

EDUCACIÓN PARA LA SOSTENIBILIDAD DESDE LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS ENERGÉTICOS EN LA FÍSICA PARA INGENIEROS

EDUCATION FOR SUSTAINABILITY FROM THE RESOLUTION OF ENERGY PROBLEMS IN PHYSICS FOR ENGINEERS

EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE A PARTIR DA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE ENERGIA NA FÍSICA PARA ENGENHEIROS

Francisco O. Machín-Armas*, Eduardo Fernández-Santiesteban **
Elser Ferras-Santiesteban*** Eduardo Fernández-Calzadilla****

Machín-Armas, F. O.; Fernández-Santiesteban, E.; Ferrás-Santiesteban, E.; Fernández-Calzadilla, E. Educación para la sostenibilidad en ingeniería desde la resolución de problemas físico-energéticos. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 20(1), pp. 199-215. <https://doi.org/10.14483/23464712.21559>

Resumen

La cuestión del uso sostenible de la energía ha ganado especial interés en la actualidad, motivado por la crisis ambiental, climática, energética y global del desarrollo. Por otra parte, en las últimas décadas ha alcanzado relevancia la resolución de problemas en la enseñanza de las ciencias, especialmente en el aprendizaje de la Física para los estudiantes de Ingenierías. Este artículo aborda el problema científico relativo a cómo favorecer la educación de la actitud ambiental y la valoración de la sostenibilidad en los estudiantes de estas carreras. La respuesta se busca en la problematización del proceso de enseñanza aprendizaje, desde la resolución de problemas físico-energéticos relativos al desarrollo sostenible. Mediante el método lógico-histórico y la revisión bibliográfica se hace un estudio epistemológico de la evolución de la concepción de sostenibilidad, de la educación en ciencia de la sostenibilidad y de las actitudes como formación psicológica de la personalidad, que determinan las predisposiciones de los estudiantes a la cuestión energético-ambiental. Se aborda además la resolución de problemas físicos a partir de los trabajos de Polya de 1945 para las Matemáticas. Luego, desde la Didáctica de la Física se fundamenta el tratamiento del concepto energía y la resolución de problemas de ese contenido, orientados hacia la educación para la sostenibilidad del desarrollo. Basado en lo anterior, se sustenta la propuesta de un método resolutivo en el cual se incluye la valoración de la sostenibilidad de las posibles soluciones. La viabilidad

Recibido: 20 de noviembre de 2023, aceptado: 21 de febrero de 2025

* Doctor en Ciencias y Profesor Titular de Física. Universidad de Holguín. Cuba. Email: fmachin@uho.edu.cu; <https://orcid.org/0000-0001-5596-1704>

** Máster en Educ. Superior y Prof. Auxiliar de Física. Universidad de Holguín. Cuba. Email: efs@uho.edu.cu; <https://orcid.org/0000-0002-8313-210X>

*** Ingeniero y Profesor Auxiliar de Física. Universidad de Holguín. Cuba. Email: elserfs@uho.edu.cu; <https://orcid.org/0000-0002-4129-4661>

**** Licenciado y Profesor Auxiliar de Física, Universidad de Holguín. Cuba. Email: guayin@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0002-7871-7100>

y eficacia del método propuesto se valida experimentalmente mediante herramientas estadísticas y, finalmente, se ofrecen conclusiones.

Palabras-clave: Ciencia de la sostenibilidad, Enseñanza de la Física, Resolución de problemas, Actitud ambiental, valoración de la sostenibilidad.

Abstract

The issue of sustainable energy use has gained special interest nowadays, motivated by the environmental, climatic, energetic and global development crisis. On the other hand, in the last decades the resolution of problems in the teaching of sciences has become relevant, especially in the learning of Physics for engineering students. This article addresses the scientific problem related to how to promote the education of environmental attitude and the assessment of sustainability in students of these careers. The answer is sought in the problematization of the teaching learning process, from the resolution of physical problems about energy, related to sustainable development. Through the logical-historical method and the bibliographical review, an epistemological study is made of the evolution of the notion of sustainability and the education in science of sustainability and of attitudes as psychological formation of the personality, which determine the predispositions of students to the energy-environmental issue. The resolution of physical problems is also addressed, based on Polya's 1945 work for Mathematics. Then, the energy concept and the resolution of problems of that content, oriented towards education for the sustainability of development are discussed from the didactics of Physics. Based on the above, a resolution method is proposed, which includes an assessment of the sustainability of possible solutions. The viability and effectiveness of the proposed method is validated experimentally using statistical tools and, finally, conclusions are offered.

Keywords: sustainability science, physics teaching, problem solving, environmental attitude, assessment of sustainability.

Resumo

A questão do uso sustentável da energia ganhou hoje especial interesse, motivada pela crise ambiental, climática, energética e de desenvolvimento global. Por outro lado, nas últimas décadas a resolução de problemas tornou-se relevante no ensino de ciências, especialmente na aprendizagem de Física para estudantes de engenharia. Este artigo aborda o problema científico relacionado com a forma de promover a educação da atitude ambiental e a avaliação da sustentabilidade nos estudantes destas carreiras. A resposta busca-se na problematização do processo de ensino-aprendizagem, a partir da resolução de problemas físico-energéticos, relacionados ao desenvolvimento sustentável. Através do método lógico-histórico e da revisão bibliográfica, é feito um estudo epistemológico da evolução da concepção de sustentabilidade e educação na ciência da sustentabilidade e das atitudes como formação psicológica da personalidade, que determinam as predisposições dos alunos para a questão energético-ambiental. A resolução de problemas físicos também é abordada com base no trabalho de Polya de 1945 para Matemática. Então, a partir da Didática da Física, baseia-se o tratamento do conceito de energia e a resolução de problemas desse conteúdo, orientados para a educação para a sustentabilidade do desenvolvimento. Com base no exposto, baseia-se a proposta de um método de resolução, que inclui a avaliação da sustentabilidade das possíveis soluções. A viabilidade e eficácia do método proposto são validadas

experimentalmente utilizando ferramentas estatísticas e, finalmente, são apresentadas conclusões.

