$

Con $c = 299\,792\,458 \text{ km s}^{-1}$ el valor aceptado para la velocidad de la luz en el vacío.

A esa expresión se la conoce como equivalencia masa-energía y los libros de texto suelen interpretarla diciendo que la *energía en reposo puede convertirse en energía*.

4. PROPUESTA DE APROXIMACIÓN GLOBAL PARA EL ESTUDIO DE LA ENERGÍA EN BACHILLERATO

Una vez presentados los contenidos más relevantes de los conceptos trabajo y energía del curso de **Física y Química de 1º de Bachillerato** se realiza una discusión acerca de los mismos que se centra en dicho curso. Posteriormente se da una propuesta de aproximación global para el estudio de la energía junto con la resolución de supuestos prácticos a través de dicha aproximación.

4.1. *Discusión acerca de energía y trabajo en Bachillerato*

4.1.1. Teorema de la energía cinética

El trabajo y la energía pueden relacionarse a través del teorema de las fuerzas vivas (teorema trabajo-energía o teorema de la energía cinética). En los libros de texto de Física y Química de 1º de Bachillerato dicho teorema se expresa de la siguiente forma:

El trabajo realizado sobre un cuerpo por la fuerza resultante se emplea en variar su energía cinética.

$$W = \Delta E_C = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 \quad (4.1.1.1)$$

En primer lugar se comete un error muy común en el lenguaje empleado tanto por los libros de texto de secundaria y bachillerato consultados como por los libros de Física de nivel universitario. **El trabajo no se ha realizado**, sino que el trabajo es una de las formas de transferencia de energía entre el sistema y su entorno (Jewett Jr J. W., Energy and the confused student III: Language, 2008). Por otro lado, el alcance de aplicación del mismo presenta ciertos límites que veremos a través de los siguientes supuestos prácticos que también se estudian en el curso de Física y Química de 1º de Bachillerato:

1) Un gas ideal es comprimido a temperatura constante

Este supuesto práctico se corresponde a la parte de termoquímica. Para los procesos isotermos se utiliza el trabajo de expansión-comprensión asociado a los cambios de volumen:

$$W = -p\Delta V \quad (4.1.1.2)$$

En donde p es la presión ejercida sobre el sistema y ΔV es el cambio de volumen que experimenta el mismo. Por norma p y ΔV tendrán siempre signo opuesto. Si el sistema se expande ΔV será mayor que cero. Entonces, si se utiliza la expresión (4.1.1.2) el trabajo realizado es distinto de cero.

Por otro lado a los estudiantes se les ha enseñado el teorema de la energía cinética y según este se tiene que:

$$\Delta E_c = 0 \quad (4.1.1.3)$$

El gas se ha desplazado ya que ha sido comprimido, pero su velocidad inicial era cero y su velocidad final es también cero con lo que el trabajo realizado también es cero.

Así que en este caso se tiene que:

$$W \neq \Delta E_c \quad (4.1.1.4)$$

2) La rueda de una bicicleta de masa m rota sin desplazarse desde el reposo hasta que alcanza una cierta velocidad angular ω .

La rueda que inicialmente está en reposo rota hasta alcanzar una cierta velocidad angular ω , medida en rad/s en unidades del Sistema Internacional. La energía cinética de la rueda es entonces $E_c = \frac{1}{2}I\omega^2$ en donde I representa el momento de inercia de la rueda. Por el teorema de las fuerzas vivas se tiene:

$$W = \Delta \left(\frac{1}{2}I\omega^2 \right) = \frac{1}{2}I\omega^2 - 0 = \frac{1}{2}I\omega^2 > 0 \quad (4.1.1.5)$$

La energía cinética de la rueda ha aumentado y el trabajo realizado es positivo. Pero en la asignatura de Física y Química 1º de Bachillerato no se estudian los momentos de inercia. Un estudiante podría razonar lo siguiente: como la rueda rota pero no se desplaza, su velocidad es cero tanto al principio como al final. Por ello, si escribimos $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ en donde m es la masa de la rueda, tenemos que:

$$\Delta(E_c) = \Delta\left(\frac{1}{2}mv^2\right) = 0 - 0 = 0 \quad (4.1.1.6)$$

3) Una persona salta en un punto cercano a la superficie terrestre.

Cuando la persona salta el punto de aplicación de la fuerza es el suelo, y por la ley de acción y reacción aparece una fuerza de mismo modulo, dirección y sentido contrario que hace que la persona se desplace hacia arriba una cierta distancia. Claro está que la velocidad de esa persona un instante después de ejercer la fuerza contra el suelo es distinta de cero. Entonces se tiene que:

$$\Delta(E_c) = \frac{1}{2}mv^2 - 0 > 0 \quad (4.1.1.7)$$

Por otro lado, como ya se ha comentado, el trabajo es una forma de transferencia de energía. No puede decirse que la persona haya extraído energía del suelo, sino que dicha energía implicada en el proceso proviene de los alimentos que la persona ingirió previamente (energía química).

Así que en este caso:

$$W \neq \Delta E_c \quad (4.1.18)$$

Y de nuevo no se cumple el teorema de la energía cinética.

Las inconsistencias encontradas en los tres ejemplos anteriores bien podrían solucionarse expresando el teorema de la energía cinética de la siguiente forma:

“El trabajo realizado sobre una partícula es igual a la variación de la energía cinética de dicha partícula.”

Entendiendo que una partícula es un punto material de masa m cuyas propiedades internas o rotacionales no varían. Esta definición es adecuada pero a su vez limita el

alcance y validez del propio teorema. Llegamos entonces a que el teorema de la energía cinética solo se puede utilizar para ciertos casos particulares.

4.1.2. Concepto de calor

Si un alumno tuviera que responder a qué se refieren las siguientes definiciones:

- a) La propiedad que mide un termómetro.
- b) Energía de un cuerpo responsable de la medida de un termómetro.
- c) Energía de un cuerpo que se transfiere a otro a consecuencia de la diferencia de la propiedad medida por un termómetro.

Es probable que diese la respuesta erróneamente (Bauman, Physics that textbook writers usually get wrong: II. Heat and energy, 1992). Esto se debe principalmente a que en este caso el lenguaje cotidiano difiere del lenguaje científico. Uno de los cometidos del docente que sus alumnos alcancen la **alfabetización científica** y para poder hacer una clara distinción entre los tres conceptos anteriores, conviene explicarlos de forma precisa.

Se tiene entonces:

- a) La propiedad que mide un termómetro: la temperatura.
- b) Energía de un cuerpo responsable de la medida de un termómetro: la energía térmica.
- c) Energía de un cuerpo que se transfiere a otro a consecuencia de la diferencia de la propiedad medida por un termómetro: la energía térmica transferida.

El primer concepto, la temperatura, es una medida que no se puede determinar a través de una ley de conservación. El segundo es la energía térmica cuyo significado es más difícil de precisar. En un curso de 1º de Bachillerato se puede explicar como la propiedad que aparece a consecuencia del movimiento de las partículas que forman el sistema. El tercer concepto, energía térmica transferida suele llamarse como calor a pesar de que el término **calor** es menos preciso ya que no especifica intercambio de energía.

El primer principio de la termodinámica para un sistema cerrado:

$$\Delta U = Q + W \quad (4.1.2.1)$$

Se interpreta adecuadamente si se dice que Q es la energía térmica que se transfiere al sistema y W es la energía que se transfiere al sistema como trabajo. Para un sistema cerrado $\Delta U = 0$ podría darse que:

$$Q_{sistema} = -Q_{entorno} \quad (4.1.2.2)$$

$$W_{sistema} = -W_{entorno} \quad (4.1.2.3)$$

Y en el caso de que las dos ecuaciones anteriores no se cumplan ha de darse que:

$$(Q + W)_{sistema} = -(Q + W)_{entorno} \quad (4.1.2.4)$$

Y con esto se da a entender que no existe otra posible manera de transferencia de energía entre un sistema y su entorno cuando precisamente los dos conceptos anteriores, calor y trabajo, no están definidos para ciertos procesos como pudiera ser la transferencia de energía a un sistema a través de radiación electromagnética, tal y como lo estudian los alumnos en ciertos supuestos como el efecto fotoeléctrico. Por ello, sería adecuado definir alguna forma más de transferencia de energía entre el sistema y su entorno.

