

Aprendizaje de la energía mecánica y sus propiedades desde la perspectiva estratégica



Alba Margarita Picos Lee^{1,2}, César Mora²

¹Departamento de Ciencias Nivel Preparatoria, Colegio Félix de Jesús Rougier.

Loma de Oro 501, Colonia Lomas de Rosales; Tampico Tamaulipas, México. CP 89100.

²Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada Unidad Legaria del Instituto Politécnico Nacional. Av. Legaria # 694, Col. Irrigación Del. Miguel Hidalgo, CP 11500 Ciudad de México.

E-mail: albapicos@yahoo.com.mx

(Recibido el 23 de enero de 2020, aceptado el 30 de marzo de 2020)

Resumen

La energía representa uno de los conceptos más potentes, fructíferos y unificadores de la Física y, por lo tanto, es un tema desafiante a cualquier nivel educativo. Las dificultades académicas en torno a su aprendizaje, sugieren que las deficiencias conceptuales de los estudiantes en cursos de Física introductorios se deben a que la naturaleza de los conceptos que fundamentan su estudio pueden resultar complejos y difíciles de abordar, incluso para los profesores. Así mismo, la introducción tardía de los temas de energía en la curricula escolar repercute en que éste sea visualizado como poco importante por los estudiantes. Un área de oportunidad en torno a la enseñanza y aprendizaje de la energía en el ámbito de la Física, es procurar un tratamiento más preciso de los conceptos vinculados a este crucial tema. Este artículo propone el diseño de estrategias didácticas que permitan una comprensión más precisa, clara y significativa de la energía y sus propiedades en cursos introductorios de Física a nivel Preparatoria, que además de preparar a los estudiantes de Preparatoria para aprendizajes más complejos en torno a este tema en niveles posteriores de su educación, contribuya a la construcción de una muy necesaria cultura de su uso racional.

Palabras clave: Enseñanza de la energía mecánica, Perspectiva estratégica en el aprendizaje de la energía, Enseñanza sobre la energía y sus propiedades, Aprendizaje en línea.

Abstract

Energy represents one of the most powerful, fruitful, and unifying concepts in Physics and is therefore a challenging subject at any educational level. The academic difficulties around it, suggest that the conceptual deficiencies of students in introductory Physics courses are due that the nature of the energy concepts can be complex and difficult to address, even for teachers. In addition, its late introduction results in it being seen as unimportant by students. An opportunity to improve the energy instruction, is a specific and more precise treatment of the concepts related it. This article proposes the development of instructional strategies that allow a more precise, clear and meaningful understanding of energy and its properties, in order to prepares High School students for more complex learning in further studies, as well as contribute to the construction of a necessary culture of its wise use.

Keywords: Mechanical energy instruction, Strategic perspective on energy learning, Instruction of energy and its properties, On-line learning.

PACS: 01.40.gb, 01.40.-di, 01.40Fk,

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN AL CONCEPTO DE ENERGÍA Y SUS PROPIEDADES

A. Concepto inicial de energía

Con base en el hecho de que, para estudiar el comportamiento de la naturaleza es necesario delimitar la realidad que se desea conocer, un punto de partida en el estudio de la energía radica en la delimitación del sistema de estudio. En un curso inicial de Física, como es el caso de esta propuesta, los sistemas que se abordan con los estudiantes por lo general, se

circunscriben al caso de una partícula o un sistema de partículas que interactúan entre sí. Independientemente de la naturaleza del sistema, es importante destacar desde un inicio del proceso instruccional la noción de un sistema y su clasificación.

Un acercamiento inicial al concepto y análisis de la *energía*, es visualizarla como la capacidad de un sistema para producir cambios en su interior o en su entorno. Esta capacidad de producir cambios puede adoptar múltiples formas o mecanismos. Para efecto de este proyecto, se hará referencia fundamentalmente a la *energía mecánica*, que está

presente en los cuerpos en movimiento o bajo la acción de campos gravitacionales.

Si bien la perspectiva de plantear el concepto de energía como capacidad de un sistema para producir cambios ha sido objeto de críticas por diversos autores a nivel universitario [6, 7, 8, 9, 10, 11] argumentando, por ejemplo, que aquello que hace que un proceso ocurra no podemos relacionarlo con las variaciones de energía, sino con el aumento de entropía [12], hay que tomar en cuenta que las aproximaciones cuantitativas al concepto de energía también pueden ser objeto de reduccionismo conceptual. Un tratamiento cuantitativo inicial de la energía, transmite una visión distorsionada y empobrecida de la ciencia [13] que puede bloquear todo el proceso de construcción de conocimientos y suele generar actitudes de inhibición y rechazo por parte de los estudiantes.

Hay que considerar que las aproximaciones cualitativas no deben juzgarse a la luz del cuerpo de conocimientos ya desarrollado o 'saber sabio' [14], sino a la luz de su capacidad para facilitar el proceso de su construcción, durante el cual, los planteamientos iniciales deben evolucionar hacia concepciones más elaboradas, que deben ser adecuadamente mediadas mediante la instrucción. Más que la búsqueda de un concepto 'correcto' de la energía como punto inicial, debe promoverse que los conocimientos científicos son construcciones tentativas destinadas a evolucionar.

Desde la perspectiva del aprendizaje estratégico [15], es de interés asociar el estudio de la energía con los *cambios* o las *transformaciones* de la materia [5,16], puesto que éste enfoque favorece una visión más global para su estudio y permite abordar la fundamental contribución de la Física sobre la comprensión y transformación del mundo en términos energéticos, así como sus consecuentes repercusiones tecnológicas, medioambientales, sociales e incluso económicas. Del mismo modo, es importante que las estrategias de aprendizaje de los conocimientos científicos se presenten como construcciones progresivas, destacando el carácter tentativo y abierto de este proceso, procurando facilitar de este modo la comprensión sobre el origen confuso de conceptos científicos [5, 17, 18]. Igualmente, es preciso resaltar la búsqueda de generalidad y coherencia global que caracteriza a las ciencias, traducida en la integración de campos aparentemente inconexos, como es el caso de la Mecánica y el Calor según Chalmers [5].

B. Importancia de la terminología en el aprendizaje de la energía y sus propiedades

En el aprendizaje de la energía en el ámbito escolar, el manejo de la terminología por parte de los estudiantes y profesores es una de las fuentes de error más importantes [Bauman, Goldring y Osborne, Viennot, Singh y Rosengrant; Kemp y Warren [5, 2, 3]. Un manejo más preciso de las situaciones físicas que se plantean a los estudiantes puede contribuir a minimizar esta situación y es posible de realizar desde en etapas iniciales de estudio.

Jewett [19, 20, 21] señala que hay que evitar afirmaciones incompletas o poco precisas que pueden arraigarse en la mente de los estudiantes y que posteriormente es muy complejo modificar. Por ejemplo, es común afirmar algo como 'se hizo trabajo durante este proceso' o 'el trabajo se

realizó por gravedad durante este proceso' [20]. En ambos casos, no se especifica el ente que es el destinatario del trabajo. Al sustituir este tipo de expresiones -comunes en las clases de Física a nivel escolar- por otras como (a) 'el trabajo fue realizado por la fuerza gravitacional sobre la pelota' o 'el trabajo fue realizado por la fuerza ejercida por el pistón del acelerador', puede apreciarse una idea *más clara y precisa* que el *trabajo es realizado por una fuerza en un sistema*, lo que es esencial para sentar la base sobre la noción conceptual de que el *trabajo representa una transferencia de energía entre un sistema y su entorno* [20]. Esta sencilla precisión puede facilitar una mejor comprensión entre las diferentes propiedades manifestadas por la energía y los mecanismos mediante los cuales ésta se vale para su transferencia.

Respecto a la aplicación de las fuerzas en un sistema, existen otro tipo de precisiones que es relevante realizar. Por ejemplo, se afirma que 'un martillo ejerció una fuerza' se genera la impresión que la única parte del sistema relevante en el sistema es el martillo; esta idea es imprecisa, ya que no se indica el destinatario del esfuerzo. Así que es importante especificar que (a) se está aplicando una fuerza y (b) sobre qué se aplica la fuerza. Una afirmación como 'la fuerza del martillo sobre el clavo' o 'la fuerza ejercida por la superficie sobre el pie', manifiestan la existencia de una *interacción* y contribuyen a reafirmar las propiedades energéticas que se desea que los alumnos interioricen.

Algunas situaciones mecánicas donde se presenta transferencia de energía no resultan evidentes a los estudiantes a primera vista [19, 20]. Por ejemplo, en el caso de una pelota de densidad uniforme que cae cerca de la superficie de la Tierra, -asumiendo que la pelota es una partícula y por tanto el sistema de estudio desde la perspectiva de un análisis energético-, cabe cuestionar cuál es el entorno que proporciona la energía cinética en aumento. Afirmar que la respuesta es 'la Tierra' no es correcto, puesto que su energía cinética también aumenta, aunque en una cantidad muy pequeña. La respuesta correcta se identifica al detectar un ambiente cuya energía esté disminuyendo en consecuencia. En este tipo de situaciones, la disminución de energía se presenta en el campo gravitacional pero, dado que es más común abordar el concepto de campo en el ámbito del Electromagnetismo que en la Mecánica -sobre todo en cursos iniciales de Física- esta situación suele omitirse, lo que contribuye a que los estudiantes asocien más la transferencia de energía en el área de la Termodinámica y el Electromagnetismo, que en la Mecánica.

Otro aspecto relevante en relación a un uso adecuado de la terminología científica al tratar el tema de la energía -o cualquier otro principio físico-, es el de las condiciones para su *validez*. En la literatura científica escolar, sobre todo a nivel inicial, es común afirmar que la energía mecánica se conserva, sin referencia al sistema que se está discutiendo. Si bien la afirmación anterior es correcta, ya que la energía se conserva a escala universal, la afirmación así descrita es válida para todos los conjuntos de condiciones posibles que pueden presentarse y, por lo tanto, no es útil en concreto. En un problema específico, es más importante *identificar las condiciones específicas del sistema en el problema*, así que habrá que preguntarse si el sistema está aislado o no. Así entonces, es más correcto afirmar que 'la energía del sistema

aislado permanece constante' o 'el sistema no está aislado porque podemos identificar uno o más transferencias de energía, por lo que la energía del sistema no permanece constante'. Parte fundamental de enseñar a pensar científicamente, radica justamente en establecer las condiciones bajo las cuales se puede afrontar una situación problemática.

Otra situación que amerita precisión en su terminología es el uso del Teorema Trabajo- Energía Cinética. Su manejo es tan común que tiende a considerarse un principio fundamental y no una ecuación especializada, que solo puede usarse bajo las siguientes condiciones restrictivas [20]:

- el trabajo es el único mecanismo de transferencia por el cual la energía ingresa el sistema y
- la energía cinética del sistema es el único tipo de energía en el sistema que está cambiando.

Con base en estos hechos, es conceptualmente más acertado afirmar que el Teorema Trabajo-Energía Cinética" se trata de una relación entre el trabajo y la energía cinética válida en contexto anterior pero no un principio físico universal.

C. Delimitación del sistema físico en el estudio de la energía

Un enfoque de aprendizaje de la energía que precisa adecuadamente el sistema físico de estudio, puede resultar potencialmente más útil para evitar caer en errores conceptuales que pueden generar serios obstáculos de aprendizaje para los estudiantes en un mediano o largo plazo.

Desde la perspectiva mecánica, un *sistema* puede consistir en un solo objeto, dos objetos que interactúan, una colección de varios objetos que interactúan, un objeto deformable o un objeto giratorio. En los cursos introductorios de Física, el sistema de interés es a menudo un objeto, que se visualiza como una partícula. Cualquiera que sea la forma que adopte el sistema, existe un límite de sistema cerrado que rodea al sistema y lo separa de todo lo que está fuera, que es el entorno o los alrededores. Por ejemplo, en un caso inicial en el que se analiza un objeto arrastrado a una velocidad constante sobre una superficie con fricción por una fuerza F que es paralela a la superficie. Bajo un enfoque tradicional de estudio, el estudiante tiende a centrarse en el objeto, porque por lo general es la parte del sistema sobre la que se hace énfasis. Entonces, es probable que aplique el Teorema Trabajo- Energía Cinética al objeto, porque ese es el único principio de energía que se ha discutido. Este enfoque solo es válido en un contexto limitado de estudio -considerando el sistema como una partícula- por lo que es importante mantener en mente que no es posible generalizarlo en un contexto de estudios más complejo, puesto que presenta cuatro limitantes [19, 20, 21]:

- No se puede calcular el trabajo realizado por la fuerza de fricción sobre el objeto, dado que el desplazamiento del objeto no es el mismo que el desplazamiento de los muchos puntos de aplicación de la fuerza de fricción.
- El cambio en la energía cinética (ΔK) es cero porque el objeto se arrastra a velocidad constante.

