

UN USO SIGNIFICATIVO DE VARIACIONES Y CONSERVACIONES ENERGÉTICAS EN CONTEXTOS DIVERSIFICADOS

Eduardo A. Jaime Dorgan, Departamento de Física. Facultad de Ingeniería. UNSJ.
Argentina., ejaim@unsj.edu.ar

Escudero Consuelo, Departamento de Física. Facultad de Ingeniería; Departamento de
Biología. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. UNSJ. Argentina.,
cescudero@unsj-cuim.edu.ar

Resumen— La búsqueda por trascender la enseñanza tradicional asume múltiples formas. Dentro del objetivo de que los alumnos aprendan más y mejor, vale la pena explorar nuevos métodos e instrumentos o su fusión, como también temas generadores. Este trabajo muestra una iniciativa en ese sentido, a través de escenarios que promuevan en los estudiantes aprendizaje significativo entre otros aspectos, tales como definir estrategias y actividades experimentales integradas para reaprender conceptos —en esta ocasión— de energía y su variación en cursos de Física de 1er año de ingeniería. La práctica áulica central trata sobre el análisis del movimiento con retroceso de un objeto en un plano inclinado donde realizan trabajo fuerzas conservativas y no conservativas, despreciando la fuerza de fricción. En particular se trata la energía vinculada al sistema de medición y de registro de datos en tiempo real en un contexto tecnológico y didáctico amplio. Se utiliza como marco de referencia la Teoría de Aprendizaje Significativo de Ausubel persiguiendo diferenciar y reconciliar reflexivamente conservación de la energía, asociada a variables explícitas e implícitas en su modelización. Debemos reconocer que en el desarrollo aceptable del mismo, es importante que el alumno tenga predisposición para aprender, acompañado de un conjunto de saberes relacionados con el uso de algunos sistemas externos de representación.

Palabras claves — Conservación – Energía – Trabajo – Reflexión didáctica – Problematización

1. Introducción

El fenómeno más tangible y fundamental que observamos a nuestro alrededor es el movimiento. Sin embargo, estas características no lo hacen típicamente trivial.

En un análisis realizado hace algunos años (Escudero et. al. [6] y [7]) se aportaban fuertes y claras evidencias de que el movimiento no se constituía en un primitivo conceptual sobre el cual articular y generar la construcción de estructuras de pensamiento en el área. Estos estudios no sólo han otorgado cimientos más sólidos a la enseñanza de las ciencias (específicamente de la Física), sino que han puesto de relieve debilidades comunes de una resolución tradicional de problemas frecuentemente utilizada en cursos introductorios de Física.

A su vez la energía se constituye en un tópico que atraviesa distintas áreas de la Física y de numerosas otras disciplinas debido a lo cual se elige este modelo teórico analizando centralmente una situación problemática experimental. La propuesta busca ofrecer elementos

para afrontar situaciones nuevas, integrando contenidos a través de situaciones abarcadoras, y procura la formalización de los conceptos, favoreciendo la profundización ligada en forma significativa a la complejidad de la naturaleza y de la tecnología.

La educación formal viene buscando espacios educativos diversificados no sólo para hacer la enseñanza más atractiva sino en respuesta a los cambios socio-culturales contemporáneos de los estudiantes. Existen varias formas de actividades “externas” como bibliografía, experimentación, simulaciones, videos, etc. Consideramos a los espacios educativos diferenciados como ambientes situados fuera del aula, incluso fuera del espacio físico de la institución educativa, que tienen como propósito complementar la educación formal con el apoyo de uno o más profesores, ligados a un proyecto o no.

Para esto es necesario conocer previamente estos espacios para integrar los recursos existentes con el contenido trabajado en clase, permitiendo la construcción de significado científico. En ese sentido las prácticas pedagógicas deben mantenerse en consonancia con las directrices que resaltan la necesidad de instauración de una enseñanza que privilegie la crítica y la autocrítica de los educandos y que lo haga a partir de la integración/integralidad de las instituciones educativas.