Por otro lado, en esta definición de trabajo no se está teniendo en cuenta el teorema de la energía cinética cuya validez se discutió anteriormente. Se tiene que

$$E_c = W \quad (4.1.4.5)$$

$$\Delta U \neq W \quad (4.1.2.6)$$

Así que en ese caso dicho trabajo, el empleado en variar la energía cinética, tampoco podría definirse adecuadamente.

4.1.3. Conservación de la energía

Algunos estudiantes que hayan interiorizado los conceptos de energía que se les han enseñado podrían llegar a preguntarse **cuál es realmente el principio de conservación de la energía** ya que en el curso de Física y Química de 1º de Bachillerato se les ha enseñado:

- En la parte de **Termoquímica**: los cambios de la energía interna de un sistema a través del primer principio de termoquímica.
- En la parte de **Mecánica**: la conservación de la energía mecánica que incluye posibles pérdidas de energía a razón de que las fuerzas no sean conservativas.

Las ideas que se les explica acerca de la conservación de la energía están yuxtapuestas pero son claramente inconexas: por un lado la Termodinámica y por el otro lado la Mecánica. Esto se debe principalmente a que el concepto de energía es un concepto global, pero a los estudiantes no se les enseña una aproximación global para el estudio de la misma, que es la que se propone a continuación.

4.2. Propuesta de aproximación global para el estudio de la energía

En esta sección se presenta una aproximación o enfoque global para el estudio de la energía. Los conceptos necesarios para su comprensión entran dentro de los contenidos de Física y Química de 1º de Bachillerato; algunos de ellos han sido estudiados en cursos anteriores de la asignatura de Física y Química.

4.2.1. La elección del sistema bajo estudio

Para estudiar la energía desde una aproximación global lo primero que hay que hacer es elegir adecuadamente el **sistema**. A pesar de que un experto en física podría resolver el problema para diferentes elecciones del sistema bajo estudio es importante enseñar cómo **un mismo problema se simplifica notablemente al elegir uno en particular**. Por ello la energía del sistema permanecerá constante si no hay transferencia neta de energía en forma de calor o en forma de trabajo entre el sistema elegido y el entorno (Chabay, Sherwood, & Titus, A unified, contemporary approach to teaching energy in introductory physics, 2019).

Cuando se va a resolver un problema de física se dice que la energía se conserva, cuando lo adecuado sería decir:

“La energía se conserva en un sistema aislado (Chabay, Sherwood, & Titus, A unified, contemporary approach to teaching energy in introductory physics, 2019).”

Para **escoger el sistema** en la aproximación global de la energía hay que (Jewett Jr, Energy and the confused student I: Work, 2008):

- 1) **Identificar el sistema.**
- 2) **Categorizarlo.**

1) **Identificar el sistema**

Identificar el sistema no es trivial. En el ejemplo típico de una pelota que cae en un punto cercano de la superficie terrestre se da por supuesto que el sistema es la pelota, cuestión que habría que discutir para poder analizar el problema adecuadamente.

Algunos ejemplos de posibles sistemas bajo estudio son los siguientes:

- Un único objeto.
- Dos objetos que interactúan entre sí.
- Más de dos objetos que interactúan entre sí.
- Un objeto deformable.
- Un objeto que rota.
- Una región del espacio sujeta a deformaciones.

Una vez elegido el sistema se puede **distinguir entre el sistema y el entorno**. En muchas ocasiones las fronteras del sistema coinciden con una superficie física, como la de una pelota. Se tiende a elegir como sistema aquello que tiene una frontera claramente visible, pero esto no es estrictamente necesario, y de hecho en el caso de la pelota que cae cerca de la superficie de la tierra esa elección no es la adecuada para abordar el problema desde la aproximación global.

2) **Categorizarlo**

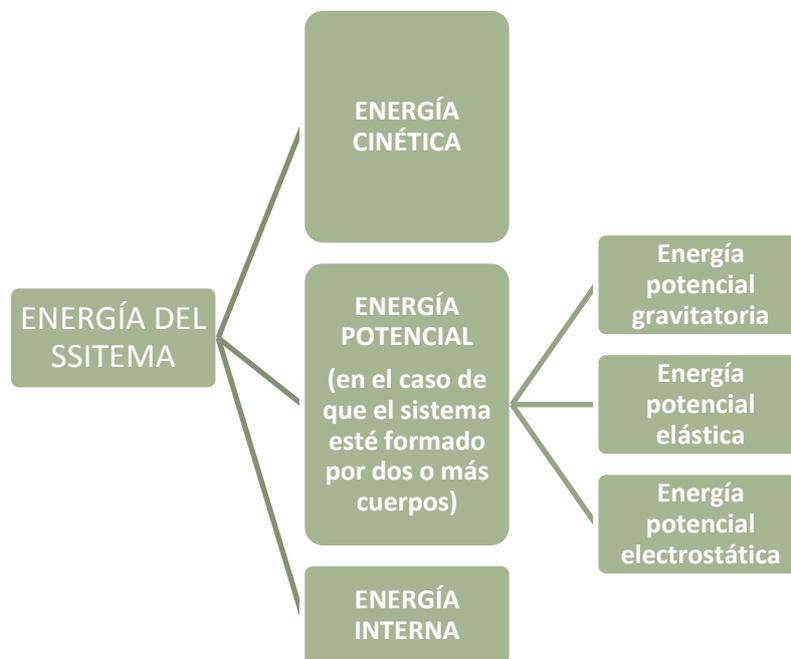
En la parte de Termoquímica de Física y Química de 1º de Bachillerato se enseña que los sistemas pueden categorizarse como:

- **Sistemas abiertos:** que pueden intercambiar materia y energía con su entorno en forma de calor y trabajo.
- **Sistemas cerrados:** que pueden intercambiar energía con su entorno, pero no materia.
- **Sistemas aislados:** que no pueden intercambiar materia ni energía, con lo que en este caso la energía del sistema no varía.

Es lo segundo que hay que hacer cuando se estudia el sistema para luego poder utilizar la aproximación global de la energía. Una vez categorizado el sistema se puede utilizar el mismo principio tanto para sistemas aislados como para sistemas no aislados.

4.2.2. Energía del sistema

Una vez escogido el sistema se define su energía, que con el método tradicional sería únicamente la energía interna. Con la aproximación global la energía del sistema se clasifica según el siguiente esquema:



Esquema 3. Energía del sistema en la aproximación global de la energía (elaborado a partir de los artículos que explican el enfoque global de la energía).

Veamos los tres tipos de energía, cinética, potencial e interna, a través de un supuesto práctico típico en el curso de Física y Química de 1º de Bachillerato: el caso de una pelota que cae cerca de la superficie de la tierra.

Primero se define al sistema formado por la tierra y la pelota como sistema aislado, que no intercambia energía ni materia.

1) Energía cinética

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

La energía cinética es la que posee cada uno de los cuerpos que conforman el sistema. En el caso de la pelota cayendo cerca de la superficie terrestre la energía cinética es la de la pelota, el cuerpo que se mueve. La masa de la pelota es mucho menor que la masa de la tierra así que la energía cinética de la tierra es despreciable frente a la de la pelota.