Palabras clave: ciência da sustentabilidade, ensino de física, resolução de problemas, atitude ambiental, avaliação da sustentabilidade.

1. Introducción

La universidad afronta el desafío de educar para la sostenibilidad, orientando sus esfuerzos hacia la formación de un ciudadano “[...] actualizado, creativo, portador no sólo de conocimientos de la especialidad sino de habilidades, actitudes, valores y capacidades para tomar disposiciones y ocupar responsabilidades sociales en función del desarrollo contemporáneo” (Padilla y Figueroa, 2021, p. 48). Ello es respuesta de esta institución al problema socio-ambiental, que en esencia es “[...] una crisis del sistema sociocultural” (García-López, 2016, p. 598) o bien del proyecto civilizatorio occidental y de su racionalidad económica (Barkin et al., 2012). Por lo tanto, se busca una manera de hacer más racional y consciente el proceso de educación para la sostenibilidad, de modo que se integre y atienda el problema ambiental en dicho proceso.

El problema ambiental, visto desde la actuación humana para con el medio ambiente, conduce en el sistema educativo a la ambientalización curricular (Machín et al., 2021). Esto, mediante la ejecución de estrategias de educación ambiental, o bien de educación para el desarrollo sostenible o la sostenibilidad, que para el nivel universitario significa “[...] integrar estos conceptos al sistema de educación superior” (Rodríguez et al., 2017, p. 129). El valor de estas acciones se debe a la aplicación de estrategias basadas en el enfoque ambiental, lo que mejora el desarrollo de actitudes ambientales (Gómez et al., 2022).

En la educación superior, la formación de actitudes frente al problema ambiental se fomenta desde los enfoques de ambientalización y sostenibilización curricular como, por ejemplo, desde la resolución de problemas (Machín y Torres, 2015). Los elementos citados son componentes de la educación ambiental, que ha de ser asumida con sus rasgos epistemológicos, los cuales tienen una influencia decisiva en la enseñanza (Duarte y Valvuela, 2017).

Para la enseñanza de las ciencias básicas en las ingenierías se manifiesta la tendencia de priorizar la resolución de problemas, tanto que con frecuencia se afirma que la finalidad de la enseñanza de las ciencias básicas y aplicadas “[...] se centra en desarrollar y sistematizar conocimientos útiles para resolver diferentes tipos de problemas (Larkin y Reif, 1979, citados por Mariño et al., 2021, p. 578). Entonces la capacidad de resolver problemas teóricos y prácticos se constituye en una competencia central para el estudiante de ingeniería (Rosales-Torres et al., 2022) y se ha de observar que el proceso de resolución de problemas, por un lado, y el de su formulación y planteamiento, por otro, conforman una unidad dialéctica (Cruz-Ramírez et al., 2021).

El problema docente es significativo para el aprendizaje. En la educación matemática, dicha categoría es entendida como “[...] una situación o dificultad prevista o espontánea, con algunos elementos desconocidos para el sujeto, pero capaz de provocar acciones sucesivas para darle solución” (Mazarío, 2009, p. 13), o también “[...] una situación que se le propone al estudiante para adquirir un conocimiento matemático nuevo, el cual requiere solución, pero que el método para hallarla no es tan obvio ni inmediato, por lo que hace pensar al estudiante” (Espinoza, 2017, p. 67). Una visión más actualizada, puede ser el exponerlo como:

“[...] toda situación en la cual, dadas determinadas condiciones, se plantean ciertas exigencias que crean en el sujeto el deseo y la necesidad de realizar una intensa actividad cognoscitiva, poniendo

en acción sus recursos matemáticos y personológicos para poder satisfacerlas, aun cuando no se conoce vía alguna para ello” (Álvarez-Pérez y Cruz-Ramírez, 2023).

Las definiciones anteriores son adaptables a la enseñanza de la Física, para la que se consideran, en función de la resolución de problemas, elementos instructivos como conocimientos y habilidades, al igual que elementos educativos como valores, actitudes y convicciones. De esta manera, se alimenta la enseñanza de la Física, disciplina que, desde su objeto, aborda los campos de acción de las diferentes ingenierías y ofrece los fundamentos para la resolución de los posibles problemas técnicos o teóricos en la vida profesional de los ingenieros.

La inclusión del enfoque de sostenibilidad en la universidad, en particular para la enseñanza de ciencias en las ingenierías, encuentra limitaciones en cuanto a que es todavía una concepción empírica carente de sistematización teórica, que no la manejan con facilidad profesores y estudiantes dada su complejidad como concepto. Además, las barreras conceptuales, pedagógicas, actitudinales e institucionales se constituyen en un freno (Freund et al., 2019; López, 2022; Machín et al., 2017; Miñano-Rubio et al., 2019). Encontrar vías que favorezcan esta inclusión es de interés para los que investigan en esta línea.

Luego, resulta relevante el problema científico relativo a ¿Cómo favorecer la formación del ingeniero para la sostenibilidad?, que encuentra respuestas en la enseñanza de la Física dadas sus potencialidades educativas para la resolución de los problemas energético-ambientales. Este es el asunto tratado en el artículo presente, al estudiar cómo se favorece la formación de la actitud ambiental y la valoración de la sostenibilidad en los estudiantes de ingeniería, desde la resolución de problemas físico-energéticos.

1.1 Concepción de educación para la sostenibilidad en ingeniería. Resolución de problemas físicos energéticos

La introducción de la concepción de sostenibilidad se ha potenciado en la educación superior, hecho reflejado en el incremento anual de la cantidad de artículos de investigación publicados sobre el tema, a partir de ahí se habla de la educación para la sostenibilidad (Aznar et al., 2017; Concepción et al., 2012; Feinstein y Kirchgasser, 2015; López, 2022; Machín et al., 2012a), apreciada como un tipo especial de labor educativa en la que se destaca la formación de actitudes y valores, en este caso, para la sostenibilidad.