- Es probable que haya una transferencia de energía entre el objeto y la superficie por calor, que no se puede calcular y además, no se considera en el Teorema de Trabajo-Energía Cinética.

- El Teorema Trabajo-Energía Cinética no contiene un término para energía interna, que es un componente importante del almacenamiento de energía en este tipo de situaciones.

Si se familiariza al estudiante a trabajar con un enfoque basado en la delimitación de un sistema, considerando la naturaleza global de la energía [5], la visualización de este tipo de situaciones puede resultar más evidente para el estudiante y es posible entonces proponer como sistema de estudio el objeto y la superficie sobre la que se mueve pero que no incluya a la fuerza F . Bajo este esquema, la única *transferencia de energía al sistema* es el *trabajo realizado por la fuerza aplicada F sobre el sistema*, y el *único cambio de energía para el sistema es un cambio en la energía interna* debido a la fricción:

$$W_F = \Delta U. \quad (1)$$

Aunque, de hecho, se presenta un intercambio de energía por calor entre el objeto y la superficie, dicho intercambio está dentro del sistema: No existe forma de conocer los cambios individuales en la energía interna del objeto y la superficie sin más información y la ecuación 1 expresa todo lo que se puede saber físicamente sobre la situación planteada sin esta información [19, 20, 21].

Una vez que se ha identificado y delimitado el sistema, es importante determinar si el sistema está aislado o no. Esta precisión es relevante para conocer cómo se manifiesta la transferencia de energía. En el caso de un objeto que se arrastra por una superficie, aún considerando a la superficie como parte del sistema, no se puede afirmar que se trate de un sistema aislado puesto que el trabajo se realiza mediante la fuerza aplicada F sobre el sistema y la energía se transfiere al aire mediante el calor e incluso el sonido. Si se quisiese identificar un sistema aislado en esta situación, sería necesario incluir el aire y el agente que aplica la fuerza F para que el trabajo, el calor e incluso el sonido representen transferencias de energía dentro del sistema y no a través de los límites del sistema. Muchas veces, estas transferencias se descuidan para hacer una aproximación utilizando un sistema de tamaño razonable. Por ejemplo, para un objeto que cae, generalmente se descuida la resistencia del aire, de modo que se ignora el calentamiento del objeto debido a la fuerza de arrastre y la transferencia de energía por calor entre el objeto y el aire. En este caso, si el sistema se identifica como el objeto solo, el sistema no está aislado debido al trabajo realizado en el sistema por la fuerza gravitacional. Si se delimita el sistema como el objeto y la Tierra, el sistema está aislado; no hay transferencias de energía a través de los límites de este sistema [19, 20, 21].

Un último aspecto de interés en relación a la delimitación del sistema se da al relacionar las fuerzas conservativas con la energía potencial gravitacional. Es relevante señalar que la fuerza conservativa actúa entre los diferentes componentes del sistema y el trabajo realizado está dentro del sistema. Si un componente del sistema se mueve de manera que el punto

de aplicación de la fuerza conservativa sufre un desplazamiento y el trabajo W_c se realiza sobre él dentro del sistema por la fuerza, la energía potencial gravitacional correspondiente del sistema cambia según

$$W_c = -\Delta U. \quad (2)$$

Barrow [22] afirma que el término ‘trabajo’ puede convertirse en una muletilla que simplifica el acceso a la introducción del concepto de energía potencial gravitacional, ya que en todos los problemas mecánicos posteriores, el término ‘trabajo’ entra en desuso y se incorporan los términos de ‘energía potencial gravitacional’ y ‘energía cinética’. Sin embargo, esta afirmación parece confundir el *trabajo externo* con el *trabajo interno*. Si bien el *trabajo interno* de un sistema está realmente relacionado con un cambio en la energía potencial gravitacional del sistema, el *trabajo externo* puede estar asociado con un cambio en cualquier tipo de energía en el sistema: energía cinética, energía potencial gravitacional o energía producida por rozamiento.

II. PROPIEDADES DE LA ENERGÍA

A. Transformación de la energía

Al hablar de distintas formas de energía, se corre el riesgo de reforzar una concepción errónea de la energía como un objeto material que cambia de forma, sobre todo en cursos introductorios de Física. Es por esta razón que es importante asociar estas transformaciones a diferentes *configuraciones de los sistemas* y a distintas formas de interactuar de la materia. Es decir, es conveniente insistir en que el calificativo que se le da a la energía, refiere la propiedad -o propiedades- del sistema que intervienen o pueden intervenir en un proceso determinado, o el tipo de proceso en que participará.

Las transformaciones que experimenta un sistema son debidas a las interacciones con otros sistemas o a interacciones entre sus partes [3]. Es decir, tanto la configuración del sistema como las propiedades de la materia, determinan el tipo de transformación o transformaciones que se presentarán en un proceso. Por ejemplo, puede decirse que el viento tiene energía porque las partículas del aire (configuración del sistema) pueden golpear las aspas de un molino (interacción) y producir la rotación de las misma, venciendo las fuerzas de rozamiento [12]. La referencia concreta a la configuración del sistema y a sus interacciones, busca fomentar la comprensión de por qué éste (por ejemplo, una pelota y la Tierra) puede experimentar o producir transformaciones, desestimando así el concepto erróneo de la energía como fluido o combustible. Así entonces, si la energía, en una primera aproximación se entiende como la capacidad de un sistema para producir transformaciones [3, 23, 24], las transformaciones en la configuración de los sistemas pueden asociarse a variaciones de energía en dichos sistemas o en partes de los mismos [8].

Es conveniente insistir con los estudiantes que las *transformaciones de energía ocurren dentro de un sistema y dan como resultado que una forma de almacenamiento de energía cambie a otra*. Por ejemplo, en un sistema pelota -

Tierra, la energía cinética del sistema cuando la pelota lanzada se eleva hacia arriba, se transforma en energía potencial gravitacional del sistema. En esta situación común, la energía cinética del sistema está asociada con un solo objeto en movimiento (en el marco de referencia de la Tierra) pero, en general, es la energía de todo el sistema la que se transforma. Cuando un bloque se desliza por un piso y se detiene, la energía cinética del sistema bloque-piso se transforma en energía interna en el bloque y el piso. Si el sistema está aislado, solo ocurren *transformaciones de energía* y la energía total del sistema permanece constante [19, 20, 21].

B. Transferencia de energía

En situaciones de aprendizaje, es importante enfatizar en que *las transferencias de energía ocurren a través de los límites del sistema y pueden resultar en un cambio en la energía total del sistema*. Estos mecanismos de transferencia incluyen trabajo, calor y radiación electromagnética [19, 20]. Ahora bien, las dificultades de los estudiantes -y del profesor- para la comprensión y el manejo significativo del concepto de energía, se extienden a los conceptos asociados de *trabajo*. Este reduccionismo conceptual ha sido tan evidente que algunos autores han propuesto prescindir de ellos y hablar simplemente de variaciones de energía entre el sistema y el medio con el que interactúa [23, 24]. Sin embargo, al hacer esto se ocultan los mecanismos por los cuales se producen variaciones de energía en los sistemas, lo cual dificulta la comprensión de las transformaciones [25, 26, 27].

En los textos de física a nivel preparatoria, es común abordar el concepto de trabajo desde una perspectiva operativa: ‘el producto escalar de la fuerza por el desplazamiento del objeto’. Esta presentación refuerza una visión dogmática de la ciencia, en contraposición de su verdadera naturaleza tentativa: los conceptos como aproximaciones a la realidad, a título de hipótesis, que parten de consideraciones cualitativas y que pueden experimentar posteriormente refinamientos o precisiones. Así entonces, *cualitativamente puede concebirse al trabajo en términos físicos como el acto de transformar la materia aplicando fuerzas*: este abordaje retoma la idea expuesta por Maxwell desde 1877 [5] y refleja la idea de trabajo en la vida cotidiana: cualquier ejemplo elemental de lo que se considera trabajo (labrar la tierra, elevar una carga) responde a esta idea cualitativa. La definición operativa de trabajo (producto escalar de la fuerza por el desplazamiento) se deriva también de esta idea cualitativa para el caso más simple del desplazamiento de un objeto [16].

Por otra parte, dado que la energía se introduce como expresión de la capacidad de un sistema para experimentar transformaciones, el concepto de trabajo en términos de transformación mediante la aplicación de fuerzas, queda vinculado tanto a variaciones de energía, como a intercambios de ésta entre diferentes sistemas o entre las partes de un mismo sistema. Esto facilita la concepción del trabajo como una forma de *transferencia de energía*.

Una consideración particular respecto a un mecanismo de transferencia de energía es la radiación. Aunque el estudio de esta forma de transferencia de energía queda fuera del alcance

de este artículo y por lo general, suele dejarse a un lado en cursos introductorios dada su complejidad, su importancia sí exige que se hagan referencias cualitativas a la misma, dado que casi todos los recursos energéticos de la Tierra (incluidos los fósiles) tienen su origen en la radiación solar; o que el llamado ‘efecto invernadero’ remite a intercambios energéticos por radiación. De acuerdo con los significados de trabajo (W) y calor (Q), las variaciones de energía de un sistema, ΔE , pueden ser debidas a realización de trabajo W y/o a calor Q de acuerdo con la expresión

$$\Delta W + \Delta Q = \Delta E. \quad (3)$$

donde ΔW representa el trabajo realizado por las fuerzas exteriores al sistema y ΔQ engloba los trabajos microscópicos que se realizan al poner en contacto objetos a distintas temperaturas). Aunque esta puede considerarse una aproximación inicial, las variaciones de energía pueden ser debidas, además de al trabajo y al calor, a otros procesos como por ejemplo, al citado caso de transferencia de energía por mecanismos de radiación

C. Conservación de la energía

El principio de Conservación establece que los cambios experimentados por los sistemas comprenden transformaciones de unas formas de energía a otras y/o transferencias de energía de unos sistemas a otros (o de unas partes del sistema a otras), pero *la energía total -incluida la energía térmica- de un sistema aislado, permanece constante.*

Un problema conceptual frecuente en torno a este principio erradica en su fundamentación. Este principio se basa en la integración de la Mecánica y el Calor; sin embargo, algunos textos presentan el principio de Conservación de la Energía como una consecuencia de las Leyes de la Dinámica del Movimiento. Así entonces, la expresión $E_{\text{cinética}} + E_{\text{potencial}} = \text{constante}$, obtenida en Mecánica a partir del Teorema de las Fuerzas Vivas, es presentada como una primera versión del principio de Conservación de la Energía. Al respecto, Arons [2] establece que la independencia de Ley de la Conservación de la Energía respecto a las Leyes de la Dinámica del Movimiento, destacando que la primera es una afirmación independiente sobre el orden en la naturaleza. Ahora bien, la manera como se introduce frecuentemente el Principio de Conservación de la Energía en los textos de Física elementales, a menudo no aclara suficientemente este hecho, permitiendo suponer que la Conservación de la Energía ha sido derivada de la Segunda Ley de Newton. Esta confusión ha sido ampliamente estudiada en la literatura [1, 2, 3, 4, 25, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35] y denota una comprensión errónea de este principio unificador. Ahora bien, para abordar ciertos principios físicos en términos accesibles para estudiantes que aún no llevan cursos de Cálculo, es preciso que el profesor tenga presente que, los principios dinámicos con los que se introducen conceptos de energía, tales como $F_{\text{neta}}=ma$, no representan igualdades funcionales justas y ordinarias, sino que su validez y aplicabilidad son limitadas, por lo que el signo que denota la igualdad aplica bajo ciertas restricciones [2].

Los teoremas de Impulso-Cantidad de Movimiento y Trabajo-Energía Cinética, cuando se derivan a partir de la Segunda Ley de Newton, revelan una notable e inesperada igualdad de magnitudes físicas calculadas de formas completamente diferentes; la primera de ella implica la necesidad de conocer la forma en cómo ocurre la variación de la fuerza neta en todo el intervalo de medición, lo que implica encontrar el área bajo la curva en los términos apropiados por el Cálculo, en tanto que la segunda forma involucra conocer el estado inicial y final de la variación. Por lo tanto, el abordaje operativo de dichas ecuaciones no debe considerarse meramente relaciones funcionales, sino sujetas a un contexto físico específico que delimita su interpretación.