Este trabajo muestra una iniciativa en ese sentido, a través de escenarios que promuevan en los estudiantes aprendizaje significativo, tales como definir estrategias y actividades experimentales integradas para reaprender conceptos de energía y su variación en cursos de Física de 1er año de ingeniería. Se avanza en la exploración del uso y no uso de las actividades del hombre con instrumentos contemporáneos (interfaces, sensores) de modo articulado a la comprensión de procesos de aprendizaje.

La energía se podría asociar a dos grandes aspectos: a una función de la temperatura y a un trabajo potencial. En cambio su variación se puede asociar a una transferencia de energía mediante dos grandes mecanismos (a) mediante trabajo de fuerzas, (b) mediante calor, ligado a diferencia de temperaturas. En esta comunicación nos centraremos en el ítem (a).

Esta comunicación tiene como propósito establecer mejores vínculos entre las concepciones y competencias en física y en matemática de los estudiantes, las acciones sobre el conocimiento en el mundo físico y social y las expresiones lingüísticas y simbólicas de ese conocimiento.

2. Marco teórico

La teoría cognitiva del aprendizaje significativo se basa en la proposición de que la adquisición y la retención de conocimientos son el producto de un proceso activo integrador e interactivo entre el material de instrucción y las ideas pertinentes en la estructura cognitiva del estudiante con la que las nuevas ideas se pueden enlazar de manera particular.

Según Ausubel [3] y [4] la naturaleza del aprendizaje significativo es, en parte, responsable de un almacenamiento de información fuertemente organizado en la mente, formando una especie de jerarquía conceptual. Es decir, que este constructo conlleva a una dinámica cognitiva que se explica a través de procesos tales como la asimilación, la diferenciación progresiva, la reconciliación integradora y la obliteración que facilitarían la transferencia.

Es importante reconocer que en el aprendizaje significativo no se quiere decir que una nueva información forma, simplemente, una especie de enlace con elementos preexistentes en la estructura cognitiva. Al contrario, es solamente en el aprendizaje mecánico en el que un enlace, arbitrario y no sustantivo, se produce con la estructura cognitiva preexistente. En el aprendizaje significativo, el proceso de adquisición de información resulta de un cambio,

tanto de la nueva información adquirida como del aspecto específicamente relevante de la estructura cognitiva con la cual está relacionada.

(Ausubel [2], p, iv) “Si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, diría lo siguiente: el factor aislado más importante que influye en el aprendizaje, es aquello que el aprendiz ya sabe. Averíguese esto y enséñese de acuerdo con ello”.

Ausubel ([2]:41) “La esencia del proceso de aprendizaje significativo es que ideas expresadas simbólicamente se relacionen, de manera sustantiva (no literal) y no arbitraria, con lo que el aprendiz ya sabe, o sea, con algún aspecto de su estructura cognitiva específicamente relevante (i.e. un subsumidor) que puede ser, por ejemplo una imagen, un símbolo, un concepto o una proposición ya significativos”.

Los conceptos constituyen un aspecto importante de la teoría de la asimilación¹ porque la comprensión y la resolución significativa de problemas dependen en gran medida de la disponibilidad –en la estructura cognitiva– de conceptos de orden superior (en la adquisición subsumidora de conceptos) y de conceptos subordinados (en la adquisición de conceptos de orden superior) Ausubel, [4].