2) Energía potencial

En cuanto a la energía potencial, ya no se define como energía que depende de la posición de un cuerpo. En la aproximación global es definida como energía de configuración del sistema, y para ello ha de haber al menos dos cuerpos. Si la pelota está en reposo sobre la superficie de la tierra se diría que esa es *“la configuración del sistema tierra-pelota en la que la energía potencial es cero”*.

La energía potencial engloba a los tres tipos de energía que se estudian en el curso Física y Química de 1º de Bachillerato:

- Energía potencial gravitatoria:

$$E_{pg} = mgh$$

- Energía potencial elástica:

$$E_{pe} = \frac{1}{2}kx^2$$

- Energía potencial electrostática:

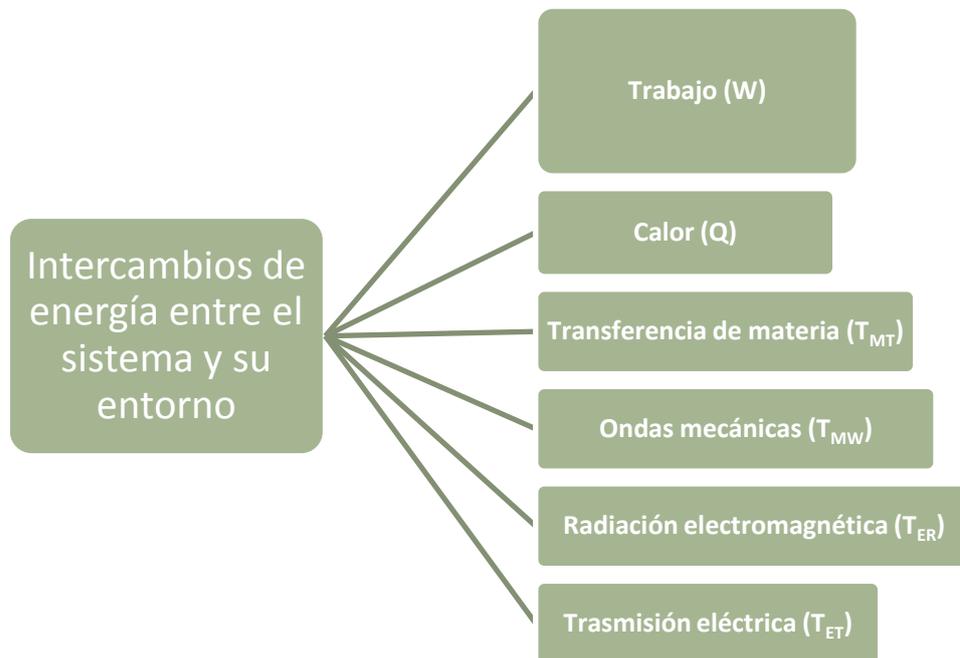
$$E_{pel} = k \frac{qQ}{d^2}$$

3) Energía interna

Se define la energía interna del sistema como U , e incluye la **energía cinética** de las partículas que conforman el sistema, tanto de rotación como de traslación, y la **energía potencial** entre las partículas que conforman el sistema.

4.2.3. Tráferencia de energía entre el sistema y el entorno

En la **aproximación global para el estudio de la energía** que se propone no solo se consideran en calor y el trabajo como formas de transferencia de energía sino que también pueden considerarse otros tipos de transferencia de energía entre el sistema y el entorno.



Esquema 4. Posibles formas de intercambio de energía entre el sistema y su entorno en la aproximación global de la energía (elaborado a partir de los artículos que explican el enfoque global de la energía).

La energía que cruza las fronteras/paredes del sistema puede ser:

W : Intercambio de energía entre el sistema y su entorno en forma de trabajo.

Q : Energía que cruza la frontera del sistema como consecuencia de la diferencia de temperatura entre el sistema y su entorno.

T_{MT} : Transferencia de materia entre el sistema y su entorno, teniendo en cuenta la energía que posee esa masa. Como ejemplo: al echar gasolina al tanque de un vehículo, se tiene que tener en cuenta la energía que se puede obtener mediante su combustión.

T_{MW} : Transferencia de energía entre el sistema y su entorno a través de ondas mecánicas. Ejemplo: ondas sísmicas.

T_{ER} : Transferencia de energía entre el sistema y su entorno a través de radiación electromagnética. Ejemplo: luz solar.

T_{ET} : Transferencia de energía entre el sistema y su entorno por transmisión eléctrica. Ejemplo: transmisión de energía de la batería de un circuito eléctrico a otro componente del circuito como un condensador.

Los estudiantes de 1º de Bachillerato están familiarizados con cada uno de los términos. Los conceptos de calor y trabajo; concepto de materia; y ondas mecánicas y electromagnéticas como transporte de energía pero no de materia se explican por primera vez desde el curso de Física y Química 2º de la ESO. El último término se estudia dentro del contenido circuitos eléctricos de 3º de la ESO.

4.2.4. Ecuación global de la conservación de la energía

La ecuación global para la conservación de la energía se escribe:

$$\Delta E_C + \Delta E_p + \Delta U = W + Q + T_{MT} + T_{MW} + T_{ER} + T_{ET} \quad (4.2.4.1)$$

Cada término es una magnitud que se mide en *Julios* para que la ecuación sea dimensionalmente correcta, y puede ser presentada como la **ecuación global del principio de conservación de la energía**.

Podría pensarse que la ecuación (4.2.4.1) contiene muchos términos para un alumno de un centro de educación secundaria. Sin embargo, si previamente se ha presentado la aproximación global de la energía esta resulta ser bastante intuitiva, ya que únicamente recoge información que los estudiantes de Física y Química de 1º de Bachillerato ya han estudiado previamente.

El **término izquierdo de la ecuación** se refiere a la energía del sistema: cinética, potencial e interna. El **término derecho de la ecuación** se refiere a la energía que atraviesa las fronteras del sistema.

Cuando quiera estudiarse un caso particular puede presentarse directamente la ecuación (4.2.4.1) y eliminar aquellos términos que sean innecesarios en el supuesto práctico. A modo de ejemplo, en el caso de que el sistema sea aislado y no intercambie ni energía ni materia con el entorno la ecuación (4.2.4.1) pasa a ser:

$$\Delta E_C + \Delta E_P + \Delta U = 0 \quad (4.2.4.2)$$

De este modo se va un paso más allá que con la forma “tradicional” en la que se enseñó la energía, ya que se incluye tanto a la energía cinética y potencial (electrostática, gravitatoria y elástica) como a la energía interna dentro de la energía del propio sistema. Así que si en un supuesto práctico, como era el caso de la rueda de la bicicleta, rota sin desplazarse, el problema puede resolverse considerando a la rueda como sistema, y explicando que no se desplaza y que lo que varía es su energía interna de rotación.

Por otro lado, en el caso de que se produzca una transferencia de energía al sistema en forma de trabajo sin variar las propiedades internas del sistema la ecuación (4.2.4.1) se escribe como:

$$\Delta E_C = W$$

Y así se obtiene el teorema de la energía cinética como caso particular de la ecuación global para la conservación de la energía.

4.2.5. Supuestos prácticos para 1º de Bachillerato

Se proponen una serie de supuestos prácticos para un curso de Física y Química de 1º de Bachillerato escogidos de manera que se muestran diferencias con respecto a la forma tradicional en la que se resuelven.

- 1) Una rueda de masa m y de radio R parte del reposo hasta alcanzar una velocidad v . Aplicar la aproximación global de la energía para dos sistemas diferentes: un punto de la rueda, la rueda en su conjunto. A partir de los resultados obtenidos calcular el momento de inercia de la rueda.