En la intervención propuesta en esta investigación, se omite utilizar el término ‘Ley de la Conservación de la Energía’ para evitar posteriores confusiones de los estudiantes al analizar la Primera Ley de la Termodinámica. Así entonces, se proponen nexos operativos de los conceptos asociados a la energía mecánica tales como energía cinética, energía potencial gravitacional y trabajo, a partir de los antecedentes que los estudiantes tienen de las Leyes de la Dinámica Newtoniana a fin de que los estudiantes efectúen mediciones de dichas magnitudes dentro del ámbito de su competencia académica, ya que el contexto de su aplicación será circunscrito a sistemas físicos de una o varias partículas sin rodamiento ni deformación. Este mismo tratamiento se realizará para demostrar que la energía permanece constante en todos sus procesos de cambio [7, 36, 37, 38], en el entendido de que, si bien *la energía total de un sistema aislado permanece constante, siempre que dicho sistema experimente cambios, necesariamente se han de producir variaciones energéticas en su interior, aunque la suma de éstas sea cero.* De esta manera, es posible justificar plenamente la asociación entre energía y cambio.

D. Degradación de la energía

Como resultado de las interacciones y consiguientes transformaciones de los sistemas, la energía se degrada o distribuye homogéneamente; es decir, los sistemas aislados evolucionan hacia estados más desordenados, que son más probables. Este paso a configuraciones más desordenadas hace que disminuya la posibilidad de ulteriores transformaciones de los sistemas [7, 37, 39, 40] De ahí que se surja el término *degradación de la energía* y se introduzca una nueva magnitud, la *entropía*, S , que mide en cierto modo el grado de desorden, cumpliéndose que en un sistema aislado la entropía crece (mientras la energía total permanece constante). No hay transformaciones sin crecimiento de entropía y este crecimiento disminuye la probabilidad de subsiguientes transformaciones. Ello puede expresarse también diciendo que *la energía mecánica y la energía térmica no son totalmente equivalentes, ya que mientras en un sistema aislado es posible transformar íntegramente toda la energía mecánica en energía térmica, el proceso recíproco tiene siempre un rendimiento menor a la unidad, pues no es posible la transformación completa del movimiento desordenado de una infinidad de partículas en un movimiento ordenado* según Frish y Timoreva [5] y Atkins [39]. Así entonces, la distribución de la energía (el

crecimiento de la entropía) disminuye la posibilidad de transformaciones de naturaleza macroscópica en los sistemas aislados. Para incentivar una aproximación más fidedigna a este crucial tema de la Física, es necesario insistir sobre esta precisión, que no suele abordarse en la literatura didáctica.

Al igual que otros conceptos energéticos, al hablar de ‘degradación’ de la energía pueden suscitarse nuevas oportunidades para los errores conceptuales. Por ejemplo, en el tema de los circuitos eléctricos es común afirmar que la energía se ‘disipa en una resistencia’. Si bien un experto conoce que esto implica que la resistencia se calienta y la energía se *transfiere* al medio ambiente a través del calor y la radiación, el manejo de este término da a lugar que los estudiantes pueden interpretar esta palabra en el sentido de que la energía está desapareciendo. Así entonces, una terminología más precisa en torno a este tipo de situaciones consiste en expresar que la energía se entrega al resistor -lo que refuerza la noción de *transferencia de energía* a un sistema-. Debido a esta transferencia, la energía interna de la resistencia aumenta. A su vez, típicamente hay una transferencia subsiguiente de energía por calor y radiación electromagnética desde la resistencia caliente al ambiente más frío.

Una redacción similar que aparece en los libros de texto es el término ‘pérdida’ de energía: el uso de este término es peligroso e induce a la confusión entre los estudiantes, especialmente cuando se ha insistido en que la energía no se crea ni se destruye. Así entonces, es mejor expresar esta situación en términos de transferencias y transformaciones de energía y evitar el uso de expresiones que generen oportunidades de error conceptual en el proceso de aprendizaje.

III. RELACIÓN ENTRE TRABAJO Y ENERGÍA.

A. Trabajo mecánico

La conceptualización operativa del trabajo en el marco de estudio de la energía merece una consideración especial, al ser ésta una frecuente fuente de confusión en el estudio del tema de la energía [25, 28, 33, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49].

El trabajo mecánico se concibe como el producto escalar de una fuerza F aplicada a un objeto, el cual se desplaza una magnitud Δr , como se expresa a continuación:

$$\text{Trabajo } (W) = F \cdot \Delta r = F \cdot \Delta r \cdot \cos \phi, \quad (4)$$

donde ϕ es el ángulo entre la fuerza F y el vector desplazamiento Δr . En la literatura científica, este término suele manejarse como el *desplazamiento* del objeto. Si bien esta conceptualización representa un punto de partida válido para fenómenos mecánicos en una sola partícula, expresarlo de esta manera implica correr el riesgo de caer en dificultades conceptuales cuando se le presentan al estudiante situaciones que impliquen el trabajo realizado por fuerzas no

conservativas, como las fuerzas de fricción o bien, fuerzas aplicadas a objetos deformables o giratorios.

Cuando se aborda el concepto de trabajo desde el punto de vista de la Mecánica de la partícula, se considera que el centro de masa de dicha partícula es el punto de aplicación de la fuerza F y en ella se concentra toda la masa de la misma. Si desde los cursos de Física iniciales se especifica que el desplazamiento $\Delta \mathbf{r}$ debe entenderse *siempre* como *el desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza F* entonces, para un sistema que consta de una sola partícula u objeto no deformable (rígido) y no giratorio, el desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza es lo mismo que el desplazamiento del centro de masa del objeto o sistema [20]. En consecuencia, identificar $\Delta \mathbf{r}$ como el desplazamiento del objeto es, en esencia el mismo punto y no es necesario presentar términos adicionales como “*pseudo trabajo* [25, 28, 42] y “*trabajo desde el centro de masa*” [49] que expresen esta idea. El manejo puntual y específico de los términos evita tener que dar explicaciones adicionales que pueden poner en desventaja al estudiante al retomarlos o ampliarlos en temas o cursos posteriores.

B. Trabajo neto

A menudo ocurre que actúan múltiples fuerzas sobre en un sistema; en este caso, es posible calcular el trabajo neto (W_{neto}) realizado por las fuerzas en el sistema y la práctica común es enunciar el trabajo de la siguiente manera:

‘El trabajo neto realizado por múltiples fuerzas en un objeto, es igual al producto de la suma de fuerzas o fuerza neta sobre el objeto y el desplazamiento de dicho objeto’.

$$W_{\text{neto}} = \Sigma F \cdot \Delta r \cos \phi = F_{\text{neto}} \Delta r \cos \phi. \quad (5)$$

Esta afirmación solo es válida si el objeto es perfectamente rígido e indeformable. Si el objeto es deformable, pueden existir *diferentes fuerzas que pueden actuar a través de diferentes desplazamientos*. Si se sustituye el término “objeto” por “sistema”, se abre el panorama a la posibilidad de que un sistema puede implicar la presencia de una sola partícula o una variedad más amplia de situaciones. Desde esta última perspectiva, la declaración que proporciona el trabajo correcto realizado por las fuerzas en el sistema es:

“El trabajo neto realizado por múltiples fuerzas en un sistema, es igual a la suma de los trabajos realizados en el sistema por cada fuerza individual. El trabajo realizado por cada fuerza individual debe ser calculado en términos del desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza individual”.

$$W_{\text{neto}} = \Sigma (W_1 + W_2 + \dots + W_n). \quad (6)$$

Este último enunciado aplica tanto para sistemas conformados por una partícula rígida (no deformable) sin rotación, como para un sistema más complejo, que presente deformación y rotación [21].

C. Trabajo y fuerza de fricción

Otra área de la Mecánica que genera dificultades en el estudio de la energía es el del trabajo realizado por la fricción. Si Δr en la definición del trabajo se identifica como “el desplazamiento del objeto”, se infiere que el trabajo realizado por fricción en un objeto determinado, por ejemplo, un bloque, deslizándose sobre una superficie horizontal nivelada puede calcularse de la siguiente manera:

$$\text{Trabajo } (W) = -f_k d, \quad (7)$$

donde f_k es la fuerza de fricción cinética en el bloque y d es la *distancia* a través del cual se mueve dicho objeto con respecto a la superficie. El signo negativo indica que la fuerza de fricción está en la dirección opuesta al movimiento que experimenta el objeto. Esta expresión suele incorporarse posteriormente en el Teorema Trabajo-Energía para determinar la energía cinética para el objeto. La omisión en la que se incurre con este enfoque es que, en realidad el desplazamiento del bloque difiere en los diferentes puntos de contacto que se generan en el objeto en movimiento que producen fuerzas de fricción. Esta situación implica deformaciones de la superficie inferior del bloque [29, 32].

En una clase de Física basada en Cálculo, un estudiante no debe presentar dificultad para evaluar la ecuación de trabajo ($W = -f_k d$), dado que se asume que es capaz de ejecutar una integral de la trayectoria de la variable del objeto en movimiento. En el caso más representativo de una situación de esta naturaleza, que consiste en un bloque que se desliza sobre una superficie estacionaria, la fuerza de fricción es siempre opuesta a cada desplazamiento infinitesimal del bloque. Para una fuerza de fricción constante ($f_k=K$), esta integral se reduce al producto de la fuerza la magnitud de la variable ‘ d ’. La ecuación del trabajo realizado por la fricción, presentado de esta forma, no guarda congruencia con el planteamiento inicial puesto que el desplazamiento y la distancia son conceptos relacionados pero distintos.

Para un estudiante cuyo tratamiento matemático de la Física se fundamenta en el Álgebra, el cual no dispone de las herramientas para visualizar la trayectoria del objeto en movimiento que se puede apreciar desde la perspectiva del Cálculo Integral, no resulta sencillo visualizar esta situación. Adicionalmente, un estudiante que no ha cursado Cálculo, no está entrenado para pensar en los desplazamientos infinitesimales por lo que, para un objeto que se mueve en una trayectoria curva, si d representa la longitud de la trayectoria, ésta podría ser bastante diferente de la magnitud del desplazamiento del objeto.

Una precisión conceptual radica en identificar el producto $-f_k d$ con el cambio de energía mecánica (ΔE_{mec}) del sistema que involucra el bloque y la superficie con la que está en contacto: [50]:

$$-f_k d = \Delta E_{mec}. \quad (8)$$

De esta manera, se representa que solo esa parte del cambio en energía mecánica del sistema es ocasionada por las fuerzas

de fricción. Por supuesto, si actúan otras fuerzas, como una fuerza de empuje sobre un bloque o la tensión de una cuerda tirando un bloque sobre una superficie inclinada, la energía mecánica del sistema también cambiará debido a este tipo de fuerzas. En el caso de un bloque que se desliza por una pendiente, el sistema podría ampliarse para incluir la Tierra para que la energía mecánica del sistema incluya tanto la energía cinética (K) como la energía potencial gravitacional (E_{pot}). Independientemente de si otras fuerzas además de la fricción actúan sobre el bloque, la disminución de la energía mecánica corresponderá a un incremento de la energía interna en el sistema:

$$+f_k d = \Delta E_{int}, \quad (9)$$

donde la energía interna se comparte entre el bloque y la superficie. Si bien este enfoque resulta en los mismos pasos matemáticos que los problemas de energía que implican el manejo del término “trabajo realizado por las fuerzas de fricción ($W = -f_k d$)”, un manejo cuidadoso de los términos a la larga favorece la claridad conceptual, eliminando las inconsistencias que requieren posteriores aclaraciones para el estudiante [21].

D. Trabajo y energía potencial

La energía se asume como el ‘potencial’ para efectuar trabajo en términos de los cambios en la configuración que ocurren al interior de un sistema. Al estudiar este concepto, es común usar una frase como ‘energía potencial gravitacional de la pelota’, en la que la energía potencial gravitacional se asocia con un *objeto* en lugar de con un *sistema de dos o más objetos que interactúan* [21]. Es importante enfatizar que la energía potencial es una propiedad de un sistema que está asociada con una fuerza que actúa entre los componentes del sistema, como se ha expresado en apartados previos, por lo que no se puede asociar con un solo miembro: un solo objeto no puede poseer energía potencial gravitacional. Por lo tanto, es mejor referirse a la energía potencial gravitacional en términos de ‘energía potencial gravitacional del sistema pelota-Tierra’.