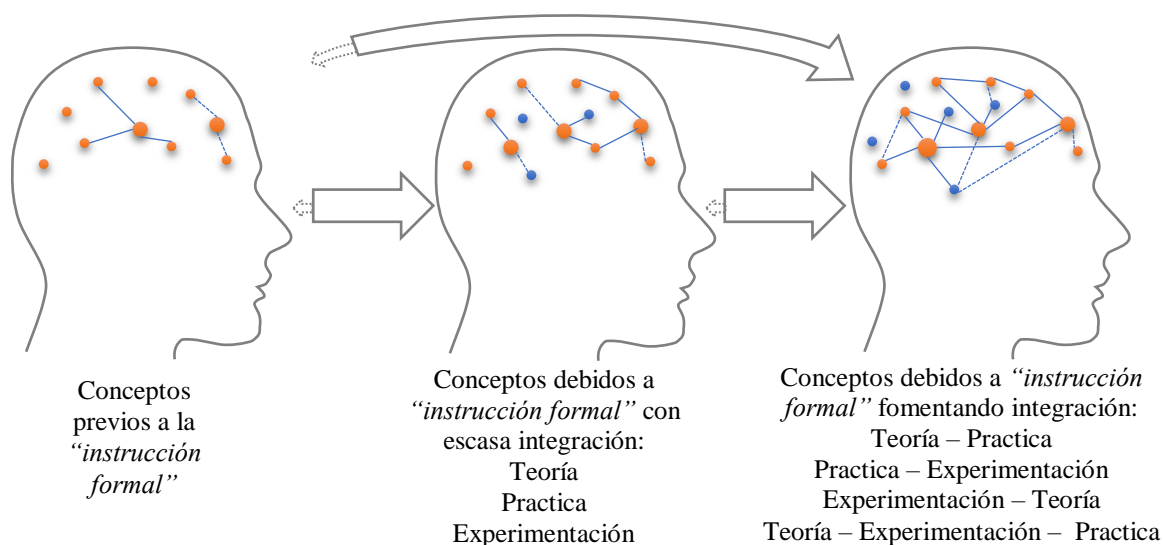


figura 1: Posibles estructuras cognitivas en individuos
Fuente: Elaboración propia

Es decir, aprender significativamente permitiría resolver nuevas situaciones problemáticas a partir del enriquecimiento alcanzado en la estructura cognitiva del resolutor dando significado al sistema modelado; mientras enseñar significativamente posibilitaría el establecimiento de relaciones entre elementos del mundo representado y del mundo representante² facilitando el anclaje de nuevas informaciones a la estructura cognitiva a través del discurso oral y escrito.

¹ La asimilación es el resultado de la integración que se lleva a cabo en el aprendizaje significativo, entre el nuevo material que se va a aprender y la estructura cognitiva existente, se puede decir, que inmediatamente después, comienza un segundo estadio de asimilación: asimilación obliteradora donde la memoria se reduce al menor denominador común. Siendo, el olvido una continuación temporal del mismo proceso que facilita el aprendizaje y la retención de nuevas informaciones.

² Si recordamos que alguna cosa –notación, signo, símbolo– es una representación (externa) en la medida que existe un proceso que pueda ser usado para interpretar esa representación (Markman

La adquisición de grandes corpus de conocimiento –como precisa la resolución de situaciones problemáticas en ciencias– es solo posible merced a la presencia de aprendizaje significativo. Es decir, de núcleos conceptuales firmes y a la vez flexibles frente a nuevas argumentaciones.

La resolución de problemas es considerada por Ausubel, la principal evidencia de aprendizaje significativo. Toda resolución genuina de situaciones problemáticas implica la revisión de ideas previas del aprendiz (“subsumsores”) en su estructura cognitiva y una negociación de significados consensuados científicamente. En esa instancia, la revisión de concepciones o ideas al enfrentarse a una situación problemática nueva o parcialmente nueva genera condiciones favorables para promoverlo. Se trata, por tanto, de la posibilidad de establecer relaciones entre conceptos que pueden pertenecer a campos de conocimientos distintos, todo en el marco de los procesos de enseñanza y de aprendizaje a los que está sujeto un individuo.