En la educación para la sostenibilidad es de interés la búsqueda de resultados en el campo afectivo del aprendizaje (O’byrne et al., 2015), que estén expresados en nuevos valores y una nueva visión del concepto social de desarrollo (Jaula-Botet et al., 2018). También, al aprender a resolver problemas desde la concepción de sostenibilidad, se toma conciencia acerca de la práctica de la ingeniería sostenible (Ozis et al., 2022). Así, la educación universitaria se erige como el instrumento idóneo para favorecer la sostenibilidad y, sobre todo, el abordar su carácter interdisciplinario en el tratamiento de manifestaciones de esta (Persson-Fischer y Liu, 2021).

Los inicios del siglo XXI son testigos de que la educación para la sostenibilidad, a partir de un estado incipiente, se ha configurado en una concepción de rápida y alta maduración, lo que le ha permitido alcanzar interdisciplinariedad en un alto grado. La literatura científica la refiere en los términos de educación en ciencia de la sostenibilidad, la cual retoma la herencia de la educación ambiental y la incluye como componente, aunque es de aclarar que esta última no ha perdido vigencia y conserva su identidad (Machín et al., 2017). La educación para la sostenibilidad responde a los problemas socio-ambientales en la dinámica del cambio global, con soporte en un proceso formativo e investigativo acorde

a las necesidades del entorno y la realidad de las instituciones (Cecato de Lima et al., 2019; Machín-Armas, 2022; Sepúlveda, 2015).

Las universidades o facultades técnicas tienen la responsabilidad de formar a sus egresados para que tengan un buen desempeño profesional respecto a la sostenibilidad, lo que implica ir más allá de la tradicional formación tecnológica de los recursos humanos (Díaz-Duque, 2015). Ello se vincula con la idea de que medioambiente y sostenibilidad son conceptos interrelacionados incluso para los estudiantes (Da Riva y Obara, 2018). Igualmente ha de tenerse presente lo que piensan y hacen los profesores en las escuelas y facultades de ingeniería (Aginako et al., 2022).

La resolución de problemas físico-energéticos desarrolla la inteligencia lógico-matemática, que H. Gardner identifica con la capacidad para emplear números y razonar adecuadamente, ser sensible a los esquemas y relaciones lógicas como afirmaciones, proposiciones y funciones, poder modelar la realidad y hacer otras abstracciones relacionadas; o bien, se puede concebir como la capacidad de razonar de forma lógica y solucionar problemas ligados a números, tiempo, espacio y causalidad (Méndez, 2014). Este tipo de inteligencia se aprecia mayoritariamente en matemáticos, físicos, contadores, ingenieros, analistas de sistemas y científicos, lo que deja ver cuál suele ser su campo de aplicación. Entenderla como una capacidad facilita explicar su desarrollo desde el aprendizaje (Deulofeu-Piquet et al., 2018).

Para quien enseña Física, sea escolar o universitaria, el resolver problemas representa una oportunidad del estudiante de manifestar su talento para la Física (González, 2009) y para la ciencia en general, ya que “[...] la inteligencia podría tener cierta correlación con el éxito en la resolución de problemas” (Méndez, 2014, p. 32) que, en este caso, se busca para aquellos físico-energéticos. Progresar en esta dirección requiere de la integración, en el individuo, del conocimiento físico intuitivo, el dominio de métodos resolutivos y el conocimiento preciso de ecuaciones matemáticas (Buteler y Coleoni, 2012). Se aprecia que existe una relación entre las estrategias metacognitivas y la resolución de problemas (Pérez y González, 2020), lo que es importante ya que fortalecer esta última necesita de concientización y de control del aprendizaje. Bajo estas consideraciones, cabe mirar el problema docente de Física, que puede ser definido como:

“[...] la tarea en la que el método para emplear y el resultado son desconocidos por el estudiante a priori, pero el cual, con la ayuda de la lógica deductiva e inductiva, sus conocimientos matemáticos o la actividad experimental y sobre la base de las leyes puede encontrar la respuesta resolutiva” (Sifredo, 2014, citado por Ordóñez-Garrido y Valdivia-Sardiñas, 2015, p. 83).

En los problemas físicos se trabaja con magnitudes interrelacionadas, las cuales conducen a expresiones cuantitativas, aunque las Matemáticas no deben apreciarse sólo como herramientas, sino como una ciencia de la que el físico toma formas de pensamiento, su lógica intrínseca y estrategias (Díaz-Lozada y Ortega-Breto, 2022).

Por otra parte, diversas investigaciones abordan el estudio de la formación y consolidación de actitudes ambientales desde la resolución de problemas (Machín & Torres, 2015; Torres, Yangali & Rojas, 2018). O bien, del enfoque problematizador de las disciplinas de ingeniería, en el que se insisten en los problemas, la viabilidad económica de los procesos y/o su sostenibilidad, desde el punto de vista medioambiental y de seguridad (Sancho et al., 2020).

Vinculada a la resolución de problemas está la formación de conceptos, otro componente del aprendizaje. Por ejemplo, se tiene presente que el concepto de energía tiene una complejidad intrínseca venida desde la escuela, en la que para su enseñanza a los alumnos se hace hincapié en la cotidianidad que tiene este en sus vidas (Prieto, 2017). Sin embargo, aunque el concepto es muy empleado, este va más allá de la Física y alcanza lo filosófico, por lo que no es directamente perceptivo (Martínez y Rivadulla, 2015), obvio o intuitivo. Requiere de una elaboración particular.