En el contexto de un aprendizaje sistémico de la energía, otra fuente de confusión respecto al origen o cambios de la energía potencial gravitacional ocurre al utilizar los términos de la posición de los objetos que interactúan dentro de un sistema. Por lo general, en el estudio de la Mecánica de Partículas esta situación no es confusa pero, en cursos posteriores, al estudiar Electromagnetismo, se pueden presentar situaciones confusas en torno al origen de los cambios en la energía potencial gravitacional. Por ejemplo, un dipolo eléctrico en un campo eléctrico o un dipolo magnético en un campo magnético pueden girar sin cambiar de posición. Aunque la posición del centro del dipolo rotatorio permanece sin cambios, la energía potencial del sistema de campo dipolo cambia. Este cambio es causado por un *cambio en la orientación* del dipolo, no por un *cambio de posición*. En consecuencia, al expresar la energía potencial de un sistema es fundamental expresarla en términos que aludan a la *configuración* de los componentes que interactúan en un sistema, ya que esto involucra variables tanto de posición, como de orientación u otra índole.

IV. APRENDIZAJE ESTRATÉGICO DE LA ENERGÍA

Un buen dominio de los conocimientos supone, en general, la capacidad de utilizarlos en la resolución de problemas, en la interpretación cualitativa de situaciones diversas, correspondientes, sobre todo, de la vida práctica. Por tal motivo, resulta preocupante limitar el abordaje del concepto de energía sin considerar su naturaleza sistémica y de implicaciones vitales.

Es un hecho de que, el dominio progresivo de un cierto cuerpo de conocimientos exige proporcionar oportunidades a los estudiantes para usar los planteamientos conceptuales desde una perspectiva que les permita sensibilizarse sobre su importancia. Proporcionar un contexto que facilite esa sensibilización y apropiación gradual de conocimientos, es facultad y responsabilidad del docente. Aún cuando el abordaje de los conceptos se realice en su formato más simple, es preciso por ello evitar consciente y explícitamente el reduccionismo conceptual que conlleva a considerar a la Física como una ciencia de difícil acceso y estudio.

A. El aprendizaje estratégico

Cuando un estudiante visualiza un problema o dificultad de aprendizaje y planifica o selecciona unas acciones o procedimientos específicos para afrontar ese problema, es posible afirmar que está haciendo un *uso estratégico de sus conocimientos*. Con mucha frecuencia los alumnos se limitan a seguir ciertas rutinas de aprendizaje; esto suele ocurrir bien porque las propias situaciones de aprendizaje y enseñanza a las que se enfrentan son, en sí mismas, repetitivas, o bien porque ellos no las perciben como un desafío o una situación nueva, que merezca la aplicación de una estrategia diferente.

El logro de un aprendizaje más eficaz en éstas y otras muchas situaciones depende de *cómo* el alumno gestione o use sus conocimientos y habilidades para resolver situaciones específicas. A ese uso deliberado e intencional de los propios conocimientos se le conoce como *estrategias de aprendizaje*. Es indudable la creciente exigencia de capacidades de aprendizaje en los alumnos y futuros ciudadanos: estas demandas se concentran en los cambios educativos que están haciendo necesaria la renovación de los contenidos de las asignaturas y la forma de enseñarlas, entre los que ocupa un lugar cada vez más relevante la necesidad de que los alumnos aprendan no sólo los *conocimientos* que constituyen el contenido de esas materias, sino también los *procesos* mediante los cuales esos conocimientos se elaboran. Así, *la enseñanza no solo debe concentrarse en proporcionar conocimientos y a asegurar ciertos productos o resultados del aprendizaje, sino que debe fomentar también el análisis de los procesos mediante los que esos productos pueden alcanzarse –estrategias–*. Ambos tipos de objetivos no sólo son compatibles, sino que se requieren mutuamente. Difícilmente se puede comprender Física sin una serie de habilidades o destrezas en el estudio, pero al mismo tiempo la aplicación de las estrategias de aprendizaje más completas requiere, para ser eficaz, de un cierto nivel de conocimientos específicos [15].

B. La metacognición desde la perspectiva del aprendizaje estratégico

El acercamiento tradicional pasa por alto el conocimiento sobre las condiciones más adecuadas para la *activación* de diferentes procesos mentales: no se trata sólo de que los estudiantes adquieran un mayor conocimiento sobre qué deben hacer para aprender, sino sobre todo de dónde, cuándo, cómo y con quién deben hacerlo: el *conocimiento condicional* se ha definido como uno de los rasgos fundamentales del aprendizaje estratégico [51]. Es decir, que el uso de las estrategias de aprendizaje debe ser siempre un uso *situado* en un contexto dado, en función de las condiciones reales de aprendizaje, los recursos disponibles y las metas establecidas: el enfoque del aprendizaje situado va a destacar la importancia de adecuar la estrategia a las condiciones efectivas de la situación.

Parte de la dificultad de convertir la metacognición en uso estratégico del conocimiento, proviene de la propia indefinición de la metacognición [52, 53, 54]. Desde la perspectiva del aprendizaje estratégico, más próxima al enfoque del procesamiento de información, la metacognición corresponde más bien con aquellos procesos de control y regulación; es decir, lo que un sujeto hace con su propia cognición; es decir, *la metacognición es una forma de acción: expresado de otra forma, puede decirse que la metacognición es procedimental*.

Desde este último planteamiento, la metacognición es un epifenómeno, una especie de autopercepción que las personas tienen de ser capaces de acceder a procesos que están encapsulados y tienen un funcionamiento básicamente autónomo y automatizado, impenetrable a la conciencia [55]. Estas propuestas originadas en su mayor parte en situaciones complejas de intervención en contextos educativos, se sustentan al menos en tres principios comunes:

1. Aunque la representación de los problemas y tareas a los que se enfrenta un estudiante tiene una naturaleza básicamente cognitivo-individual, los modos de interactuar con estas situaciones tienen una naturaleza eminentemente social y cultural por lo que, para su correcta comprensión, es necesario trabajar con acciones como andamiaje, negociación de significados o emisión de ayudas pedagógicas.
2. Analizar la regulación de las tareas contextualmente situadas, dónde factores como las concepciones previas, las demandas instruccionales y los contenidos disciplinares tienen un peso específico.
3. La certeza de que el acceso consciente a las producciones mentales incluye tanto los productos del pensamiento, como algunos de los *procesos que facilitan el acceso a esos conocimientos*; especialmente aquellos *procesos que emplean procedimientos de gestión y organización de la información* que fueron formal y conscientemente aprendidos en su momento, considerando que el aprendizaje debe partir de escenarios concretos; esto es, de las condiciones prácticas de cada situación de aprendizaje.

Esta posición resume un acercamiento constructivista a las estrategias de aprendizaje e integra los principales rasgos del

uso estratégico del conocimiento. Este esfuerzo de integración se traduce no sólo en considerar simultáneamente la importancia de procesos, contenidos y condiciones en la puesta en marcha del conocimiento estratégico, sino también en entender que los aspectos de la metacognición –lo que los alumnos saben decir y hacer sobre sus procesos cognitivos– están estrechamente vinculados. A fin de que los estudiantes gestionen su propio aprendizaje, es fundamental ayudarlos a *regularlo en contextos y escenarios situados y con contenidos concretos*. Si además se espera que dicha regulación se convierta en una *competencia-conocimiento estratégico*- que pueda ser transferido a otras situaciones de aprendizaje, es indispensable apoyarlos a *tomar conciencia de su experiencia que les permita explicitar cómo llevan a cabo esas regulaciones*. El uso rutinario o estratégico de los conocimientos o habilidades, y su regulación más implícita o explícita, responden también a un continuo, que debe analizarse siempre en función de las relaciones entre lo que debe aprenderse (contenidos), cómo se aprende (procesos) y dónde, cuándo, para qué y con quién se aprende (condiciones).

C. Dimensiones e implicaciones del aprendizaje estratégico

El uso de una estrategia implica la activación intencional y deliberada de unos conocimientos (conceptuales, procedimentales y/o actitudinales) con el propósito de alcanzar ciertas metas de acuerdo con un plan establecido. De esta forma, la puesta en marcha de una estrategia requerirá que el sujeto controle la planificación, supervisión y evaluación de ese plan de acción. Sin embargo, ese control puede, en realidad, ser más o menos explícito o implícito, de forma que algunos de los componentes de la estrategia puedan, de hecho, estar automatizados o regulados de forma implícita. Por lo general, esto es lo que ocurre: se ponen en marcha estrategias que hacen un uso intencional de técnicas o recursos cognitivos automatizados.

Es de interés señalar algunos rasgos que deben reunir las situaciones de aprendizaje/enseñanza para demandar de los alumnos un acercamiento más estratégico. Es fundamental haber consolidado previamente un dominio técnico del que el alumno pueda hacer uso en el momento en que lo necesite: no es posible hacer uso estratégico de una técnica o procedimiento que no se domina.

Algunas de las dimensiones que identifican y/o favorecen un uso estratégico del conocimiento, no necesariamente independientes sino interrelacionadas son, de acuerdo con Pozo y Postigo [56]:

1. *Las metas del aprendizaje* deben poseer una orientación paulatinamente cada vez más interiorizada; es decir, que se involucre al estudiante en su elaboración: que el alumno participe en su elaboración y no sólo el profesor. Cuando la meta está dirigida a la comprensión de nuevos significados o a la reconstrucción de conocimientos previos, el aprendizaje –y la enseñanza– representa un desafío y requiere del estudiante y del profesor una mayor reflexión estratégica.
2. *El nivel de incertidumbre de la tarea de aprendizaje* que está relacionado con su novedad y carácter más o menos

abierto: en general, cuanto más novedosas o menos rutinarias sean las *condiciones* de una tarea de aprendizaje requerirán un mayor acercamiento estratégico. Es el cambio de esas condiciones el que hace necesario adoptar un enfoque estratégico; si las condiciones son conocidas, se trata de un simple *ejercicio*, pueden aplicarse las rutinas habituales; si algunas condiciones varían - contexto, los recursos disponibles, los escenarios de uso, o las metas- la situación se convertirá en un *problema* y requerirá adoptar decisiones estratégicas para afrontarla. Además, cuánto más abierta se presente una tarea de aprendizaje, mayor será el grado de incertidumbre sobre su resolución y más decisiones deberá tomar el alumno para abordarla, por lo que su demanda estratégica será también mayor. Las tareas cerradas que no ofrecen opcionalidad de respuestas ni alternativas en la forma de resolverlas, requieren simplemente la puesta en marcha de rutinas y/o de procedimientos ya automatizados. Nuevamente, la introducción de situaciones problemáticas, o de componentes problemáticos en las situaciones, que impliquen novedad e incertidumbre, debe ser progresiva. Si las condiciones de aplicaciones son totalmente conocidas, al alumno le bastará con aplicar una técnica; pero si, en el otro extremo, todas las condiciones son novedosas, difícilmente el alumno logrará adoptar una estrategia adecuada. Para que el alumno aprenda de modo estratégico, el profesor debe procurar que se utilicen esos conocimientos en problemas cada vez más complejos, y por ello, novedosos y abiertos.

3. *La complejidad de la secuencia de acciones: cuanto más complejo sea un procedimiento más probable será que requiera un control estratégico*. En ocasiones esta complejidad, desde el punto de vista didáctico, se traduce en que el profesor va exigiendo progresivamente al alumno realizar partes de la secuencia que inicialmente se le entregaban ya dadas. Por ejemplo, al abordar un fenómeno físico es más simple proporcionar a los alumnos las hipótesis ya formuladas y pedirles que las contrasten con ciertos datos, que pedirles que ellos sean quienes formulen las hipótesis y generen datos para comprobarlas.

Frecuentemente el uso de estrategias de aprendizaje está ligado a contextos y situaciones de aprendizaje constructivo, que no requieren del alumno repetir conocimientos preestablecidos, sino generar nuevos conocimientos en situaciones más abiertas y complejas que hacen imposible un aprendizaje automatizado. Es en este sentido en el que el uso estratégico del conocimiento es un componente imprescindible en cualquier escenario de aprendizaje constructivo, como se requiere en el aprendizaje de la Física.