3. Propuesta didáctica

La situación central ha sido reveladora acerca de algunos de los puentes que siguen sin construirse en nuestros alumnos y de que la temática del movimiento ofrece una oportunidad única en ese sentido. Con frecuencia la continuidad del movimiento ha estado ausente en las secuencias de enseñanza, pasando directamente de las situaciones donde se conserva la energía mecánica, desvinculada y modelada de manera distinta a cuando varía.

Al comienzo de la propuesta para que los estudiantes reflexionen sobre el significado de energía y trabajo de fuerzas, se le proponen distintas actividades, entre ellas buscar videos, simulaciones, etc. en internet en relación a la temática, buscando formular preguntas que a su criterio sean significativas.

Mientras en la propuesta central se plantea una situación donde se contemplan dos zonas energéticas donde en una hay conservación y en la otra variación, unificándose bajo un único modelado. Habitualmente las situaciones problemáticas que se plantean proponen la variación de energía mecánica como negativa debido al trabajo de fuerzas disipativas, ello con los resultados que la mayoría de los profesores experimentados conoce: enormes esfuerzos para obtener pocos beneficios en términos de aprendizaje cuando enfrentan situaciones levemente diferentes.

En la propuesta hay trabajos de “fuerzas” impulsivas no conservativas tanto positivos como negativos, cuando la energía mecánica varía y cuando esta energía es constante el trabajo estará realizado por “fuerzas” de tipo conservativas.

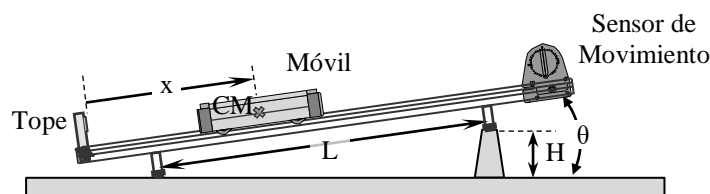


figura 2: Esquema del diseño para la actividad experimental.
Fuente: elaboración propia

(1999) en Escudero [5]), sin el cual, los otros tres elementos –*mundo representado, mundo representante y reglas de representación*– crean un potencial para la representación, pero no una representación en sí.

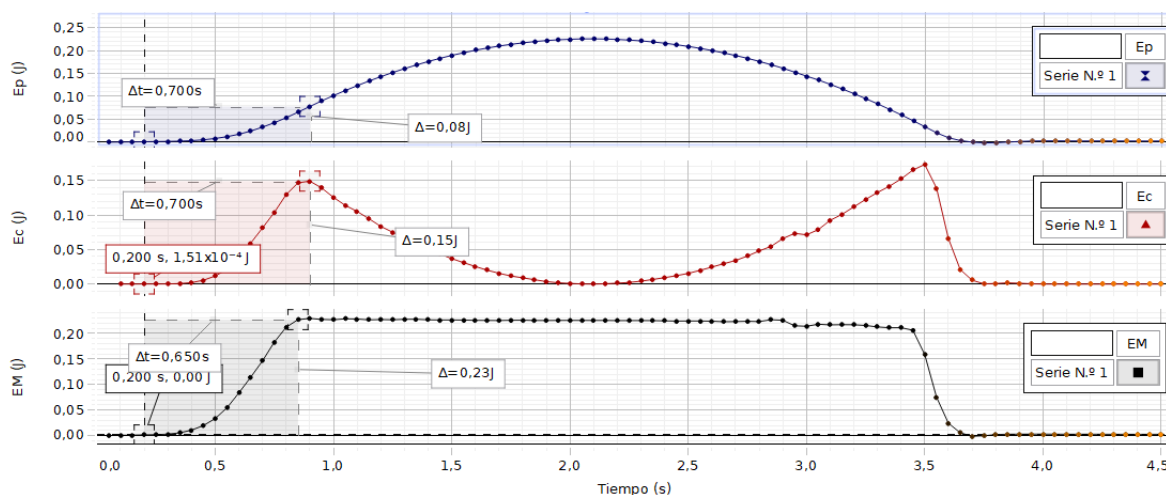
La práctica áulica central trata sobre el análisis del movimiento con retroceso de un objeto en un plano inclinado donde realizan trabajo fuerzas conservativas y no conservativas, despreciando el trabajo de la fuerza de fricción, luego de una primera aproximación al tema en clase teórico-práctica. En particular se trata la energía vinculada al sistema de medición y de registro de datos en tiempo real en un contexto tecnológico y didáctico amplio, como muestra la figura 2, sugiriendo analizar: ¿cuándo se conserva la *Energía Mecánica*?