Un concepto adquiere sentido en el contexto en que se encuentra y desde los sujetos que lo piensan (Escudero et al., 2016). Allí la resolución de problemas, por su orientación a abordar contextos definidos, facilita el paso del conocimiento abstracto a la aplicación concreta. La construcción del conocimiento conceptual y procedimental mediante esta vía es una elaboración autónoma en la que se aprende a desarrollar el pensamiento (García y Rentería, 2013). Para el éxito del aprendizaje de la energética, la asimilación conceptual debe responder al intento de resolver problemas sobre la energía y su conservación (Doménech et al., 2013). En ese sentido, revela importancia para el caso de las facultades de ingeniería el que los estudiantes aborden la resolución de problemas sobre diseño y caracterización de sistemas energéticos sostenibles (Locatelli, 2022).

La resolución de problemas exige y conlleva a la evolución de diferentes aspectos. Por una parte, favorece el desarrollo de la independencia y la creatividad en el estudiante, elementos necesarios para la acción innovadora (Summo et al., 2016). También refuerza la autorregulación del aprendizaje “entendida como la representación de las propias capacidades y formas de aprender” (Deulofeu-Piquet y Villalonga-Pons, 2018). En relación con las situaciones problemáticas nuevas, llegan a requerirse nuevos significados, para lo que resulta provechoso aprender a utilizar información de modo instrumental-conceptual (Escudero et al., 2014), con lo que se pueden elaborar esos nuevos elementos semánticos que se integran en la capacidad resolutoria. A su vez, la educación científica de hoy, en aras de la sostenibilidad, demanda un enfoque interdisciplinario, transdisciplinario y sistémico complejo (Montuori, 2022).

Se puede considerar la resolución de problemas como “[...] objeto y a la vez contenido de la enseñanza” (Concepción & Rodríguez, 2005, p. 134) y para la enseñanza de la Física Universitaria “[...] es objetivo temático, de asignatura y disciplina” (Pino & Filenko, 2017, p. 83). En la formación del ingeniero, el propio contenido de la Física facilita tanto al método resolutorio como la inclusión de la sostenibilidad. Para las profesiones ingenieriles, la resolución creativa debe acompañarse con el desarrollo de la capacidad o la competencia de poder identificar distintos enfoques a los problemas, con la finalidad de precisar diversas soluciones y seleccionar la más apropiada (Spositto, Lerch & Mavrommatis, 2017).

Los modelos de resolución de problemas reflejados en la literatura parten de los trabajos de Polya para el aprendizaje resolutorio de problemas matemáticos, cuyo esquema publicado en 1958 data de 1945. Estos resultan aplicables al aprendizaje de resolución de problemas físicos (González, 2010), los cuales introducen la combinación de una realidad interpretada por el estudiante y un modelo matemático previo o por elaborar, ya que existe una relación directa entre el problema bien formalizado matemáticamente y el problema físico real (Mariño, Hernández y Prada, 2021), lo que supone modelar la situación o hecho.

En la resolución de problemas se asumen las cuatro etapas propuestas por Polya: comprensión de este, elaboración de propuesta de resolución, ejecución de la propuesta y comprobación. Para la resolución de problemas físicos desde el pensamiento matemático Díaz-Lozada & Ortega-Breto (2022), las identifican como: 1. comprender el problema; 2. Hacer el plan de solución; 3. Ejecutar el plan de solución y 4. Analizar la solución. Ambas formulaciones son tan parecidas, que la segunda parece una versión particularizada de la primera

1.2 La educación de actitudes para la sostenibilidad

En la educación para la sostenibilidad son trascendentes las actitudes y se acepta que “[...] una instrucción efectiva tiene el potencial de mejorar las actitudes de los estudiantes hacia la ciencia y aumentar la motivación para aprender ciencias” (Koballa y Glynn, 2007 citado por Arandia et al., 2016, p. 560). De acuerdo con las teorías de la acción razonada de Fishbein y Ajzen y de la acción planeada de Ajzen (Durán et al., 2007), el comportamiento está relacionado directamente con la actitud y aunque estos modelos teóricos absolutizan las variables racionales por sobre las emocionales (Durán et al., 2009), hay diversas experiencias que demuestran la primacía de las variables de Ajzen actitud y control conductual

en cuestiones ambientales y en este sentido una actitud responsable condiciona una conducta pro ambiental (Olivera et al., 2021).

Ives y Kendal (2014) en su modelo de gestión ecológica sobre la base de los valores sociales, establecen una cadena de linealidad mediante niveles cognitivos jerárquicos, que tiene su base en los valores, sobre los que están las creencias, que a su vez determinan las actitudes y la aceptación de normas, las cuales anteceden a las intenciones de comportamiento y estas a la actuación. Resulta discutible esta relación determinística de causalidad predecible, la cual es más compleja ya que intervienen las emociones, no obstante, el establecimiento en el ser humano de una conducta pro ambiental o pro sostenibilidad, solo es posible sobre la base de los valores, creencias y actitudes al respecto.

También han sido propuestos modelos cíclico-espinales, en los que desde el punto de partida de los valores se establecen las creencias, ideas, percepciones y experiencias de naturaleza ambiental, que determinan la actitud, la cual antecede a las expresiones verbales y no verbales y a la conducta, que a su vez retroalimenta y refuerza los valores para luego comenzar otro ciclo de la espiral (Cantú-Martínez, 2020). Estos modelos, como los citados, adolecen de la sobrevaloración de las variables racionales, pero la transición a la sostenibilidad demanda un cambio en el comportamiento humano, por lo que lo más indicado es trabajar sobre la actitud pro ambiental.

La actitud pro ambiental puede ser vista como manifestación de interés y preocupación de un individuo por el medio ambiente (Cantú-Martínez, 2020) y es de provecho en la educación para la sostenibilidad el desarrollar esta. Interesa aquí la actitud ambiental hacia la valoración de la sostenibilidad, la cual es definida como:

“[...] La disposición motivacional en el accionar con la energía y el ambiente, para responder de modo favorable o desfavorable a la preservación energético-ambiental desde las dimensiones ecológica, social y económica, de un modo compatible con la satisfacción de las necesidades presentes y futuras” (Machín & Torres, 2015, p. 84).