Así entonces, se aprecia *la necesidad de que las estrategias de aprendizaje se enseñen simultáneamente con los contenidos pertenecientes a la disciplina de interés*; por lo tanto, *no sólo se trata de aprender Física, sino que es preciso también aprender cuándo y por qué utilizar procedimientos que permitan ordenar, representar o interpretar datos científicos para convertirlos en conocimiento útil*. A este enfoque se le conoce como *infusión del pensamiento crítico a la enseñanza o pensamiento infundido*. Marzano, Brand, Hughes, Janes, Presseisen,

Rankin y Suhor [15] consideran que las dimensiones del pensamiento: metacognición, pensamiento crítico y creativo, el proceso del pensamiento y las habilidades básicas deben ser los logros del contenido de las materias o el dominio experto y específico. Enfatizan que *la enseñanza del pensamiento no puede darse separada del aprendizaje del contenido*. Por lo tanto, la enseñanza del *cómo pensar* debe ser una parte integral de la instrucción del salón de clase. La perspectiva de enseñanza-aprendizaje infundado supone ventajas evidentes en cuanto a propiciar una mayor motivación, colaboración y compromiso por parte de los profesores al atribuir los resultados que puedan lograrse a sus propias decisiones y competencias; por otra parte la posibilidad de conectar los nuevos métodos y actividades con las prácticas habituales de los docentes y, en definitiva, con la propia cultura de la escuela, favorece que los cambios resulten más relevantes y significativos [57].

No obstante, sus potenciales ventajas, la infusión de la enseñanza de estrategias no está exenta de riesgos, siendo el primero el dilema entre el balance del contenido (la asignatura) y el proceso (la enseñanza de las estrategias). De igual manera, en el momento de impulsar un proyecto de estas características y el tiempo que requiere desarrollar este tipo de estrategias. También existe el riesgo de que algunas concepciones erróneas o simplificadoras, junto con una inadecuada planeación o falta de recursos, lleguen a desvirtuar el auténtico significado y sentido de la enseñanza estratégica: conseguir que los estudiantes sean más reflexivos y autónomos aprendiendo.

D. Métodos para la enseñanza de estrategias de aprendizaje

No hay una metodología puntual o específica para la instrucción basada en la infusión del aprendizaje. Lo que sí es posible es considerar en las *propuestas metodológicas en las que se otorgue énfasis en la reflexión sobre el mismo proceso de aprendizaje*, el uso reflexivo de los procedimientos a aprender y la cesión gradual de la responsabilidad al alumno. La recomendación es, en primera instancia, considerar *los métodos más centrados en explicitar la estrategia que se desea enseñar para, posteriormente, introducir otros más orientados a fomentar su control y regulación internas*. En resumen: lo recomendable es partir de situaciones en las que el profesor todavía mantiene en buena medida el control y la responsabilidad del aprendizaje para, progresivamente, transitar hacia las situaciones en las que la interacción entre los propios alumnos se convierte en la principal guía de las decisiones a tomar.

La presentación o explicitación de una estrategia propone *favorecer la toma de conciencia por parte del alumno de que determinadas tareas conllevan una planificación previa, una regulación y una valoración del proceso*; para que realmente sea capaz de captar cómo algunos procedimientos sirven para realizar con éxito estas tareas cognitivas. En definitiva, este primer momento favorece un acercamiento más reflexivo – metacognitivo- en esas tareas. *También en este primer momento, hay que responder a la necesidad de indagar cuáles son los conocimientos previos* de los alumnos respecto a las estrategias de aprendizaje que van a ser enseñadas, ya

que es posible que algunos alumnos ya actúen de forma más o menos estratégica en situaciones similares y resulta -como en cualquier situación instruccional-, muy pertinente recoger estas representaciones y las consiguientes formas de actuación diferencial ante tareas como las propuestas.

Los métodos que se propone trabajar en el aprendizaje de la energía y sus propiedades en un curso introductorio de Física a nivel Preparatoria en un Colegio privado en la Ciudad de Tampico, Tamaulipas, México, se mencionan a continuación.

V. MÉTODOS PARA EL APRENDIZAJE DE LA ENERGÍA Y SUS PROPIEDADES EN UN CURSO INTRODUCTORIO DE FÍSICA A NIVEL PREPARATORIA

A. Modelado de pensamiento (modelo de instrucción directa)

El modelado de pensamiento se entiende como el *esfuerzo que realiza el profesor en explicitar qué es lo que piensa y hace en el momento de resolver un determinado problema o aprender un determinado contenido*. Son varios los trabajos que han puesto de manifiesto la bondad y utilidad del modelado en la adquisición de estrategias de aprendizaje [58, 59, 60, 67]. En todos los casos se destaca la necesidad de mostrar al alumno el conocimiento declarativo sobre la estrategia (qué aspectos hay que tener en cuenta, qué conocimientos son necesarios), el conocimiento procedimental (cómo hay que proceder, qué procedimientos son los más adecuados en cada situación) y especialmente el conocimiento condicional o estratégico (qué variables o condiciones de la situación resultan de interés fundamental para ajustar nuestra actuación).

Monereo y Pozo [15] mencionan que es oportuno realizar un modelado al empezar tareas complejas que resulten novedosas o desconocidas para los alumnos, como lo es el caso que se analiza en este artículo. En función de la edad y de la familiaridad que los alumnos tengan con la tarea en cuestión, el modelado de pensamiento a ofrecer puede ser más o menos dirigido y más o menos interactiva la sesión en la que se lleve a cabo. Aunque el método es complejo, es relevante por tres razones: primeramente, puede decirse que promueve en los estudiantes la comprensión sobre la importancia y riqueza del proceso de toma de decisiones; en segundo término, estimula el aprendizaje sobre un manejo flexible de los procedimientos y, en tercer lugar, provee a los estudiantes de vocabulario y categorías conceptuales que les permitan manejar las diferentes fases del proceso de resolución de las tareas.

B. Hojas y pautas de pensamiento

Las hojas de pensamiento son apoyos escritos diseñados para promover, orientar y aún garantizar un determinado proceso de pensamiento de los alumnos cuando están aprendiendo tareas complejas; se presentan como afirmaciones o preguntas abiertas. Según Monereo y Pozo [15] funcionan como una especie de conciencia externa.

En contraparte, las pautas se formulan como acciones a realizar (o preguntas cerradas) y se dirigen a recordar determinadas actividades que suponen puntos claves en el proceso de resolución de la tarea (selecciona los datos relevantes y elimina los que sean irrelevantes –en un problema de Física–, escoge los símbolos a utilizar –en la realización de un diagrama- y así).

Tanto las hojas de pensamiento como las pautas han revelado su utilidad en el momento de favorecer una práctica reflexiva, dado que suponen un andamiaje que va siendo retirado a medida que el alumno interioriza el proceso de pensamiento que sugieren y que es capaz de atender de forma autónoma a las condiciones cambiantes de las tareas [61, 62, 63, 64]. Aunque en general estos recursos se manejan por escrito, pueden ofrecerse a modo de interrogantes orales por parte del profesor (interrogación guiada), o con la ayuda de cualquier otro soporte tecnológico.

C. Discusión sobre el proceso de pensamiento

Este método permite observar y recoger, aparte del producto final, la forma en que los estudiantes procedieron para resolver una tarea, en qué aspectos se fijaron, qué variables les parecieron o no relevantes y qué decisiones fueron tomando con el objetivo de promover la discusión de los estudiantes acerca de la calidad del proceso seguido, teniendo en cuenta los objetivos perseguidos en cada caso.

Las situaciones de enseñanza-aprendizaje en las que es posible usar esta metodología pueden ir desde un planteamiento más abierto (en la que el profesor pide a los alumnos que expliquen cómo hicieron para resolver la tarea) hasta otros más estructurados y sistematizados (en los que, por ejemplo, los alumnos trabajan en grupo y uno de sus compañeros -o el propio profesor- actúa como observador y va registrando lo que sucede, las decisiones que van tomando), pasando también por situaciones intermedias (el profesor solicita que los alumnos antes de empezar expliquen cómo creen que deben proceder; o bien, éstos trabajan por parejas y al final registran libremente los pasos que siguieron; o incluso, el profesor ofrece un check-list –un registro de diferentes posibilidades de actuación– una vez realizada la tarea para que los alumnos anoten lo que hicieron y lo que no).

En todos los casos se trata de facilitar la recopilación del proceso seguido para que pueda ser objeto de discusión con los alumnos y éstos puedan poner en relación las formas de proceder y los diferentes resultados en cada una de las tareas, con el objetivo último de consolidar, ampliar y flexibilizar su conocimiento estratégico. Una de las ventajas que poseen es la facultad de poderse introducir como un elemento del modelado de pensamiento para facilitar el proceso de asimilación de la estrategia por parte del estudiante [15].

Las discusiones sobre los procesos de pensamiento pueden dar lugar a nuevas formas de entender la actuación estratégica y con base en ellas se pueden diseñar, con los alumnos, nuevas ayudas (hojas de pensamiento, o pautas de autoevaluación) para seguir regulando el proceso a seguir, en situaciones futuras y para tareas más complejas [61, 62, 64].

IV. METODOLOGÍA

A. Contexto de la intervención

En esta investigación se propone desarrollar una estrategia instruccional basada en el aprendizaje estratégico [15] fundamentado en la metodología de modelado de pensamiento o método de instrucción directa [67], en el contexto de una situación de aprendizaje de la energía y sus propiedades para alumnos de Preparatoria, en una institución educativa privada en la ciudad de Tampico, Tamaulipas México. La Preparatoria está incorporada al sistema educativo del Colegio de Ciencias y Humanidades (C.C.H.) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Dentro del plan de estudios del C.C.H., las asignaturas de Física se abordan, con carácter obligatorio, durante el tercer y cuarto semestre de Preparatoria. En las dos asignaturas obligatorias de Física, se abordan los temas de Introducción al aprendizaje de la Física, Mecánica de Partículas, Fenómenos Térmicos, Fenómenos Ondulatorios, Fenómenos Electromagnéticos y Física Contemporánea. Un concepto transversal en todos estos temas es el de la energía, cuyo primer acercamiento se da en la segunda unidad de Física I: Mecánica de la Partícula. En este nivel de estudios, los alumnos tienen conocimientos esenciales de Álgebra, por lo que el tratamiento operativo de los conceptos físicos debe ser abordado en ese marco de referencia.

Un rasgo particular de la investigación que se propone es que se desarrolla en el contexto de la pandemia mundial de CoVid 19 que motivó a las autoridades gubernamentales de todos los niveles, a confinar a los estudiantes y profesores en sus domicilios, razón por la cual, las clases de todo el sistema educativo del país deben ser impartidas en línea. Así entonces, esta situación promueve el uso de las tecnologías de información y toda la intervención está propuesta para trabajar bajo este esquema. Las sesiones de trabajo se desarrollarán a través de sesiones en línea mediante videoconferencias, donde la profesora interactuará con los estudiantes utilizando los recursos propios de la herramienta tecnológica: pizarra, chat, videgrabación y acceso a formación de grupos pequeños de trabajo. Otro recurso tecnológico importante es el 'aula virtual' (classroom), la cual es uno de los recursos que ofrece Google de forma gratuita. En este espacio, la profesora organizará los materiales de trabajo (archivos, enlaces a recursos educativos como videos y simuladores). En esta misma ubicación virtual, se organizarán las actividades que el alumno debe entregar como evidencia de su trabajo individual o de grupos pequeños (ejercicios, reportes de actividad o de prácticas experimentales) y se planificarán y aplicarán las evaluaciones con fines diagnósticos, de valoración de avance y sumarias, con fines de asignación de calificaciones.

Para la socialización de conceptos, se propone utilizar el *jamboard*, otro recurso gratuito de Google al que se accede mediante la creación de una cuenta de correo electrónico. Las actividades experimentales que se proponen como parte de la intervención se realizan utilizando los simuladores de uso gratuito *PhET* [65], sin embargo, también se proponen actividades que el alumno pueda desarrollar desde casa para

contrastar las hipótesis de trabajo que se le requieran en ciertas actividades de clase.

Un recurso adicional para atender las dudas e inquietudes de los estudiantes, es la creación de un grupo de WhatsApp, utilizando sus teléfonos celulares.