Las respuestas registradas en su mayoría fueron de dos tipos: solo cuando actúan fuerzas conservativas y, si varía la energía mecánica es debido a que actúan fuerzas no conservativas tales como la fricción. Donde hay escaso registro que asocie esta variación al trabajo de las fuerzas mencionadas.

Como se puede apreciar en la figura 3, a medida que el objeto se mueve hay un registro en tiempo real de cómo varían las energías potencial gravitatoria, cinética y mecánica como función del tiempo, donde al estudiante se le proponen algunas preguntas y a su vez debe también poder formular otras.

Otro aspecto importante en el análisis de la figura 3 es el hecho que hay tres tramos de registro bien identificados:

1. Tramo con variación positiva de la energía mecánica.
2. Tramo donde la energía mecánica permanece constante pero no la energía cinética y la energía potencial gravitatoria.
3. Tramo con variación negativa de la energía mecánica.



Energías

figura 3: Registro de energías en experimentación: $E_p(t)$, $E_c(t)$ y $E_M(t)$.

Fuente: Software *PASCO capstone*

Comparando figuras 2 y 3 una de las potencialidades de cambiar de sistema de referencia es permitir la flexibilidad entre formas de analizar situaciones de manera absoluta y relativa. Aunque están aparentemente consolidados estos modos, algunas teorías psicológicas del aprendizaje proponen que al abordar nuevos temas, la racionalidad que se pone en juego se basa en pensamientos más elementales, como formas de pensamiento absoluto en lugar de formas de pensamiento relativo:

$$EM_f - EM_i = \Delta EM = W_{FNC}, \text{ haciendo } EM_i = 0 \rightarrow EM_f = W_{FNC}$$

Aquí cabe para el desarrollo de estos modelos energéticos –cuando se precisa analizar energía potencial– su variación y no su medición absoluta. Esto se logra durante una adecuada elección del sistema de referencia, lo cual es un detalle conceptual no menor según la forma de registro de datos.

La energía potencial vinculada al referencial elegido –y cómo influye si modificamos dicho referencial a través del sistema de medición y de registro de datos en tiempo real– no es lo relevante en los análisis energéticos asociados con trabajo, sino sus variaciones. Es importante comenzar a independizarse del cero en las mediciones de energía potencial.

Visualizar que la fricción no es necesariamente la única fuerza no conservativa que realiza trabajo es sustancial. En esta actividad actúa otro tipo de fuerza no conservativa que realiza trabajo positivo y negativo. Se trata de que un estudiante a través de tareas concretas examine y/o explore estrategias para generalizar abstracciones, ponga a prueba conjeturas, entre otras estrategias.

Desde nuestra experiencia y pesquisa tenemos registrado que es muy poderosa la noción de fuerza como interacción para explicar modelos de base energética o cinemática donde precisamente no sería la variable apropiada para su explicación. Se avanza a partir de algunas concepciones alternativas.

4. Análisis de la Implementación

Si nos preguntamos: ¿cuándo un docente tiene indicios de que un estudiante está aprendiendo?; y es más, ¿cuándo ese estudiante tiene indicios de que está aprendiendo?, estamos frente a una reflexión didáctica.