La ecuación de la conservación de la energía es la siguiente:

$$\Delta E_C + \Delta E_p + \Delta U = W + Q + T_{MT} + T_{MW} + T_{ER} + T_{ET}$$

Al considerar a la rueda como sistema se tiene que $\Delta E_C = 0$ ya que la rueda no se desplaza y que $\Delta E_p = 0$ ya que la rueda es el único objeto del sistema. La energía que entra en el sistema en forma de trabajo hace que varíe la energía interna de la rueda.

$$\Delta U = W$$

De la energía interna varía la de rotación, ya que la rueda rota. La ecuación de la conservación de la energía puede escribirse como:

$$\Delta U = \Delta U_{\text{rotación}} = \frac{1}{2}I\omega^2 = W$$

Fórmula que puede ser presentada a los estudiantes como energía de rotación.

Si el sistema es un punto de la rueda y sobre él se aplica una fuerza entonces la ecuación global para la energía es:

$$\Delta E_c = \frac{1}{2}mv^2 = W$$

En donde m es la masa de toda la rueda, ya que todos los puntos de la rueda se mueven solidariamente. La última expresión es el teorema de las fuerzas vivas. Igualando las dos expresiones anteriores, ya que en ambos casos el trabajo es el mismo:

$$\frac{1}{2}I\omega^2 = \frac{1}{2}mv^2$$

Como $v = \omega R$:

$$I = mR^2$$

- 2) La misma rueda del problema anterior cae rodando por un plano inclinado de altura h sin rozamiento. Calcular la velocidad con la que llegará a la base del plano inclinado. (nota: usar el resultado del ejercicio anterior).

En este caso el sistema escogido se compone de dos objetos: la tierra y la rueda. La configuración de energía potencial del sistema igual a cero es aquella en la que la rueda está en la base del plano. En este caso la ecuación de la conservación de la energía se reduce a la siguiente expresión:

$$\Delta E_c + \Delta E_p + \Delta U = 0$$

La energía cinética de la rueda en el punto más alto del plano inclinado es cero, al igual que la energía de rotación interna de la rueda. En ese mismo punto la energía potencial de configuración del sistema es máxima. La ecuación se plantea como:

$$\left(0 - \frac{1}{2}mv^2\right) + (mgh - 0) + \left(0 - \frac{1}{2}I\omega^2\right) = 0$$

$$\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 - mgh = 0$$

Por otro lado se tiene que:

- $I = mR^2$ (resultado del ejercicio anterior).
- $v = \omega R \Rightarrow \omega^2 = \frac{v^2}{R}$ (por definición).

Y sustituyendo en la ecuación de la conservación de la energía:

$$\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}mR^2 \frac{v^2}{R^2} - mgh = 0$$

$$2\left(\frac{1}{2}mv^2\right) = mgh$$

Y v se despeja como:

$$v = \sqrt{gh}$$

- 3)** Calcular la variación de la energía interna de un gas comprimido a temperatura constante.

Se parte de la ecuación de la conservación de la energía:

$$\Delta E_C + \Delta E_p + \Delta U = W + Q + T_{MT} + T_{MW} + T_{ER} + T_{ET}$$

Se considerará al gas como sistema cuya energía cinética no varía. Al ser un único objeto su energía es cinética es cero tanto al inicio como al final y lo que cambia es su energía interna. Se tiene:

$$\Delta U = -p\Delta V$$

Y no se ha considerado la variación de la energía cinética de cada una de las partículas que conforman el gas.

- 4) Dos cargas eléctricas puntuales de valor q están separadas una cierta distancia d . Calcular la velocidad de las cargas eléctricas cuando estén infinitamente separadas.

El sistema está formado por las dos cargas y la energía de configuración del sistema es la energía potencial electrostática, que será cero cuando la distancia entre las dos cargas sea infinita. En este caso la ecuación global de la conservación de la energía se escribe como:

$$\Delta E_{ec} + \Delta E_{pel} = 0$$

$$\left(2\frac{1}{2}mv^2 - 0\right) + \left(0 - 2k\frac{q^2}{d}\right) = 0$$

$$v = \sqrt{\frac{2kq^2}{md}}$$

- 5) Se deja caer una pelota de masa m desde una altura h en un punto cercano a la superficie terrestre. Despreciando el rozamiento con el aire, ¿qué velocidad tendrá la pelota un instante antes de llegar al suelo?

Partiendo de la ecuación de la conservación de la energía:

$$\Delta E_C + \Delta E_p + \Delta U = W + Q + T_{MT} + T_{MW} + T_{ER} + T_{ET}$$

Se tiene que para este problema la ecuación es $\Delta E_C + \Delta E_p = 0$. Solamente la pelota tendrá energía cinética. Se elige a la pelota en el suelo como configuración del sistema en el que la energía potencial del sistema pelota-tierra es cero. Entonces:

$$\left(\frac{1}{2}mv^2 - 0\right) + (0 - mgh) = 0$$

$$v = \sqrt{2gh}$$

Los dos siguientes problemas pueden abordarse por analogía con este último haciendo uso de la aproximación global de la energía.

- 6) Considerar cuatro esferas iguales de masa m . Entre ellas hay muelles comprimidos formando un cuadrado de lado h . Los cuatro muelles tienen masa despreciable, la misma constante elástica k y la misma longitud natural L . En la región del espacio en la que están situados no hay presencia de campo gravitatorio. En un momento dado los muelles se cortan y las esferas salen despedidas a la vez. ¿Con qué velocidad viajan las esferas cuando se separan del muelle?

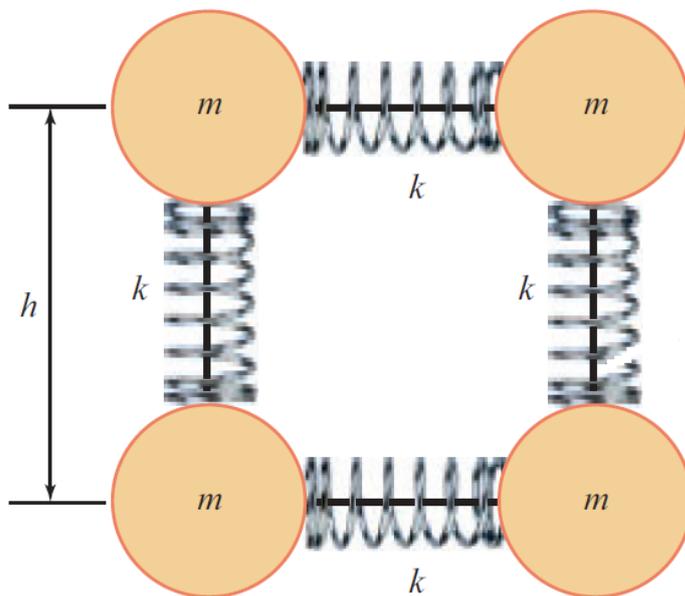


Figura 1. Sistema formado por cuatro esferas iguales de masa situadas en los vértices de un cuadrado de lado h . Entre ellos hay cuatro muelles de constante elástica k y de longitud L (Jewett Jr J. W., Energy and the confused student IV: a global approach to energy, 2008).

Este supuesto práctico puede ser resuelto por analogía con el anterior. En este caso se considera: la energía cinética de las cuatro esferas y la energía potencial de los cuatro muelles. Por simetría en el problema se sabe que los cuatro resortes almacenarán la misma energía potencial elástica y por lo tanto cada una de las cuatro esferas tendrá misma velocidad y energía cinética cuando se separe del sistema. En este caso la ecuación de la conservación de la energía se escribe como:

$$\Delta E_c + \Delta E_{pe} = 0$$

$$4 \left(\frac{1}{2} m v^2 - 0 \right) + \left(0 - 4 \left[\frac{1}{2} k (L - h)^2 \right] \right) = 0$$

Y se despeja v :

$$v = \sqrt{\frac{k}{m}(L - m)}$$

- 7) Este problema es similar al anterior. Ahora cada esfera de masa m tiene una carga eléctrica q y cada una de ellas está situada en el vértice de un cuadrado de lado h . ¿Con qué velocidad viajarán las esferas cuando estas estén infinitamente separadas entre sí?