Aunque todas las diferentes tecnologías de información mencionadas tienen numerosas ventajas, entre las que destaca el hecho de poder dar continuidad a las clases con los estudiantes, también presentan ciertas limitantes como el estar supeditadas a la calidad de la conexión de internet tanto de la profesora como de los estudiantes, el cual no siempre funciona de forma óptima. Por este motivo, todas las sesiones de trabajo de la intervención se grabarán y se pondrán a disposición de los estudiantes con fines de recuperación en caso necesario. Otra limitante es el cansancio físico de los estudiantes, propio de un uso extensivo de la computadora, ya que toda su jornada de estudios se da por este medio, de lunes a viernes en un horario de 7:00- 14:45 horas. En una situación presencial, el docente puede manejar este tipo de situaciones de diferentes maneras, pero en un contexto virtual depende solo de lo que puede percibir a través de la pantalla y de las evidencias que recibe por el aula. Bajo estas circunstancias de trabajo, las secuencias didácticas requieren de una mayor estructura por parte del profesor, a fin de que en el tiempo efectivo de clase se aborden todos los conceptos relevantes y se disponga de una práctica adecuada para los estudiantes.

La intervención se efectuará por primera ocasión durante el mes de noviembre de 2020. El tiempo propuesto para su desarrollo son nueve sesiones de trabajo con los estudiantes, con una duración efectiva de 90 minutos cada sesión. Adicionalmente, se requerirá de los estudiantes la realización de ciertas actividades fuera del tiempo de clase, las cuales se realizarán de manera individual y grupal. Antes de iniciar la intervención se aplicará un cuestionario diagnóstico (pre test) para valorar las ideas previas de los estudiantes en torno al tema de estudio. Al finalizar la intervención, se aplicará a los estudiantes un segundo cuestionario (post-test), a fin de valorar los cambios producidos durante la intervención en torno a los conceptos de estudio.

B. Diseño de la intervención

La intervención está diseñada como una serie de cuatro secuencias didácticas (figura 1), en las que se aplicarán estrategias que incluyen el modelado de pensamiento [58, 59, 60], acompañadas por apoyos instruccionales (hojas de pensamiento) para diferentes actividades que requieren un abordaje estratégico [61, 62, 63, 64]; durante las sesiones se promoverá la discusión reflexiva [61, 62, 64].

El objetivo educativo de la intervención es que los estudiantes conozcan y comprendan que la energía se transfiere, se transforma y se conserva y que su degradación implica limitaciones en su aprovechamiento [66]. El concepto de energía que se desarrollará se circunscribe al estudio de la energía mecánica exclusivamente, por lo que en el tratamiento de los conceptos a través de toda la intervención, los sistemas físicos que se analizarán se considerarán como partículas, sin rodamiento ni deformación.

La estructura de las cuatro secuencias didácticas bajo el esquema de un modelado de pensamiento [15] -el cual también se conoce como un modelo de instrucción directa [67], abarca al menos cuatro momentos (figura 2): 1) introducción; 2) presentación; 3) práctica guiada y 4) práctica independiente (individual o en grupos pequeños).

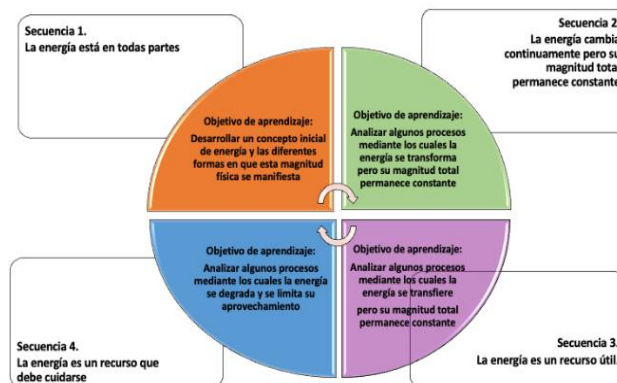


FIGURA 1. Secuencias didácticas con sus respectivos objetivos de aprendizaje para el aprendizaje de la energía y sus propiedades, con base en un modelado de pensamiento (modelo de instrucción directa).

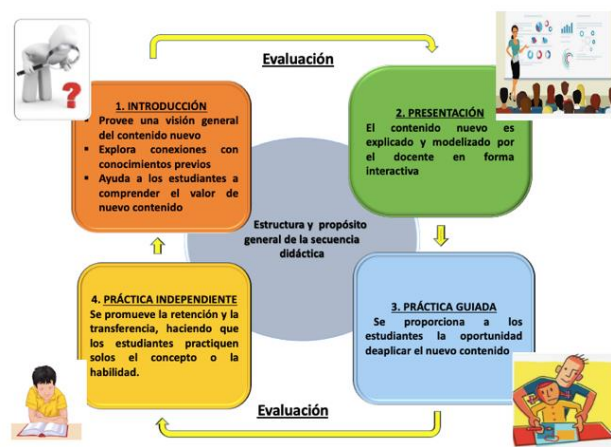


FIGURA 2. Momentos de instrucción de acuerdo al modelado de pensamiento o de instrucción directa (MID).

El proceso de evaluación se considera como un elemento transversal a través de todo el proceso instruccional puesto que se desarrolla antes de iniciar la intervención (pretest de ideas previas sobre la energía y sus propiedades), durante la intervención, donde la profesora monitoreará de forma cualitativa y cuantitativa los progresos en el aprendizaje de los estudiantes y también se aplicará la evaluación sumativa bajo el formato de post-test y productos de aprendizaje.

Durante la cuatro secuencias didácticas se abordarán ideas clave las cuales serán el punto de partida para que la profesora introduzca los conceptos y desarrolle el modelado de pensamiento que proporcione a los estudiantes un marco de referencia para la estructuración de sus procesos cognitivos a fin de enlazar conceptos previos con la nueva

información que se le presenta, a la vez que se va promoviendo, de manera intencional y consciente, la estrategia mediante la cual ese proceso puede desarrollarse de manera eficaz por medio de preguntas, análisis de situaciones experimentales y desarrollo de ejercicios [15, 56, 57, 67].

La intención de la estrategia de un modelo de instrucción directa es contribuir al desarrollo de un tipo de *conocimiento generativo* en los estudiantes, que pueda ser usado para interpretar situaciones novedosas, resolver problemas y, en general, para razonar y aprender [67]. Este tipo de conocimiento implica aprender contenidos, que en el caso de la presente investigación involucran a la energía y sus propiedades esenciales (transformación, transferencia, conservación y degradación), así como desarrollar de manera consciente e intencional las habilidades de pensamiento crítico pertinentes para su procesamiento y asimilación: identificación de información relevante; identificación de tendencias, identificación de suposiciones implícitas, confirmación de conclusiones con hechos y reconocimiento de sobregeneralizaciones y subgeneralizaciones.

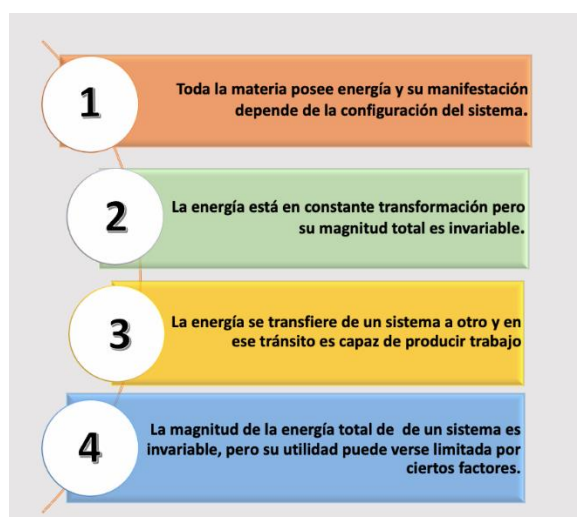


FIGURA 3. Ideas clave para el aprendizaje de la energía y sus propiedades.

La intervención se propone con base en la premisa de que *aprender es una consecuencia de pensar* [67]. La retención, la comprensión y el uso activo del conocimiento pueden lograrse si se somete a los estudiantes a experiencias de aprendizaje donde piensen ‘acerca de’ y ‘con lo que’ están aprendiendo.

Los procesos de pensamiento crítico que se espera desarrollar mediante la intervención propuesta están dirigidos a:

1. *Identificar información relevante*: a) la delimitación del sistema físico bajo estudio; b) la configuración (características) propias del sistema; c) las interacciones que ocurren entre los elementos de un sistema o entre un sistema y su entorno; c) las variables o indicadores de la energía mecánica (velocidad, posición, masa), energía térmica (fricción, desplazamiento), trabajo (fuerza, desplazamiento, ángulo respecto al eje de movimiento).
2. *Identificación de tendencias*: a) los patrones de comportamiento en las variables del sistema bajo estudio (velocidad, posición, desplazamiento) asociados a los

cambios en las manifestaciones energéticas (energía cinética, energía potencial gravitacional, energía térmica).

3. *Identificación de suposiciones implícitas*: a) El incremento de energía en una parte del sistema implica el decremento de energía en otra parte del sistema. b) La presencia de fuerzas de rozamiento limita los cambios de movimiento (velocidad o posición).
4. *Confirmación de conclusiones con hechos*: las actividades experimentales en ambientes simulados [65] y/o reales permiten que los estudiantes puedan confirmar o refutar sus hipótesis, con base al comportamiento de las variables de velocidad y posición vinculados a los cambios en las magnitudes en la energía cinética o potencial gravitacional de los sistemas bajo estudio.
5. *Reconocimiento de sobre generalizaciones y subgeneralizaciones*: a) la energía está presente en toda la materia; su manifestación depende de la configuración del sistema; b) la energía experimenta cambios (transformación, transferencia, degradación) a través de las interacciones que ocurren en la materia; c) La energía está en constante cambio pero su magnitud total permanece constante; d) Los procesos de transformación de la energía pueden producir trabajo; e) La energía puede experimentar cambios en su configuración que la llevan a estados más desordenados, por lo que aunque su magnitud se mantiene constante, su utilidad se limita.

Las secuencias presentan un alto grado de estructuración dado que se asume que los estudiantes tienen un antecedente teórico limitado del tema y por las circunstancias particulares en las que se desarrolla la intervención (aprendizaje en línea), lo que implica un uso cuidadoso y eficaz del tiempo didáctico.

La figura 4 presenta los elementos clave que se consideran en el método de instrucción directa (modelado de pensamiento) para el aprendizaje de la energía y sus propiedades con estudiantes de Preparatoria en un curso introductorio de Física.

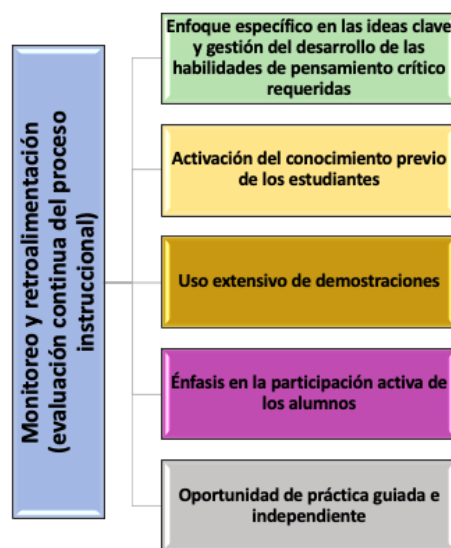


FIGURA 4. Elementos clave en la aplicación del método de instrucción directa en el proceso instruccional de aprendizaje sobre la energía y sus propiedades en un curso introductorio de Física.

C. Muestra e instrumentos para colección de datos

En función de las circunstancias en las que se desarrollará la intervención, ésta se aplicará a un solo grupo mixto de 16 estudiantes de Preparatoria en una institución educativa privada incorporada al plan de estudios del C.C.H. de la UNAM, en la ciudad de Tampico, Tamaulipas, México durante el mes de noviembre de 2020. Las edades de los estudiantes oscilan entre los 16 y 17 años. La intervención se realizará con consentimiento informado.

La colección de datos para determinar la efectividad del proceso instruccional se realizará mediante diversos instrumentos:

- a. Pretest y post-test.
- b. Hojas de pensamiento.
- c. Productos de aprendizaje: reporte experimental y ejercicios.
- d. Entrevistas semiestructuradas.

Tanto el pretest como el post-test que se aplicarán, constan de una serie de 20 reactivos cada uno, cuyo contenido se relaciona con las siguientes ideas clave:

1. Toda la materia posee energía.
2. La naturaleza de la energía de un sistema está determinada por la configuración propia de éste.
3. La energía se transforma.
4. La energía se transfiere.
5. La energía se conserva.
6. La energía experimenta degradación cuando en el sistema actúan fuerzas de rozamiento.