Esta actitud ambiental de valoración de la sostenibilidad se manifiesta en las intenciones de comportamiento, expresiones emocionales y sistema de valoraciones (González-Rey, 1987; Fernández, 2003; Casa et al., 2019). Se acepta la idea acerca de que la evaluación de la sostenibilidad debe tener una función reguladora en los procesos de enseñanza y aprendizaje (Aznar et al., 2017), relativos a la energía y su uso sostenible, como parte integrante de la resolución de problemas. Además, en el proceso de formación y desarrollo de esta, se observa que los aspectos afectivo-motivacionales y valores precisan de un ejercicio sistemático de evaluación por el estudiante, sobre lo que la sociedad considera positivo, en este caso, la sostenibilidad energética.

Como valor se toma la significación socialmente positiva de los objetos y fenómenos y, por valoración, el reflejo subjetivo en la conciencia humana de lo primero, en una interrelación dialéctica (Fabelo, 2011). Una vía del individuo para manifestar sus actitudes y valores es la expresión verbal, la cual facilita su evaluación, en este caso, hacia la sostenibilidad energética; lo hace al enunciar estas formaciones psicológicas en términos de sus valoraciones, emociones y comportamientos (González-Rey, 1987). Los valores inciden en la toma de decisiones que definen comportamientos. Respecto a los valores, estos se manifiestan en dos clases desde los tiempos de Dewey: morales y factuales (de Oliveira-Martins et al., 2020).

Se puede favorecer la formación de actitudes y valores con el empleo del método explosivo valorativo, el cual consiste en el desarrollo de situaciones educativas que sorprendan, impacten y preocupen al estudiante, de manera que se cree en él un estado psíquico de desafío cognitivo y desestabilización actitudinal (Domínguez et al., 2020), lo que facilita para él la integración de los

contenidos, en este caso energético-ambientales, y la posterior estabilización de las actitudes y consolidación de los valores.

La practicidad de los estudios de actitudes radica en el uso de experiencias concretas a las que remitirse, tal como con la actitud ambiental responsable (Olivera et al., 2021), medida para estudiantes universitarios junto con la conducta. Lo más usual para investigaciones como estas son los métodos de escalamiento y en particular el de Likert (Casa et al., 2019), que se aplica mediante la evaluación del grado de identificación o rechazo del sujeto a cada una de las proposiciones, afirmaciones o ítems que le son presentados en los Test, los cuales se tabulan y llevan a escalogramas (Bisquerra y Pérez-Escoda, 2015).

Las variables contextuales, valores, actitudes y creencias tienen una influencia determinante en la preocupación y conducta ambiental (Fuentealba y Soto, 2016). La idea de partida es que la actitud está caracterizada por tres atributos: objeto, direccionalidad e intensidad (Rodríguez, 2004). Luego, una vez que la actitud se identifica como objeto de estudio, se necesita reconocer con precisión el grado de aceptación o rechazo en las personas en cuestión.

2. Metodología

Mediante el método lógico-histórico y el estudio evolutivo epistemológico, se analizó la educación para la sostenibilidad en las últimas décadas, así como las tendencias en la formación de ingenieros y en la enseñanza de la Física en cuanto al entrenamiento para la resolución de problemas. Entonces, desde la generalización de experiencias y sobre la base de la integración de conocimientos, se valida en la práctica educativa un procedimiento de resolución de problemas físico-energéticos que incluye la valoración de la sostenibilidad. Luego, mediante el método inductivo se hace una propuesta orientada hacia la formación de la actitud de valoración de la sostenibilidad y el respectivo valor que subyace en la conciencia del estudiante.

3. Resultados y discusión. Problemas físico-energéticos y valoración de sostenibilidad

Basado en la visión y experiencia profesional de los autores, como profesores universitarios de Física, así como en los fundamentos epistemológicos consultados, un problema físico docente es una tarea propuesta al estudiante, la cual puede ser la modelación teórica de una situación física concreta, en la que falta una magnitud (incógnita), o bien, la ejecución de un diseño experimental para hacer una medición indirecta, o la comprobación de una relación cuantitativa de la naturaleza, con respuestas o el método particular a seguir desconocidos para el estudiante. A la solución de la tarea se puede llegar a partir del conocimiento de un método o procedimiento general, del pensamiento lógico-matemático, del conocimiento físico y de la intuición. En dependencia de la complejidad del problema planteado, las respuestas pueden darse de forma inmediata o mediata.

Los problemas físicos para la enseñanza se clasifican de acuerdo con los procesos cognitivos que se verifican y el dominio de conocimientos. Estos pueden ser de naturaleza mecánica, con pérdidas de energía mediante disipación de calor por fricción, vistos como de potencia disipativa. O bien, pueden ser de tipo termodinámico, con transformaciones energéticas expresadas por las 1ra. y 2da. leyes de la Termodinámica (con enfoque entrópico). También están los problemas electromagnéticos sobre la interacción de corrientes eléctricas con campos eléctricos y magnéticos, analizados desde el punto de vista energético, al igual que los relativos a la energía generada mediante la inducción electromagnética, con soluciones tecnológicas para el aumento de potencia y eficiencia en las conversiones electromecánicas y la observancia del comportamiento de sistemas disipativos. Asimismo, se consideran los problemas sobre el empleo de la radiación y el uso de paneles fotovoltaicos para la generación de energía, la absorción de esta por calentadores y del contenido energético de la luz del Sol o, también,

sobre la energética nuclear, relativos a la fisión de núcleos pesados con énfasis en los productos finales generados.