En este ejercicio la ecuación de la conservación de la energía se escribe como:

$$\Delta E_c + \Delta E_{pel} = 0$$

$$\left[4 \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) - 0 \right] + \left\{ 0 - \left[4k \left(\frac{q^2}{h} \right) + 2k \left(\frac{q^2}{\sqrt{2}h} \right) \right] \right\} = 0$$

Y se despeja v :

$$v = \sqrt{\frac{kq^2}{mh} \left(2 + \frac{1}{\sqrt{2}} \right)}$$

Nota: tanto en este supuesto práctico como en el anterior se pone de manifiesto que sin la aproximación global de la conservación de la energía los alumnos no tendrían las herramientas para resolverlo. Por otro lado, ambos pueden resolverse tanto por energías o por fuerzas (más cinemática), siendo en el segundo caso notablemente más complicado.

- 8)** Plantear la ecuación de la conservación de la energía para un reproductor estéreo de sonido haciendo uso de la ecuación global de la conservación de la energía.

El sistema es no aislado ya que: emite sonido, onda mecánica; calor, su temperatura aumenta y transfiere calor a su entorno; emite una señal, onda electromagnética; y transfiere energía a través de los circuitos eléctricos que lo componen, transmisión eléctrica.

En este caso la ecuación global de la conservación de la energía se reduce a:

$$U = Q + T_{MW} + T_{ER} + T_{ET}$$

- 9)** Plantear la ecuación global de la conservación de la energía para una cortadora de césped desde que se le echa gasolina hasta que lleva un par de minutos funcionando.

La energía cinética se incrementa por el movimiento de los componentes de la máquina cortacésped, como el motor. La energía potencial aumenta ya que se echa gasolina en el tanque. El movimiento de la propia máquina hace que su energía térmica aumente, con lo que la energía interna aumenta.

La persona que maneja la máquina realiza un trabajo al tirar de la cuerda para que la máquina arranque. La máquina adquiere más temperatura con respecto de su entorno con lo que transferirá calor al mismo. También se echa gasolina a la máquina, transferencia de materia, y que la máquina emite sonido, onda mecánica.

En este caso el sistema es la máquina cortacésped y la ecuación global de la conservación de la energía se plantea como:

$$\Delta E_C + \Delta E_P + \Delta U = W + Q + T_{MT} + T_{MW}$$

- 10)** Plantear la ecuación global de la conservación de la energía para el filamento de una bombilla.

En este caso el sistema es no aislado. La energía entra al filamento por transmisión eléctrica T_{ET} y la abandona por transferencia de calor al entorno y en forma de luz, que es radiación electromagnética, Q y T_{ER} .

En este caso la ecuación global para la conservación de la energía se reduce a la siguiente expresión:

$$0 = Q + T_{ER} + T_{ET}$$

4.2.6. Supuestos prácticos de utilidad para la asignatura Física de 2º de Bachillerato

Se proponen tres casos de interés en un curso de Física de 2º de bachillerato a través de la aproximación global de la energía.

1) Concepto de campo

Uno de los conceptos más importantes estudiados en un curso de Física de 2º de Bachillerato es el concepto de campo conservativo: gravitatorio y electrostático.

Si consideramos como ejemplo de sistema a dos estrellas, cada una de ellas con la misma masa M en reposo en el vacío sin ningún otro cuerpo masivo alrededor, la ecuación para la conservación de la energía se escribe como:

$$\Delta E_1 + \Delta E_2 + \Delta E_p + \Delta E_{entorno} = 0$$

En donde $\Delta E_{1,2}$ representa la variación de energía de cada estrella, ΔE_p la variación de energía potencial gravitatoria y $\Delta E_{entorno}$ la transferencia de energía entre el sistema y su entorno. Como el entorno es el vacío el término $\Delta E_{entorno}$ es igual a cero. Entonces se tiene que la energía cinética aumenta según la energía potencial gravitatoria $-GM^2/r$ decrece.

Por otro lado el problema ha de poder resolverse para cualquier sistema escogido. Si se escoge a una de las dos estrellas como sistema se tiene que:

$$\Delta E_1 = W$$

Que es el teorema de las fuerzas vivas. Por otro lado, para esta elección del sistema del sistema se ha de cumplir que

$$\Delta E_1 + \Delta E_{entorno} = 0$$

Con esta elección del sistema el problema no puede resolverse: la energía E_1 aumenta razón de que la energía del entorno disminuya, y por otro lado se tiene que en el entorno hay otra estrella que también “gana” energía cinética. Para resolver el problema bajo esta elección del sistema es necesario dar cuenta de la energía del campo, gravitatorio en este caso. En este caso el campo gravitatorio pierde energía a razón de:

$$-\Delta E_1 - \Delta E_2 = 0$$

Con este razonamiento, un alumno de 2º de Bachillerato al que se le haya presentado la aproximación global de la conservación de la energía puede entender que el campo contiene energía.

2) Interpretación del principio de equivalencia masa-energía

La equivalencia masa-energía $E = mc^2$ a menudo suele malinterpretarse diciendo que *la masa se convierte energía*, lo cual no es correcto ya que una cierta cantidad medida en *kilogramos*, que es la masa, no puede cambiar a otra cantidad medida en *Julios*, que es la energía. Lo correcto sería decir:

La energía en reposo de un sistema puede transferirse a través de otros tipos de energía (Chabay, Sherwood, & Titus, A unified, contemporary approach to teaching energy in introductory physics, 2019).

Uno de los fenómenos estudiados en un curso de Física de 2º de Bachillerato es la radiactividad natural. Pongamos como ejemplo una desintegración alfa y escojamos al núcleo como sistema bajo estudio. En este caso las partículas alfa no existen como tal en el interior del núcleo del elemento. Lo que ocurre sucede es que algunos nucleones se agrupan en una configuración tal como la de las partículas alfa, núcleos de Helio. No puede decirse que la masa que sale del núcleo se haya convertido en energía. Lo correcto sería decir que el sistema bajo estudio, que es el núcleo, ha perdido una gran cantidad de energía que se reparte en forma de energía cinética entre el núcleo residual y la partícula alfa obtenida (Chabay, Sherwood, & Titus, A unified, contemporary approach to teaching energy in introductory physics, 2019).

La ecuación (2.8.2.1) implica entonces que si un cuerpo en reposo tiene masa entonces también tiene energía en reposo. Por otro lado los fotones no tienen energía en reposo pero sí cuando están en movimiento. Consecuentemente, la ecuación anterior, que da cuenta de diversos procesos y que es la que se estudia en el curso de Física de 2º de Bachillerato es incompleta. Un alumno podría decir llegar a razonar que

la masa en reposo para un fotón se puede calcular a partir de la ecuación (2.8.2.1) junto con la ecuación de Planck:

$$E = hf$$

$$E = mc^2$$

E igualando las dos expresiones y despejando m :

$$m = \frac{hf}{c}$$

Lo cual es incorrecto. Por lo tanto convendría introducir a los estudiantes la ecuación completa, que es la siguiente:

$$E^2 = m^2c^4 + pc^2$$

En donde p es el momento lineal, magnitud vectorial que también se conserva. Si el momento lineal $p = 0$ entonces $E = E_0 = mc^2$, que es la energía en reposo. Se propone una manera simple para introducir la última ecuación a los alumnos a través de la siguiente **construcción pedagógica** que implica al teorema de Pitágoras (YouTube, MinutoDeFísica, 2014):

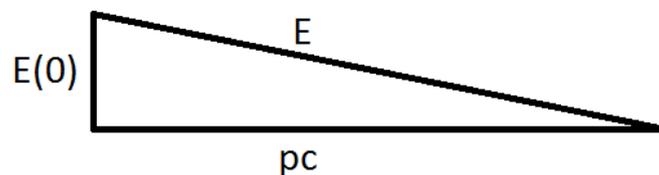


Figura 2. La construcción geométrica de la ecuación $E = E(0) + (pc)^2$ (Elaboración propia).