Los ítems se obtuvieron del banco de reactivos proporcionado en el sitio web del Proyecto 2061 de Evaluación de Ciencias de la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia (AAAS por sus siglas en inglés) [68]. El objetivo de este banco de reactivos, es que tanto profesores como investigadores educativos, puedan tener acceso a conformar pruebas mediante las cuales sea posible conocer las ideas y conceptos de los estudiantes sobre diferentes tópicos científicos de interés mundial, de acuerdo con los criterios de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). Los reactivos están diseñados para los niveles educativos de educación básica y preuniversitaria (primaria, secundaria y preparatoria).

Los reactivos seleccionados fueron tomados del área de energía, correspondiendo a la evaluación de conceptos vinculados con la energía mecánica. Para la construcción del pretest y post-test se diseñó una matriz que considerase ítems de todas las ideas centrales y de todos los niveles de dominio: 20 reactivos en total para el pretest y 20 reactivos para el post-test. Cada prueba se configurará en el formato de cuestionario que proporciona el aula virtual de la clase y se programará en una fecha y hora determinada, antes de iniciar la intervención y al final el proceso.

Tanto el pretest como el post-test se aplicarán durante sesiones de videoconferencia con la profesora fuera del horario de clases. Durante la videoconferencia, se les concederá acceso a los estudiantes al cuestionario: La videoconferencia se mantendrá abierta exclusivamente para aclaración de dudas con relación a las instrucciones del cuestionario o problemas técnicos que pudieran suscitarse

por la conexión a internet. El tiempo estimado de la aplicación es de 40 minutos aproximadamente, pero se les dará a los estudiantes el tiempo que estimen conveniente para responderlo en su totalidad.

Ambos cuestionarios serán sometidos a un análisis de Rasch para valorar los cambios producidos mediante la intervención: su elección se fundamenta en sus características intrínsecas de *objetividad específica* y *capacidad de medición conjunta* de los reactivos y los participantes [69, 70, 71].

Este análisis se complementará con las respuestas de los estudiantes de los diferentes productos de aprendizaje y entrevistas, a fin de tener un panorama más amplio y descriptivo de los resultados de la intervención.

IV. CONCLUSIONES

La energía es, sin duda alguna, un tema poderoso y desafiante para cualquier educador. Su transversalidad en la curricula escolar y su alcance lo convierten en uno de los temas que ocupan el interés de los organismos mundiales de cultura y educación, como la UNESCO. Lamentablemente, su abordaje en todos los niveles educativos está plagado de errores conceptuales que limitan su comprensión y aprendizaje para los estudiantes. Las fuentes de error conceptual no solo radican en las ideas previas de los aprendices, sino en el lenguaje y desarrollo didáctico de las ideas centrales por parte de los profesores y los libros de texto, reduciendo su asimilación a un tratamiento operativo y a menudo descontextualizado de situaciones cotidianas que le permitan al estudiante vincularlo con los grandes retos socioeconómicos que enfrentan las sociedades actuales.

Afortunadamente, muchas de estas fuentes de error pueden ser resueltas con un tratamiento cuidadoso y preciso de la terminología y aplicando alternativas instruccionales que formenten y promuevan de forma intencional no solo la asimilación de contenidos, sino el *desarrollo progresivo de habilidades de pensamiento crítico* que permitan acceder, procesar y evaluar la información recibida en los ambientes de clase y utilizarla en el análisis de situaciones cotidianas y novedosas, dentro y fuera del contexto académico. El aprendizaje estratégico ofrece variadas alternativas instruccionales al alcance de los profesores de todos los niveles educativos para convertir las aulas presenciales y virtuales en verdaderos 'laboratorios de pensamiento', promoviendo en los estudiantes el interés por desarrollar habilidades de *conocimiento generativo* que le permitan una toma de decisiones más eficaz no solo en la escuela, sino en todos los ámbitos de su vida.

Es de destacar a la *conservación de la energía* como un elemento central de la propuesta instruccional: los conceptos de transformación, transferencia y degradación de la energía pueden ser inferidos solo si se considera que la energía total del sistema permanece invariable. Otro elemento conceptual digno de mención especial es que *toda la materia posee energía*: ésta es una idea que parece simple, pero a la vez es muy poderosa: los educadores de ciencias no deben perder la oportunidad de sensibilizar a los estudiantes de la enorme riqueza y capacidad transformadora que el ser humano tiene

a su alcance y de la forma como el estudio de la ciencia ofrece acceso a ese potencial.

La presente propuesta es de alcances ambiciosos, puesto que es el sentir de los autores que hay pensar en grande para lograr cosas grandes: México no debe quedarse rezagado en los esfuerzos por promover una cultura energética al alcance de las nuevas generaciones; a partir de la premisa de que si el presente y el futuro de una nación radica en la educación, hay que promover la educación científica para dar respuesta a los grandes desafíos de la nación.

La presente investigación no está exenta de limitaciones: la muestra es pequeña, el tiempo y condiciones en los que se aborda también imponen restricciones y limitantes a los resultados que de ella puedan obtenerse. No obstante, su relevancia y pertinencia se mantienen, puesto que se espera que sea un referente para nuevas y más profundas investigaciones en torno a este apasionante tema.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia (AAAS), por el libre acceso que ofrece a profesores e investigadores educativos a su banco de reactivos para la conformación de pruebas sobre el tema de energía y sus propiedades. Así como al Instituto Politécnico Nacional por el apoyo financiero mediante el proyecto de investigación SIP-20200825.

REFERENCIAS

[1] Ding, L., Chabay, R., y Sherwood, B., *How do students in an innovative principle-based mechanics course understand energy concepts?* Journal of research in science teaching **50**, 722-747 (2013).

[2] Arons, A. B., *Developing the energy concepts in introductory physics*, The Physics Teacher, 506-517. (1989).

[3] Arons, A. B., *Desarrollo de conceptos energéticos en cursos de introducción a la Física*. Revista Estadounidense de Física **67**, 1063-1067 (1999).

[4] Jewett, J. W., *Energy and the confused student IV: A global approach to energy*, The Physics Teacher (April 2008).

[5] Doménech, J. L. L., Pérez, D. G., Gras-Martí, A., Guisasola, J., Martínez-Torregrosa, J., Salinas, J., Trumper, R. y Valdés, P., *La enseñanza de la energía: una propuesta de debate para un replanteamiento global*, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **20**, 285 (2003).

[6] Warren, J. W., *Energy and its carriers: a critical analysis*, Physics Education **18**, 209-212 (1983).

[7] Duit, R., *In search of an energy concept*, in: Energy matters, (University of Leeds, Leeds, 1986).

[8] Trumper, R., *Being constructive, an alternative approach to the teaching of the energy concept, part two*. International Journal of Science Education **13**, 1- 10 (1991).

[9] Prideaux, N., *Different approaches to the teaching of the energy concept*, School Science Review **77**, 49-57 (1995).

[10] Hicks, N., *Energy is the capacity to do work -or is it*, The Physics Teacher **21**, 529-530 (1983).

[11] Shadmi, Y. *An outline of a mechanics course based on the israeli junior High School Physics Curriculum*, in: Science Teaching in Israel Origins. Development and Achievements. Jerusalem, (1984).

[12] Resnick, R., Halliday, D., Krane, K. S., *Física*, vol. 1 (Compañía Editorial Continental, México, 1993).

[13] Pfundt, H., Duit, R., *Students alternative frameworks and science education*. (University of Kiel: Institute for Science Education, Kiel, 1998).

[14] Chevallard, Y., *La trasposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado*, 3ª edición (Aique, Argentina, 2005).

[15] Pozo, J. I., Monereo, C., y Castelló, M., *El uso estratégico del conocimiento* (Psicología de la educación escolar, Alianza, Madrid, 2001).

[16] Gil-Pérez, D., Furió, C. y Carrascosa J., *Curso de formación para profesores de ciencias. Unidad I.1. La energía: la invención de un concepto fructífero*, (MEC, Madrid, 1996).

[17] Gil-Pérez, D., Vilches, A., *Una alfabetización científica para el siglo XXI. Obstáculos y propuestas de actuación*. Investigación en la Escuela **43**, 27-37 (2001).

[18] Duschl, R. A., *Renovar la enseñanza de las ciencias*. (Narcea, Madrid, 1997).

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

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

[21] Jewett Jr, J.W., *Energy and the confused student II: Systems*, The Physics Teacher **46**, 81-86 (2008c).

[22] Barrow, G. M., *Thermodynamic should be built on energy-not on heat and work*, Journal of Chemical Education **65**, 122-125 (1988).

[23] Sevilla, C., *Reflexiones en torno al concepto de energía. Implicaciones curriculares*, Enseñanza de las Ciencias **43**, 247-252 (1986).

[24] Chisholm, D., *Some energetic thoughts*, Physics Education **27**, 215-220 (1992).

[25] Mallinckrodt, A. J., Leff, H. S., *All about work*, American Journal of Physics **60**, 356-365 (1992).

[26] Van Roon, P. H., Van Sprang, H. F., Verdong, E., *Work and Heat: on a road towards thermodynamics*, International Journal of Science Education **16**, 131-144 (1994).

[27] Alonso, M. y Finn, E., *Un enfoque integrado de la termodinámica en el curso de Física General*, Revista Española de Física **10**, 25-31 (1996).

[28] Sherwood, B. A., *Pseudowork and real work*, American Journal of Physics **51**, 597-602 (1983).

[29] Sherwood, B. A. & Bernard, W. H., *Work and heat transfer in the presence of sliding friction*, American Journal of Physics **52**, 1001-1007 (1984).

[30] Bernard, W. H., *Internal work: A misinterpretation*, American Journal of Physics **52**, 253-254 (1984).

[31] Monleón, M., *Analysis of a trivial example and critical considerations following from it regarding the historiography of energy conservation*, in: Thermodynamics: History and Philosophy (World Sci. Pu, Singapore, 1991).

[32] Bauman, R. P., *Physics that textbook writers usually get wrong, I Work*, The Physics Teacher **30**, 264-269 (1992).