El problema físico-energético orientado hacia la sostenibilidad debe ser modelado de acuerdo con los siguientes parámetros: 1) definición de la función disipativa del sistema; 2) establecimiento de la función que describe la reposición energética; 3) posibilidad de determinar la perdurabilidad sistémica o la función temporal que relaciona el tiempo de vida con la potencia disipativa; y 4) posibilidad de relacionar la perdurabilidad del sistema energético disipativo con las condiciones ambientales (factores disipativos), así como con los cambios. Estos se formulan y plantean direccionados hacia la búsqueda de soluciones sostenibles, por lo que, en las incógnitas, han de estar presentes la perdurabilidad del sistema y la dependencia de esta con los factores ambientales, o bien, el análisis de la adaptabilidad y resiliencia sistémica. Por ejemplo, en la Física I para ingenieros son propuestos problemas como los que siguen:

No.1. Se trata de un caso sencillo en que hay un cuerpo que con velocidad inicial V_0 se desplaza por una superficie horizontal de coeficiente de fricción cinética μ_k . Se quiere hallar la distancia que recorre el cuerpo hasta detenerse, el tiempo que puede estar moviéndose, la rapidez de disipación de energía (potencia disipativa) y los factores ambientales que hacen menos perdurable o sostenible la transformación energética.

No. 2. Se cuenta con un sistema rotatorio con fricción en el que un cuerpo, por ejemplo, un disco macizo con eje, rota y pasa por su centro de masa, perpendicular al plano de rotación y asentado en cojinetes. Desde el conocimiento de la ley de disminución de la velocidad, la masa y las dimensiones del objeto, se ha de calcular la potencia disipativa de las fuerzas de fricción, la perdurabilidad del sistema y la disipación energética no recuperable que se traduce en calor degradado y aumento de entropía.

No. 3. Hay un sistema oscilatorio al que está ligado un pistón en movimiento dentro un cilindro lleno de fluido viscoso, el cual experimenta una fuerza de resistencia $f = -bv$, o sea, proporcional a la velocidad. Para este sistema se solicita calcular: a) rapidez de disipación energética; b) elongación y frecuencia angular; c) perdurabilidad del sistema. Afectaciones posibles a la sostenibilidad del sistema.

Se empleó un procedimiento resolutivo elaborado desde los propuestos para estudiantes por Concepción y Rodríguez (2005), Machín et al. (2012b) y Machín y Torres (2015) que consta de las etapas siguientes: 1. lectura, interpretación y análisis del problema; 2. generación de estrategias de solución; 3. desarrollo de la estrategia seleccionada y ofrecimiento de resultados; 4. valoración de las consecuencias de la aplicación de la estrategia a la luz de los indicadores de eficiencia energética y de sostenibilidad; 5. evaluación de logros y dificultades durante la ejecución. Las primeras tres etapas y la quinta están presentes en los modelos teóricos de resolución de problemas de Mazarío, (2009) y de Nardín y Yordi, (2009), pero en la cuarta, a diferencia de las propuestas citadas, se introduce la evaluación de los principios e indicadores que dan sostenibilidad a la solución.

Para validar la eficacia del procedimiento en cuanto a la formación de la actitud ambiental de valoración de la sostenibilidad, se utilizó un test de escalamiento tipo Likert (Anexo I) con escala ordinal 1-5, debido a su sencillez para identificar las categorías evaluativas y ya que es el de uso más común (Bisquerra y Pérez-Escoda, 2015; González y Pazmiño, 2015). Hecha la propuesta de ítems, se evaluó la consistencia interna del test mediante el método de alfa de Cronbach (Fig.1), para lo cual se tomó su aplicación al inicio del experimento con el criterio de que un valor $0,70 \leq \alpha \leq 0,90$ indica un buen rango para tal prueba, que para un valor menor de 0,70 hay poca consistencia interna para los ítems y que para un valor de α mayor de 0,90 esta es dudosa.

La expresión para realizar el cálculo fue $\alpha = (K/K - 1)(1 - \Sigma V_i/V_t)$, en la que K es el número de ítems interrelacionados a los que se le miden la consistencia interna. La sumatoria ΣV_i es la suma de todas las

varianzas S^2 de cada ítem y $V_t = K^2 S^2$ es la varianza total. Para examinar la consistencia interna del test y de los ítems, estos se agruparon (Ver Fig. 1) por cada uno de los componentes de la actitud (cognitiva, afectiva y conductual). Por esta vía se desecharon los ítems 7 y 11, los cuales parecieron ambiguos a los encuestados (Anexo I).