En el triángulo rectángulo la hipotenusa es la energía y al aplicar el teorema de Pitágoras se tiene que

$$E^2 = E(0)^2 + (pc)^2$$

Que da cuenta de lo siguiente:

- Si la partícula no se mueve entonces $p = 0$ y coincide que $E = E(0) = mc^2$.

- Si la partícula no tiene masa en reposo, como el fotón, entonces $E = pc$. Cuando la energía de una partícula se acerca a el producto pc menor será su energía en reposo y por lo tanto menor será su masa en reposo. Como la hipotenusa de un triángulo rectángulo es siempre mayor que cualquiera de sus dos catetos, una partícula con masa en reposo distinta de cero nunca podrá alcanzar la velocidad de la luz.

3) Efecto fotoeléctrico

El efecto fotoeléctrico, que también se estudia en un curso de Física de 2º de Bachillerato se puede presentar a los alumnos de forma más “natural” si antes se les ha enseñado la aproximación global de la conservación de la energía.

En el efecto fotoeléctrico un fotón incide sobre una superficie metálica arrancando un electrón ligado al metal. Si se identifica al sistema como al metal con un electrón la ecuación para la conservación global de la energía se expresa como:

$$\Delta E_C + \Delta E_p = T_{ER}$$

En donde ΔE_C es la variación de la energía cinética del fotón y ΔE_p la variación de la energía potencial de configuración del sistema metal-fotón. Por otro lado el término T_{ER} representa la energía transferida al sistema a través del fotón que incide sobre el metal.

En la configuración del sistema en la que el electrón está ligado al metal la energía potencial es $-U_0$. Entonces se tiene que $\Delta E_p = 0 - (-U_0) = U_0$. El electrón adquiere una cierta energía cinética K con lo que $\Delta E_C = K - 0 = K$.

Se puede reconocer al término $T_{ER} = hf$ que es la ecuación de Planck, para la energía del fotón. Así que la ecuación de la conservación de la energía se escribe:

$$K + U_0 = hf$$

De donde se reconoce a K como la energía cinética máxima del electrón y U_0 la función trabajo del metal.

5. PROPUESTA PARA IMPLEMENTAR LA APROXIMACIÓN GLOBAL DE LA ENERGÍA EN 1º DE BACHILLERATO

Para implementar la propuesta de aproximación global de la energía en un curso de Física y Química de 1º de Bachillerato se propone: en primer lugar introducir la aproximación global durante el curso; y en segundo lugar un seminario que puede realizarse durante las tres últimas sesiones del curso académico, una vez se haya impartido toda la asignatura a los alumnos, para abordar directamente el enfoque global de la energía.

5.1. Durante el curso

Dos de las dificultades que el docente encuentra en los estudiantes de centros de educación secundaria son:

- Que no comprenden a nivel global los conceptos que se les enseñan, cuando la energía es precisamente un concepto global.
- Que no suelen relacionar los conceptos que están relacionados entre sí pero que se estudian en diferentes bloques del temario, lo que también ocurre en el caso de la energía.

Es por ello que para poder introducir el enfoque global de la energía a los estudiantes que cursen la asignatura Física y Química 1º de Bachillerato de manera que lo puedan comprender, es necesario hacerlo de manera gradual. El currículo no solo establece lo que ha de enseñarse sino cómo ha de enseñarse. Así pues, si la intención del docente es introducir la aproximación global de la conservación de la energía ha de hacerlo de manera que no interfiera en el transcurso del curso, en aras de que los alumnos finalmente alcancen los objetivos que establece la ley educativa vigente.

Para poder introducir la aproximación global de la energía, el concepto de energía ha de presentarse desde un principio como un concepto global y como magnitud que se conserva. Sería conveniente comenzar la asignatura con el bloque de Química del temario ya que es ahí donde se estudian tanto el primer principio de la termodinámica/termoquímica, como los tipos de sistema que existen: abierto, cerrado y aislado.

La ecuación para la aproximación global de la conservación de la energía puede mostrarse al comienzo de la parte de termoquímica. Entonces, el primer principio de la termodinámica estudiado en la asignatura se plantea como un caso particular de la ecuación de la conservación global de la energía en el que el sistema es cerrado y

únicamente intercambia energía, pero no materia, con su entorno. Además los alumnos verán que se eliminan tanto la energía potencial de configuración del sistema como la energía cinética de cada componente del sistema, quedando únicamente el término de energía interna, que a su vez incluye varios tipos de energía. Como los alumnos ya han estudiado la energía mecánica, cinética y potencial, en cursos anteriores, ya están familiarizados con esos términos.

Posteriormente, en los temas correspondientes a la parte de Física, tanto la conservación de la energía mecánica como el teorema de las fuerzas vivas también pueden introducirse como casos particulares de la ecuación global de la conservación de la energía. De esta manera ya se ha presentado dicha ecuación (al menos) dos veces y a los alumnos les resultará familiar cuando se realice el seminario final en el que se les explica la aproximación global de la conservación de la energía.

5.2. A través de un seminario en la asignatura de Física y Química 1º de Bachillerato

1. Resumen

Energía y trabajo son dos conceptos importantes de la asignatura de Física y Química 1º de Bachillerato. De la energía destaca el principio de conservación de la energía, y para poder abordar dicho principio se propone un seminario para introducir a los estudiantes del curso de Física y Química de 1º de Bachillerato la aproximación global de la energía.

Así pues, en esta propuesta de seminario se trabajarán los contenidos trabajo y energía en tres sesiones. En la primera sesión se revisarán y discutirán los conceptos que se han estudiado durante el curso; en la segunda sesión se propondrá una aproximación global para el estudio de la energía; en la tercera sesión se resolverán una serie de supuestos prácticos a través de la aproximación global de la energía.

2. Motivación

La utilidad de esta propuesta de seminario es:

- Mostrar a los estudiantes que la energía es un concepto global.
- Dotarles de una herramienta que les pueda servir en un futuro, que es la aproximación global de la conservación de la energía.
- Motivarles a que en un futuro continúen estudiando física.

3. Introducción

3.1. Temática

La temática de esta propuesta de seminario tiene como eje principal a la energía, presente en todos los cursos de Física y Química de la Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato. Se busca trabajar con los alumnos el concepto de energía con el objetivo de que puedan entenderlo de forma global. Además se pretende fomentar el espíritu crítico del alumnado a través del debate.

3.2. Justificación

Los motivos por los que se lleva a cabo esta propuesta de seminario que versa sobre los contenidos de energía son:

- Mostrar a los alumnos un enfoque global de la energía.
- Proporcionarles una herramienta que les sirva en un futuro.

3.3. Competencias

A efectos de la **ECD/65/2015, de 21 de enero**, las **competencias clave** establecidas y trabajadas en la presente propuesta de seminario son las siguientes:

1. **Competencia en Comunicación Lingüística (CCL)**. Se va a poner de manifiesto en el debate en el que se discutirán aspectos relativos a los contenidos trabajo y energía. Los alumnos deberán:
 - Usar un vocabulario adecuado.
 - Expresarse e interpretar los conceptos de forma oral.
2. **Competencia Matemática y en Ciencia y Tecnología (CMCT)**. Se pondrá de manifiesto durante el desarrollo de todo el seminario. Los alumnos deberán:
 - Analizar los fenómenos físicos y aplicar el pensamiento científico para interpretarlos y predecirlos.
 - Reconocer la investigación científica como procedimiento para conseguir los conocimientos científicos logrados a lo largo de la historia.
 - Usar correctamente el lenguaje científico para transmitir adecuadamente conocimientos, hallazgos y procesos.