- [33] Leff, H. S & Mallinckrodt, A. J., *Stopping objects with zero external work: Mechanics meets Thermodynamics*, American Journal of Physics **61**, 121–127 (1993).
- [34] Solbes, J., Tarín, F., *Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía*, Enseñanza de las Ciencias **16**, 387-397, (1998).
- [35] Van Heuvelen, A., Zou, X., *Multiple representations of work-energy processes*, American Journal of Physics **69**, 184-194 (2001).
- [36] Ogborn, J., *Energy and fuel -the meaning of the go of things*, in: *Energy matters*, (University of Leeds, Leeds, 1986).
- [37] Ogborn, J., *Energy, change, difference and danger*, School Science Review **72**, 81-85 (1990).
- [38] Pintó, R., *Algunos aspectos implícitos en la Primera y Segunda Ley de la Termodinámica: una aportación al estudio de las dificultades de su aprendizaje*. Tesis doctoral - Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, España, 1991).
- [37] Atkins, P. W., *La segunda ley*, (Prensa científica, Barcelona, 1992).
- [40] Boltzam, L., *Escritos de Mecánica y Termodinámica*. (Alianza, Madrid, 1986).
- [41] Erlichson, H., *Work and kinetic energy for an automobile coming to a stop*, American Journal of Physics **45**, 769 (1977).
- [42] Penchina, C. M., *Pseudowork-energy principle*, American Journal of Physics **46**, 295–296 (1978).
- [43] Chabay, R. W. and Sherwood, B. A., *Bringing atoms into first-year physics*, American Journal of Physics **67**, 1045–1050 (1999).
- [44] Jordan, R. G., *Work reworked*, The Physics Teacher **40**, 526– 527 (2002).
- [45] Wetherhold, J., *Work reworked problem, letter to the editor*, The Physics Teacher **41**, 260 (2003).
- [46] Mancuso, R., *Work and potential energy, letter to the editor*, The Physics Teacher **41**, 260 (2003).
- [47] Jordan, R. G., *Work reworked, author response, letter to the editor*, The Physics Teacher **41**, 260–261 (2003).
- [48] Weinstock, R., *Work reworked—reworked, letter to the editor*, The Physics Teacher **41**, 316 (2003).
- [49] Mungan, C. E., *A primer on work-energy relationships for Introductory Physics*, The Physics Teacher **43**, 10–16 (2005).
- [50] Serway, R. A. & Jewett, J. W., *Principles of Physics*, 4th ed. (Brooks/Cole, Belmont CA, 2006), pp. 173–177.
- [51] Monereo, C. (coord.), *Estrategias de enseñanza y aprendizaje. Formación del profesorado y aplicación en la escuela*, (Grao, Barcelona, 1994).
- [52] Martí, E., *Metacognición: entre la fascinación y el desencanto. Infancia y aprendizaje* **72**, 9- 32, (1995).
- [53] Martí, E., *Metacognición y estrategias de aprendizaje*. En J. I. Pozo y C. Monereo (Eds.): *El aprendizaje estratégico*, (Santillana Aula XXI, Madrid, 1999).
- [54] Schraw, G. y Moshman, D., *Metacognitive theories*, Educational Psychology Review **7**, 351-371 (1995).
- [55] Reder, L. M. y Schunn, C. D., *Implicit memory and metacognition*, (Erlbaum, Mahwah, N. J., 1996).
- [56] Pozo, J. I. y Postigo, Y., *Los procedimientos como contenidos escolares: el uso estratégico de la información*, (Edebé, Barcelona, 2000).
- [57] Monereo, C. y Solé, I. (Coord.), *El asesoramiento psicopedagógico: una perspectiva profesional y constructivista*, (Alianza Editorial, Madrid, 1996).
- [58] Duffy, G. G. y Roehler, L. R. *Direct explanation of comprehension processes*, in: Duffy; L. R. Roehler y J. Mason. *Comprehension instruction: Perspectives and suggestions* (265-280) (Logman, N. Y., 1984).
- [59] Pressley, M., Woloshyn, V., Lysynchuk, L. M., Martin, V., Wood, E. y Willoughby, T., *A Primer of Research on Cognitive Strategy Instruction: The Important Issues and How to Address Them*, Educational Psychology Review **2**, 1-58 (1990).
- [60] Castelló, M. y Monereo, C., *Un estudio empírico sobre la enseñanza y el aprendizaje de estrategias para la composición escrita de textos argumentativos*, Infancia y aprendizaje **74**, 39-55(1996).
- [61] Castelló, M., *Estrategias argumentativas: escribir para convencer*, Textos **6**, 97-106 (1995a).
- [62] Castelló, M., *Estrategias para escribir pensando*, Cuadernos de pedagogía **237**, 22-28 (1995b).
- [63] Camps, A. y Castelló, M., *Las estrategias de enseñanza-aprendizaje en el proceso de composición escrita*, en: Monereo, C. y Solé, I. (Coords.), *El asesoramiento psicopedagógico: una perspectiva profesional y constructivista* (321-342), (Alianza, Madrid, 1996).
- [64] Monereo, C., *Enseñar a aprender y a pensar en la Educación Secundaria: las estrategias de aprendizaje*, en: Coll, C. (de.) *Psicología de la Instrucción: la enseñanza y el aprendizaje en la Educación Secundaria*. (ICE de la Universidad de Barcelona y Horsoriadrid, Barcelona, 1999a).
- [65] Boulder, U. (26 de 1 de 2015). PhET. Obtenido de la red en PhET: <http://phet.colorado.edu/>
- [66] Plan de estudios del CCH (s/f). [En línea], Portal de la Dirección General de Incorporación y Revalidación de Estudios del Colegio de Ciencias y Humanidades, disponible en <https://www.dgire.unam.mx/contenido/wp/planes-de-estudio-y-programas-operativos/plan-y-programas-indicativos-colegio-de-ciencias-y-humanidades/>, consultado el 3 de enero del 2020.
- [67] Eggen, P. D., Kauchak, D. P., y Eggen, K. P., *Estrategias docentes: enseñanza de contenidos curriculares y desarrollo de habilidades de pensamiento*, (Fondo de cultura económica, 2009).
- [68] American Association for the Advancement of Science. AAAS Project 2061 Science Assessment website (2013). Consultado en la Red el 3 de agosto del 2020. Disponible en: <http://assessment.aaas.org/>
- [69] Tristán, A., *Análisis de Rasch para todos*, (Ceneval, México, 2001).
- [70] Prieto Adánez, G. & Delgado González, A. R., *Análisis de un test mediante el modelo de Rasch* (2003).
- [71] González, M., *El análisis de reactivos con el Modelo Rasch*, Instituto para la medición de la educación **2**, 1-110 (2008).

ANEXO 1

SECUENCIA DIDÁCTICA
LA ENERGÍA ESTÁ EN TODAS PARTES

Unidad I. Mecánica de la partícula: Leyes de Newton

Propósito general

El alumno conoce y comprende que la energía se transfiere, se transforma y se conserva y que su disipación implica limitaciones en su aprovechamiento, promoviendo así el uso racional de la energía.

Aprendizajes de la secuencia

- El alumno desarrolla un concepto inicial de la energía y describe algunas de sus características distintivas.
- El alumno identifica, clasifica y asocia las manifestaciones de energía con algunas de las aplicaciones que a través de la historia humana se le ha dado.
- El alumno reflexiona y expresa argumentos sobre la importancia de la energía para el ser humano
- El alumno asocia la transformación de la energía con la configuración de un sistema, así como con las interacciones que experimenta con otras partes del mismo u otros sistemas.
- El alumno identifica y cuantifica las interacciones existentes entre la energía cinética y la energía potencial gravitacional en un sistema físico conformado por partículas.
- El alumno analiza que en las transformaciones que experimenta la energía, su magnitud total permanece invariable.
- El alumno expresa las transformaciones de energía mecánica en forma matemática.

Conceptos clave:

energía	formas de energía	sistema físico	transformación de la energía
energía mecánica	energía cinética	energía potencial gravitacional	conservación de la energía

Tiempo didáctico estimado: 2.5 horas

La energía está en todas partes.

Aprendizajes de la sesión

- El alumno desarrolla un concepto inicial de la energía y describe algunas de sus características distintivas.
- El alumno identifica, clasifica y asocia las manifestaciones de energía con algunas de las aplicaciones que a través de la historia humana se le ha dado.
- El alumno reflexiona y expresa argumentos sobre la importancia de la energía para el ser humano
- El alumno asocia la transformación de la energía con la configuración de un sistema, así como con las interacciones que experimenta con otras partes del mismo u otros sistemas.

Introducción

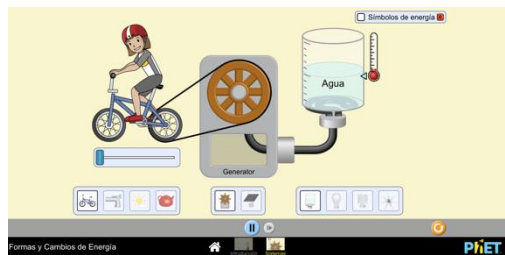
Se presenta a los estudiantes la pauta y hoja de pensamiento (anexo 1). Se da oportunidad a que la resuelvan y suban al aula virtual sus respuestas.

A través de un jamboard, la profesora recupera los resultados de los estudiantes en torno a la actividad realizada. Para cerrar este momento de la clase se espera que los alumnos puedan construir un concepto inicial de energía en función de su capacidad transformadora de la materia y el entorno, asocien a la energía con algunas de sus manifestaciones en el mundo físico y que puedan expresar su opinión sobre la importancia que ha jugado en el desarrollo de las civilizaciones.

Presentación

Se presenta a los estudiantes el simulador: Formas y cambios de energía

Enlace: https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes_es.html



A través del simulador, la profesora introduce el concepto de sistema físico, como un conjunto de elementos relacionados entre sí para lograr un propósito. A través de la manipulación del simulador, el profesor expresa la **primera idea clave: toda la materia presenta algún tipo de energía**. través de las respuestas de los estudiantes el profesor destaca que toda la materia posee este tipo de magnitud con potencial transformador. La manifestación de la energía está asociada a la configuración particular de la materia o del tipo de interacción que presentación otros elementos que participan en el sistema u otros sistemas.

En el caso particular de la **energía mecánica**, hay dos manifestaciones íntimamente ligadas entre sí: la energía potencial, a la cual se le adjudica este nombre por la capacidad que presenta el sistema para producir un trabajo. Se destaca que una de las manifestaciones más comunes de la energía potencial es la **energía potencial gravitacional (Epot)**. La energía potencial está asociada a la configuración o ubicación del sistema. Otro ejemplo de energía potencial es la que posee un resorte comprimido, el cual, al soltarse, puede transformarse o transferirse como energía de movimiento. La energía que tiene una carga eléctrica en ciertas condiciones tipifica como energía potencial.

Otra manifestación de la energía mecánica es la **energía cinética (K)**, que es la que posee un objeto en movimiento y depende tanto de su masa como de su velocidad. Se enfatiza que la energía de movimiento, comúnmente se le asocia con la configuración del sistema: Por ejemplo, la vibración de las partículas (átomos) que conforman la materia se le asocia con el calor, la energía que produce el viento al moverse se le llama energía eólica, la energía que produce el movimiento del agua, se le llama energía hidráulica. Estas manifestaciones de energía son una expresión de la energía cinética.

Transformaciones que se analizan








a. Transformación de energía mecánica en calor a través de un generador	Caso a ₁ : energía mecánica de la bicicleta
	Caso a ₂ : energía mecánica del agua
b. Transformación de energía mecánica en energía eléctrica a través de un generador	Caso b ₁ : energía mecánica de la bicicleta
	Caso b ₂ : energía mecánica del agua
c. Transformación de energía solar en calor a través de una celda solar	
d. Transformación de energía solar en energía eléctrica a través de una celda solar	
e. Transformación de energía solar en energía mecánica a través de una celda solar	
f. Transformación de calor en energía eléctrica a través de un generador	
g. Transformación de calor en energía mecánica a través de un generador	

En cada ejemplo se destacará:

- Los componentes del sistema y que cada uno de ellos presenta algún tipo de energía y que esta magnitud parece estar en perpetuo cambio.
- La configuración necesaria para que la transformación ocurra
- Los cambios que se presentan y que dan evidencia de la energía
- Condiciones particulares (restricciones).

Práctica guiada

Se organizarán grupos pequeños para analizar diferentes imágenes en un jamboard, donde a cada grupo se le solicita identificar el mayor número de manifestaciones de la energía que ubique en la imagen, su configuración, los cambios o transformaciones que presenta (o puede presentar) y si existe una condición especial que considerar.

¿Cómo se hace presente la energía en estas figuras?	
	
 <p>Página principal</p>	
	
	

Práctica independiente

Se asignará a los estudiantes que identifiquen y reporten tres situaciones diferentes en su hogar donde identifiquen la presencia de energía y el tipo de transformaciones que experimenta en función de su configuración. Así entonces, el reporte debe incluir las manifestaciones de la energía presentes, su configuración, los cambios o transformaciones que presenta (o puede presentar) y si existe una condición especial que considerar.

ANEXO 2

HOJA DE PENSAMIENTO

**Colegio Félix de Jesús Rougier
Sección Preparatoria
Área de Ciencias Experimentales**

**Asignatura: Física I
Ciclo escolar: 2020-2021/I**

Unidad I. Mecánica de la partícula: Leyes de Newton

Tema: La energía y sus formas en la mecánica de la partícula.

Actividad de introducción.

Instrucciones

1. Observa críticamente el video del siguiente enlace:
 2. (<https://www.youtube.com/watch?v=0LWitExOAH0>)
 3. Toma nota de los conceptos o términos que consideres relevantes con base en el objetivo general de aprendizaje de este tema.
 4. Responde lo que a continuación se te solicita. Al finalizar tu actividad, coloca tu archivo de respuesta en la sección de actividades del aula virtual de Física I.
- a) **Con base en tu análisis del video que observaste: ¿cuál es el objetivo de este tema?**
 - b) **¿Cuál es el concepto central que se aborda?**
 - c) **Expresa una descripción general del concepto central del video**
 - d) **Describe un ejemplo donde se aplique el concepto central.**
 - e) **¿Cuáles son algunas características que se aprecian en el concepto central?**
 - f) **¿Cuáles son algunas de las manifestaciones (formas) de este concepto?**
 - g) **Completa el esquema de los usos que, a través de la historia, se ha dado al concepto principal de estudio.**

Periodo de tiempo aproximado en el que surge	Recurso aprovechado	Manifestación del concepto (manifestación de la energía)	Aplicación (invento) desarrollado	uso o beneficio aportado
8000 a.C.	Cuerpo humano Animales			
4500 a.C.	Viento			
1700 d.C.	Vapor de agua			
1882	Movimiento de electrones			
1900	Átomo			
1910	Petróleo			