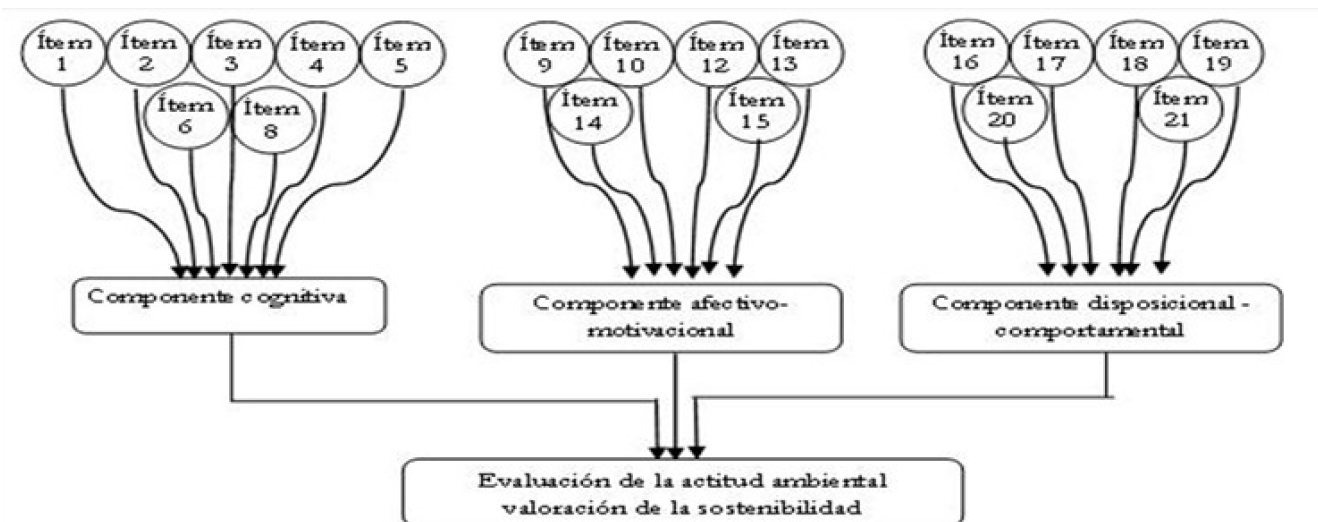


Figura 1: Ítems aceptados por tener la necesaria consistencia interna y cumplir el alfa de Cronbach con los valores establecidos $0,70 \leq \alpha \leq 0,90$.

3.1. Muestra

Se aplicó el test al inicio del experimento en la asignatura Física I para Ingeniería Mecánica, primer año, segundo semestre, curso escolar 2019 – 2020. Luego se repitió a mediados y en el final de exposición de esta, en los grupos experimental y testigo, ambos de 30 estudiantes. Los resultados de los 19 ítems para cada uno de los alumnos, aplicado tres veces, permitió precisar en tres momentos (inicio, mediados y final) el estado de formación de la actitud ambiental de valoración de la sostenibilidad.

Esta actitud ambiental se midió para cada estudiante de la muestra y se ofreció un valor medio, en la que x_i es la evaluación obtenida para cada ítem y n el número de ítems (19). Luego, tomado como valor individual X_i para cada estudiante, este se utilizó para determinar un valor medio para cada uno de los dos grupos, en la que N es el número de estudiantes (30) de las muestras. Se obtuvo además las respectivas desviaciones estándar, varianzas e intervalos de confianza para una distribución normal con nivel de confianza de 95%, curtosis y coeficiente de asimetría. Todo el procesamiento fue realizado con el programa Excel de Microsoft 2010.

La actitud, vista como predisposición favorable o desfavorable hacia un objeto, en este caso de la valoración de la sostenibilidad, se midió en las categorías Muy Favorable (MF), Favorable (F), Aceptable (A), Desfavorable (D) y Muy Desfavorable (MD), que corresponden con cada uno de los cinco valores de la escala de Likert 1- 5. Pero como se determinan valores medios para cada alumno y grupo, se establecieron los rangos: MD. 1,00 -1,79; D. 1,80 – 2,59; A. 2,60 – 3,39; F. 3,40 – 4,19 y MF. 4,20 – 5,00.

Los resultados de evaluación en cuanto a la formación de la actitud ambiental de la valoración de la sostenibilidad para los grupos testigo y experimental en los momentos inicio (I), mediados II y final (III), se ilustran en las Tablas 1 y 2. En ellas se destaca el valor medio para escalas de hasta 5 puntos y los parámetros de dispersión, desviación estándar, varianza e intervalo de confianza para una distribución normal con nivel de confianza 95 %, curtosis y coeficiente de asimetría.

Tabla 1: Resultados de la medición de la actitud valoración de la sostenibilidad. Grupo testigo.

Momentos	Valor medio	Desv. Estándar	Varianza	Int. de confianza	Curtosis	Coef. de Asimetría
Test I	2,82	0,36	0,13	2,68 – 2,94	– 0,25	0,41
Test II	3,26	0,37	0,14	3,13 – 3,39	– 0,43	0,88
Test III	3,67	0,42	0,18	3,52 – 3,82	– 0,72	0,51

Inicialmente (Test I), los resultados de la prueba son casi iguales entre ambos grupos al obtenerse valores evaluativos medios de 2,81 para el grupo testigo y 2,83 para el experimental (Tablas 1 y 2), con desviaciones estándares respectivas de $\pm 0,36$ y $\pm 0,42$ que se enmarcan en la categoría de Aceptable (A) en la parte más baja del correspondiente rango. En el segundo momento de aplicación del test (Test II), los resultados comienzan a diferenciarse a favor del grupo experimental (Tablas 1 y 2), el cual obtiene una evaluación media de 3,59 con una desviación estándar de $\pm 0,52$ que lo ubican en la categoría evaluativa de Favorable (F), mientras que el grupo testigo alcanza una evaluación media de 3,26 con desviación estándar de $\pm 0,37$, lo que lo clasifica como Aceptable (A) en el rango superior.

Tabla 2: Resultados de la medición de la actitud ambiental valoración de la sostenibilidad. Grupo experimental.

Momentos	Valor Medio	Desv. Estándar	Varianza	Int. de confianza	Curtosis Coef	Coef. de Asimetría
Test I	2,83	0,42	0,18	2,68 – 2,98	– 0,42	0,30
Test II	3,59	0,52	0,27	3,40 – 3,78	– 0,87	– 0,02
Test III	4,09	0,57	0,32	3,89 – 4,29	– 1,03	– 0,07

Al finalizar la asignatura (Test III), el grupo experimental alcanza la evaluación de 4,09 (parte superior del rango que le corresponde a la categoría de favorable) con desviación estándar de $\pm 0,57$, mientras el grupo testigo queda en la categoría evaluativa de favorable en la parte inferior del rango, con el valor de 3,67 y desviación estándar de $\pm 0,42$ (Ver Tablas I y II). Estas también muestran desde una comparación, la evolución de los resultados obtenidos en cuanto a valores medios en la evaluación de la actitud ambiental hacia la valoración de la sostenibilidad en la que se denota una acentuación de su crecimiento en el grupo experimental. Como tendencia, se manifiesta que el ejercicio sistemático de valoración de la sostenibilidad favorece el desarrollo de la actitud ambiental hacia este objeto. Por lo tanto, puede decirse que, el conocimiento y el entrenamiento sistemático evaluación de la sostenibilidad, favorece el desarrollo de esta actitud ambiental.