3. **Aprender a Aprender (AA).** Los alumnos deberán:

- Plantearse preguntas e identificar y manejar diferentes respuestas posibles.
- Saber transformar la información en conocimiento propio.

4. **Competencia Social y Cívica (CSC).** Se pondrá de manifiesto en el trabajo en grupo y durante los debates, deberán:

- Comunicarse de forma constructiva en el entorno de la clase, fomentando con ello el buen clima de aula.

3.4. Contextualización

Esta propuesta está dirigida a un curso de Física y Química de 1º de Bachillerato, asignatura obligatoria para un alumno que elija cursar el bachillerato, y dentro de este el itinerario de ciencias.

A efectos del *Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato*, los contenidos trabajados en este seminario se enmarcan dentro de los siguientes bloques:

- BLOQUE 4. Transformaciones energéticas y espontaneidad de las reacciones químicas.
- BLOQUE 8. Energía.

Y va dirigida a un grupo formado en torno a 20 alumnos, número adecuado para que los debates puedan realizarse de manera adecuada.

3.5. Temporalización

El seminario se realiza en tres sesiones, preferiblemente al finalizar el curso académico, ya que es en ese momento cuando los alumnos habrán estudiado tanto el bloque de Física como el bloque de Química del temario de la asignatura Física y Química de 1º de Bachillerato.

4. Objetivos

Los objetivos que se esperan alcanzar a través de esta propuesta de seminario son los siguientes:

- Revisar y discutir los conceptos de trabajo y energía estudiados durante el curso.
- Comprender el concepto de energía así como las formas de intercambios de energía a través de la aproximación global de la energía.
- Realizar una serie de supuestos prácticos haciendo uso de la aproximación global de la energía.
- Fomentar la argumentación científica de los alumnos a través del debate.
- Motivar a aquellos alumnos que vayan a cursar la asignatura Física de 2º de Bachillerato.

5. Temporalización, objetivos, contenidos y competencias de cada sesión

El seminario se realiza en tres sesiones. Cada una de ellas podrá realizarse en una hora lectiva de la asignatura Física y Química de 1º de Bachillerato, que dura en torno a los 55 minutos. Las tres sesiones se distribuyen como sigue:

TEMPORALIZACIÓN	OBJETIVO	CONTENIDOS	COMPETENCIAS
Sesión 1 (en torno a los 55 minutos)	Discutir los contenidos estudiados durante el curso relativos a trabajo y energía.	En esta primera sesión se discuten algunos aspectos estudiados durante el curso dando pie a que los alumnos debatan.	CCL CMCT AA CSC
Sesión 2 (en torno a los 55 minutos)	Presentar la aproximación global de la conservación de la energía	En esta sesión se presenta la aproximación global de la energía.	CCL CMCT AA

			CSC
Sesión 3 (en torno a los 55 minutos)	Resolver supuestos prácticos	En esta sesión se resuelven supuestos prácticos a través de la aproximación global de la energía.	CCL CMCT AA CSC

Tabla 1. Temporalización, objetivos, contenidos y competencias trabajadas en cada sesión.

6. Recursos

Los recursos para poder llevar a cabo esta propuesta de seminario son los siguientes:

- Personales: docente y alumnos.
- Materiales: aula con pizarra digital o tradicional, indistintamente.

7. Marco metodológico

La metodología que se plantea para llevar a cabo este seminario es la tradicional: se utilizará la pizarra tanto para la sesión teórica como para la resolución de supuestos prácticos. Ha de fomentarse la participación activa de los alumnos.

Para la explicación de la aproximación global de la energía se aconseja hacer uso de recursos visuales: tanto esquemas como mapas conceptuales que se les presentarán en la pizarra. Los alumnos deberán de tomar nota de ellos.

Para la resolución de supuestos prácticos es importante hacer uso de analogías, comparando las ventajas y los inconvenientes de la aproximación global de la energía frente a la forma tradicional. Posteriormente se resuelven supuestos prácticos más complicados únicamente con la aproximación global.

8. Desarrollo de cada sesión

Sesión	Distribución de la sesión
SESIÓN 1	Se debate en torno a: La conservación de la energía. (10 minutos) El teorema de la energía cinética. (20 minutos) Formas de intercambio de energía. (15 minutos) Concepto de calor. (10 minutos)
SESIÓN 2	Se presenta la aproximación global de la energía. Tipos de sistemas. (20 minutos).

	Ecuación de la conservación global de la energía (35 minutos).
SESIÓN 3	Resolución de supuestos prácticos: Organizadores previos: esquema resumen sobre la sesión anterior (10 minutos). Resolución de ejercicios (45 minutos).
Tabla 2. Distribución de cada sesión del seminario.	

9. Evaluación

9.1. Evaluación de los alumnos

Para llevar a cabo la evaluación del alumnado, se recurrirá al uso de una rúbrica de evaluación. Esta se corresponde con la participación del alumno y su actitud a lo largo del seminario, y se puntúa a través de la observación cualitativa del docente. Por lo tanto se evaluarán tanto el debate de la primera sesión como la participación en la resolución de supuestos prácticos de la última sesión.

ASPECTOS	4 EXCELENTE	3 SATISFACTORIO	2 MEJORABLE	1 INSUFICIENTE
Organización de las ideas	Todos los argumentos que presenta el alumno a lo largo del debate están organizados de forma lógica en torno a una idea principal.	La mayoría de los argumentos están organizados de forma lógica en torno a una idea principal.	Una parte de los argumentos no están organizados en torno a una idea principal de forma clara y lógica.	Los argumentos no están vinculados a una idea principal.
Debate realizado	Todos los argumentos son	La mayoría de los argumentos son precisos, relevantes y fuertes	Algunos argumentos son precisos, relevantes y fuertes, pero algunos son muy	Algunos argumentos no son precisos y/o relevantes

	precisos, relevantes y fuertes.		débiles.	
Uso de conceptos científicos	Cada punto principal está bien apoyado con varios conceptos científicos relevantes y/o ejemplos estudiados a lo largo del curso.	Casi todos los puntos principales están adecuadamente apoyados con varios conceptos científicos relevantes y/o ejemplos.	Cada punto principal esta adecuadamente apoyado con varios conceptos científicos y/o ejemplos; pero algunos de los conceptos científicos no son relevantes.	Los puntos principales no están apoyados por conceptos científicos.
Presentación y lenguaje	El alumno usa continuamente gestos, contacto visual, tono de voz, nivel de entusiasmo y el lenguaje adecuado.	El alumno por lo general usa gestos, contacto visual, tono de voz, nivel de entusiasmo y lenguaje.	El alumno algunas veces usa gestos, contacto visual, tono de voz , nivel de entusiasmo y lenguaje inadecuados	El alumno tiene un estilo de comunicación inadecuado
Comportamiento	Se comporta adecuadamente propiciando el buen clima de aula y participa activamente en el seminario, respetando a sus compañeros.	Se comporta adecuadamente pero no participa activamente en el seminario.	No se comporta adecuadamente	Interrumpe constantemente el ritmo del seminario

9.2. Evaluación de la propuesta de seminario

La propuesta de seminario será evaluada por los alumnos a través de la siguiente encuesta anónima realizada por ellos al finalizar la tercera sesión del seminario.