Específicamente en nuestro caso la estrategia que se utiliza –favorecer la formulación de hipótesis, entre otras– para visualizar la integración y flexibilidad en el pensamiento del estudiante para captar diferencias entre variaciones, energías, trabajos y fuerzas. Además colaboran en el mismo sentido preguntas tales como:

-Si la energía mecánica en un sistema permanece constante, ¿qué puede decirse acerca de las fuerzas que actúan en el sistema?

-Y si la variación de la energía mecánica es distinta de cero, ¿a qué se puede igualar?

En síntesis, se trabajan dos aspectos centrales; por un lado, las fuerzas como variables explícitas –incorrectamente relacionadas al concepto de variación de energía– cuando deberían asociarse al trabajo de las mismas; y por otro lado, el tiempo –implícito– que habitualmente no se tiene en cuenta. Si recordamos la pregunta inicial: ¿cuándo se conserva la *Energía Mecánica*? y las respuestas más frecuentes; éstas no incluyen el hecho de que si actúa (o no) una fuerza, no es condición suficiente para saber si realiza trabajo.

Uno de los estudiantes afirmaba:

R₃.- Ahhh!! De las fuerzas no conservativas no puedo saber nada; pero sí puedo saber que su trabajo es nulo.

Esta respuesta se obtuvo después de explicitarse:

$$W = \vec{F} \cdot \Delta\vec{r} = |\vec{F}| \cdot |\Delta\vec{r}| \cdot \cos\theta$$

El trabajo elemental de una fuerza depende de la fuerza, del desplazamiento y de las direcciones relativas entre estos dos vectores, donde un trabajo nulo se puede obtener inclusive cuando hay fuerza distinta de cero.

El hecho de que la variación de energía mecánica sea positiva, como fue registrado, es un obstáculo cognitivo a superar, ya que en la mayoría de las situaciones-problema resueltas, el trabajo de fuerzas no conservativas es debido a una fuerza de fricción dinámica; por tanto, negativo. En este caso la calidad del equipo utilizado permite realizar aproximaciones que desprecian el trabajo de la fuerza de fricción. Entonces, la variación de energía mecánica positiva, ¿fue debida al trabajo de qué fuerza?

También se puede analizar que aunque la energía mecánica se conserva entre el punto de mayor altura y la posición más baja, la variación de energía cinética se puede asociar al trabajo realizado por el potencial gravitatorio. Este modo de preguntar acerca de cómo se relacionan variaciones de energía en forma directa con trabajo de fuerzas –y recién vincularse a la fuerza y al desplazamiento– permite articular conceptos a futuro como *potencial eléctrico*. Si se imagina un electrón en reposo dentro de un capacitor con una diferencia de potencial determinada, su variación de energía cinética se puede asociar al trabajo realizado por el potencial eléctrico y además esta variación es la misma, ya sea que las placas del capacitor estén separadas entre sí un milímetro o un metro. Es decir, que este concepto permite ver un invariante: el trabajo para una fuerza aun cuando varíe la fuerza y el desplazamiento, manteniendo siempre constante su producto.

5. Conclusiones

Las nociones físicas tienen la particularidad de aunar la colaboración de la razón y de la experiencia. Es importante para el estudiante la visualización de la energía y su evolución en el tiempo cuando explícitamente esta variable no participa en el modelado físico matemático de la situación, y por lo general cuando se lo trabaja como problema o en teoría se suelen comparar dos configuraciones de la situación y su conservación. Con la idea de que una variación de energía es el trabajo de algún tipo de fuerza podemos proponer:

$$W_F = \vec{F}(t) \cdot \Delta\vec{r}(t), \quad \text{así la variable tiempo puede ser explicitable.}$$

Aquí se ha perseguido captar la complejidad progresiva del conocimiento y descomponer interactivamente entre estructuras simples y complejas interviniendo intencionalmente en la búsqueda de significatividad y no arbitrariedad.