PREGUNTA	GRADO DE SATISFACCIÓN		
			
1) ¿Te parece útil la aproximación global de la energía?			
2) ¿Te han resultado de utilidad los supuestos prácticos realizados?			
3) ¿Te ha motivado el contenido trabajado a lo largo del seminario?			
4) ¿Consideras útiles los esquemas que se te han presentado?			
5) ¿El seminario te ha servido para entender los tipos de sistemas que existen?			
6) ¿El seminario ha fomentado tu espíritu crítico?			
7) ¿Has comprendido mejor el concepto de energía y los			

tipos de energía?			
8) ¿Has comprendido las diferentes formas de transferencia de energía?			
9) ¿Consideras que la aproximación global de la energía tiene ventajas con respecto a cómo se te presentó el concepto de energía durante el curso?			
10) ¿Los supuestos prácticos de han parecido adecuados al nivel de la asignatura durante el resto del curso?			
11) ¿Te ha ayudado a entender el significado de la conservación de la energía?			

10. Propuesta para el futuro

En vistas al futuro se propone comparar, dentro de un mismo centro educativo, cómo los alumnos entienden el concepto de energía en dos grupos diferentes de alumnos: uno de ellos ha estudiado la aproximación global de la energía, y otro de ellos únicamente la forma tradicional. Esta propuesta podrá realizarse al final del curso académico o al principio del curso siguiente cuando los alumnos estén cursando 2º de Bachillerato.

11. Medidas COVID

En el caso de que algún alumno no pudiera asistir al centro durante el seminario, puede seguirlo y participar activamente en él de forma telemática a través de la plataforma virtual prevista para ello.

6. CONCLUSIONES

De este Trabajo de Fin de Máster se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La importancia de energía y trabajo radica en su utilidad para el estudio de muchos fenómenos de la naturaleza, de ahí que sean contenidos que aparecen a lo largo de todos los cursos educativos, incluso en la Educación Primaria.
- Se ha observado que los conceptos energía y trabajo son explicados de forma poco precisa tanto por los libros de texto como por el propio personal docente y es necesario al menos revisarlos, tal y como se ha hecho en esta memoria.
- Los alumnos tienen dificultades para comprender conceptos a nivel global.
- Se debe ser pragmático. Si se quiere proponer algo nuevo como es el enfoque global de la energía es importante partir de los conocimientos previos de los alumnos para así conseguir que se llegue a ese acercamiento global.
- A través de mi experiencia en las prácticas del Máster de Educación Secundaria pude comprobar que realizar actividades tales como el seminario propuesto en esta memoria suelen dar buenos resultados. Hoy en día la función del docente no es meramente la de enseñar conocimientos que son fácilmente accesibles, sino dotar a los alumnos de herramientas para que puedan seguir formándose de manera autónoma y promover su desarrollo cognitivo y personal. Así pues se debe fomentar su espíritu crítico y su aprendizaje activo de manera que ellos mismos puedan ser partícipes en la construcción de su propio conocimiento a través de actividades como debates, que pueden realizarse en un centro de educación secundaria sin mucha dificultad. Con el seminario propuesto para introducir la aproximación global de la energía en un centro de educación secundaria, se puede proporcionar a los alumnos de una herramienta que les pueda servir en su futuro, y fomentar el espíritu crítico a través del debate.

Bibliografía

❖ DOCUMENTOS LEGISLATIVOS

ORDEN EDU/362/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo de la educación secundaria obligatoria en la Comunidad de Castilla y León.

Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato.

❖ ARTÍCULOS ACADÉMICOS

Bauman, R. P. (1992). Physics that textbook writers usually get wrong. *The Physics Teacher* , 30(5), 264-269.

Bauman, R. P. (1992). Physics that textbook writers usually get wrong: II. Heat and energy. *The Physics Teacher* , 30(6), 353-356.

Chabay, R. S., Sherwood, B., & Titus, A. (2019). American Journal of Physics. *A unified, contemporary approach to teaching energy in introductory physics* , 87(7), 504-509.

Harrer, B. W. (2019). Energy-interaction diagrams: Fostering resources for productive disciplinary engagement with energy. *American Journal of Physics* , 87(7), 520-526.

Hecht, E. (2021). Why the Concept of Potential Energy Must Be Frame Invariant. *The Physics Teacher* , 59(1), 27-29.

Jewett Jr, J. W. (2008). Energy and the confused student I: Work. *The Physics Teacher* , 46(1), 38-43.

Jewett Jr, J. W. (2008). Energy and the confused student III: Language. *The physics teacher* , 46(3), 149-153.

Jewett Jr, J. W. (2008). Energy and the confused student IV: a global approach to energy. *The Physics Teacher* , 46(4), 210-217.

Legge, K. A., & Petrolito, J. (2004). The use of models in problems of energy conservation. *American Journal of Physics* , 72(4), 436-438.

Meredith, D., & Ruzycki, N. (2019). *Introduction to the energy theme issue*.

Seeley, L., Vokos, S., & Etkina, E. (2019). Examining physics teacher understanding of systems and the role it plays in supporting student energy reasoning. *American Journal of Physics* , 87(7), 510-519.

Socolow, R. (2019). The Physics of Energy. *American Journal of Physics* , 87(7), 606-606.

❖ LIBROS

Atkins, P., & Jones, L. (2012). *PRINCIPIOS DE QUÍMICA*. Ed. Médica Panamericana.

Ballestero Jdraque, M., & Barrio Gómez de Agüero, J. (2002). *Física y Química 1º Bachillerato*. Oxford Education.

Barrio, J., Andrés, D. M., & Antón, J. L. *Física 2 Bachillerato*. Madrid: Editex.

Burbano de Ercilla, S., Burbano García, E., & García Muñoz, C. *Física General* (XXXI Edición ed.). Zaragoza: Mira Editores.

Chang, R. (2010). *QUÍMICA*. Ed. McGraw-Hill.
Física y Química Bachillerato Edebé. (2008). Barcelona: Edebé.

Marcelo, A., & Edward J., F. (1986). *Física* (Vol. I: Mecánica). ADDISON-WESLEY IBEROAMERICANA.

Ortega Girón, M. *Lecciones de Física. Mecánica 3. Departamento de Física Aplicada. Universidad de Córdoba*. Córdoba.

Rodríguez Cardona, Á., Pozas Magariño, A., García Pérez, J. A., Martín Sánchez, R., & Peña Sainz, Á. (2015). *Física y Química 1º de Bachillerato*. Madrid: McGrawHil Education.

Zubiaurre Cortés, S., Arsuaga Ferreras, J., & Garzón Sánchez, B. (2013). *Química Bachillerato 2*. Madrid: ANAYA.

❖ WEBGRAFÍA

FiQuiPedia. Recuperado el 2021, de <http://www.fiquipedia.es/>

Fiscalab. *Energía potencial elástica*. Recuperado el 2021, de <https://www.fiscalab.com/apartado/energia-potencial-elastica>

Wikipedia. (s.f.). Recuperado el 2021, de https://es.wikipedia.org/wiki/Criterio_de_signos_termodin%C3%A1mico

Wikipedia. (s.f.). *Criterio de signos termodinámico*. Recuperado el 2021, de https://es.wikipedia.org/wiki/Criterio_de_signos_termodin%C3%A1mico

Wikipedia. (s.f.). *Equivalencia entre masa y energía*. Recuperado el 2021, de https://es.wikipedia.org/wiki/Equivalencia_entre_masa_y_energ%C3%ADa#Introducci%C3%B3n

Wikipedia. (s.f.). *Equivalencia entre masa y energía*. Recuperado el 2021, de https://es.wikipedia.org/wiki/Equivalencia_entre_masa_y_energ%C3%ADa#Introducci%C3%B3n

Wikipedia. (s.f.). *History of energy*. Recuperado el 2021, de https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_energy

YouTube, MinutoDeFísica. (2014). Recuperado el 2021, de <https://www.youtube.com/watch?v=KsgpJAQpcfM>