La enseñanza de la Física necesita restablecer una conexión con prácticas pedagógicas en espacios educativos diversificados, que sean abordados por los docentes con el objetivo de crear trayectorias pedagógicas que no sólo estimulen el interés de los estudiantes por los contenidos afines. Por lo tanto, la propuesta de trabajo se ha caracterizado por incluir espacios donde se realizan algunos tipos de actividades complementarias como: videos YouTube, applets, trabajos de campo, etc.; para problematizar ambientes cuyos contenidos fueron introducidos en clase. Los espacios como existen pueden ser institucionales o no, sólo que sirvan como instrumento crítico en la construcción de la enseñanza y el aprendizaje. En estos ambientes los docentes pueden construir una educación científica a través de prácticas educativas diversificadas, a condición de que el alumno tenga predisposición para aprender, acompañado de un conjunto de saberes relacionados con el uso de algunos sistemas externos de representación.

6. Referencias Bibliográficas

- [1] Alonso, Marcelo; Finn, Edward. (1995). *“Física”*. Addison-Wesley Iberoamericana.
- [2] Ausubel, D.P.; Novak, J.D. And Hanesian, H. (1978). *“Educational psychology: acognitive view”*. 2nd. ed. New York, Holt Rinehart and Winston.
- [3] Ausubel, D. P. (1983), *“Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo”*. Ed. Trillas (2º edición), México.
- [4] Ausubel, D. P. (2002), *“Adquisición y retención del conocimiento. Una perspectiva cognitiva”*. Ed. Paidós, Barcelona.
- [5] Escudero, C. (2005) Inferencias y modelos mentales: un estudio de resolución de problemas acerca de los primeros contenidos de Física abordados en el aula por estudiantes de nivel medio. *Tesis doctoral*. Universidad de Burgos- Universidad Federal de Rio Grande do Sul.
- [6] Escudero, C.; González, S. y Jaime, E. (2005), “El análisis de conceptos básicos de física en la resolución de problemas como fuente generadora de nuevas perspectivas. Un estudio en dinámica del movimiento circular.” *Revista de Educación y Pedagogía de la Universidad de Antioquia (Medellín, Colombia)*, Vol. XVII (43): 63-78.
- [7] Escudero, C.; Jaime, E. y González, S. (2014), “Un estudio sobre ideas variacionales a través de la resolución de problemas. El caso de la intensidad Sonora”. *Revista de Enseñanza de la Física*, Vol. 26, Número Extra: 109-119.
- [8] Moreira, M. A. (2000 a). *“Aprendizaje Significativo: teoría y práctica”*. Ed. Visor. Madrid.
- [9] Moreira, M. A. (2000 b). “Aprendizaje significativo crítico”. *Atas do III Encontro Internacional de Aprendizagem Significativa*. Peniche. Portugal, págs. 33/45. (Traducción de Ileana Greca).
- [10] Paul G. Hewitt (2007), *“Física Conceptual”*. 10ma edición, Ed. Pearson educación.
- [11] Resnick, Robert; Halliday, David; Krane, Kenneth S. (2011) *“Física: volumen 1 y 2”*. 5ta edición inglés 4ta. español, Ed. Grupo Editorial Patria.

6.1 Algunos Enlaces a Internet Propuesto a Estudiantes:

- <https://phet.colorado.edu/es/simulations/category/physics/work-energy-and-power> –(Phet, interactive simulations – University of Colorado Boulder)–
- https://www.youtube.com/watch?v=Jar3e_5zKyI&list=PLgeh_RfSoZhLz1FLI7TvrBPZ_Wz5KrjZPB&index=14 –(Clase 5: Problema 4 pista con un resorte al final y zona con fricción; César Antonio Meló)–
- <https://www.youtube.com/watch?v=WgLV3zkDjhc> –(PASCO Capstone Playback, Movie Synching, and Calculations)–
- <https://www.youtube.com/watch?v=xaXMeFiefqI&t=752s> –(PROYECTO FINAL: Fundamento de Física, Análisis de la Conservación de Energía en una montaña rusa)–