Se expresa en la Fig. 2 la evolución de los resultados de la medición de la actitud ambiental de valoración de la sostenibilidad, mediante una representación gráfica de barras comparativas. Se aprecia allí que el grupo experimental (rojo), que cuenta con el conocimiento y recibe un entrenamiento sistemático de evaluación de la sostenibilidad de las soluciones a los problemas físico-energéticos, avanza más rápido en la formación de la citada actitud ambiental.



Figura 2. evolución de la actitud ambiental valoración de la sostenibilidad. **Fuente:** Los autores.

Se piensa que esto se debe a que, mientras el grupo testigo (azul) básicamente se queda en el trabajo sobre el componente cognitivo-actitudinal, el experimental, además del conocimiento adquirido en clase, es entrenado para propiciar en sus estudiantes el desarrollo de los componentes afectivos motivacionales, así como los dispositionales comportamentales.

Conclusiones

Fueron precisados en el estudio epistémico, los fundamentos científicos de carácter didáctico y psicológico de la actitud ambiental valoración de la sostenibilidad en el estudiante de ingeniería, para su asimilación mediante el entrenamiento sistemático desde la resolución de problemas físico-energéticos. Además, se esclarecieron las limitaciones teóricas existentes en la educación de actitudes ambientales hacia la evaluación de la sostenibilidad y la necesidad de desarrollar nuevas herramientas didáctico metodológicas con tal finalidad.

La investigación deja establecido que, el entrenamiento sistemático en la valoración de la sostenibilidad para la resolución de problemas físico-energéticos potencia la formación y desarrollo de predisposiciones favorables hacia la evaluación de esta para sistemas energéticos. Ello se constituye en un objeto de actitud, que es potencialmente desarrollable mediante el aprendizaje, si el estudiante es entrenado en la búsqueda de las soluciones más sostenibles.

También, se concluye que al modificar las estrategias de las cuatro etapas para la resolución de problemas e incluir un quinto paso para los físico-energéticos, la evaluación de la sostenibilidad de las posibles soluciones, se favorece la formación de la actitud ambiental valoración de la sostenibilidad.

Referencias bibliográficas

- Aginako, Z.; Artano, K.; Garmendía, M.; Guraya, T.; Martínez-Blanco, P & Bergoña Peña-Lang, M. (2022). "What do teachers think about sustainability at engineering degrees? A new instrument to know it". IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), Tunis, Tunisia, 1678-1682. <https://dx.org/10.1109/EDUCON52537.2022.9766382>
- Álvarez-Pérez, M & Cruz-Ramírez, M. (2023, en imprenta). La estructuración del proceso de enseñanza aprendizaje de la Matemática sobre la base de problemas. En: Col. Aut., Metodología de la Enseñanza de la Matemática (tomo 2). Pueblo y Educación.

- Arandia, E.; Zuza, K. M. & Guisasola, J. (2016). Actitudes y motivaciones de los estudiantes de ciencias en Bachillerato y Universidad hacia el aprendizaje de la Física. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 13 (3), 558-573. <http://dx.doi.org/10498/18497>
- Aznar, P.; Ull, M. A.; Martínez, M. P. & Piñero, A. (2017). Evaluar para transformar: evaluación de la docencia universitaria bajo el prisma de la sostenibilidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 35 (1), 5-27. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2112>
- Casa, M.; Cusi, L. & Vilca, L. (2019). Percepciones sobre contaminación ambiental y actitudes en estudiantes universitarios. *Rev. Innova Educ.* Vol. 1 Núm. 3, 391-399. <https://doi.org/10.35622/j.rie.2019.03.011>
- Barkin, D.; Fuente, M. E. & Tagle, D. (2012). La significación de una Economía Ecológica radical. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* Vol. 19, 01-14.
- Bisquerra, R. & Pérez-Escoda, N. (2015). ¿Pueden las escalas Likert aumentar en sensibilidad? *REIRE, Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 8 (2), 129-147. <http://dx.doi.org/10.1344/reire2015.8.2828>
- Buteler, I. & Coleoni, E. (2012). El conocimiento físico intuitivo, la resolución de problemas en Física y el lugar de las ecuaciones matemáticas. *Investigações em Ensino de Ciências*, 17 (2), 435-452.
- Cantú-Martínez, P. C. (2020). Actitudes proambientales en jóvenes universitarios. *Ciencia y Educación*, 4(2), 67-74. <https://doi.org/10.22206/cyed.2020.v4i2.pp67-74>
- Ceccato de Lima, L.; Costa-Pissetti, S. L. & de Farias-Vaz, M. A. (2019). Educação Ambiental: processo de ambientalização de universidades catarinenses. *Interfaces Científicas*. Aracaju, V.7, N.3, 197-210: <https://dx.doi.org/10.17564/2316-3828.2019v7n3p197-210>
- Concepción, M. R.; Rodríguez, F. (2005). Rol del profesor y sus estudiantes en el proceso de enseñanza aprendizaje. Ediciones Holguín.
- Concepción, M. R.; Rodríguez, F.; Cleger, S. & Suárez, J. P. (2012). Educación para la sostenibilidad en docencia de ingeniería. *Revista Iberoamericana de Educación*. No. 59/2, pp. 1-16.
- Cruz-Ramírez, M.; Álvarez-Pérez, M. M. & González-Hernández, N. (2021). Enfoque heurístico en el planteo de un problema geométrico. *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa*. Sección 2/ Propuestas para la enseñanza de las Matemáticas. Vol. 34, Nro. 2., 93-104.
- Da Riva, P. B. & Obara, A. T. (2018). Percepção Ambiental de alunos do curso de Engenharia Elétrica: um diálogo sobre a ambientalização curricular. *Vivências*. Vol. 14, N.27: p. 209-222, Outubro
- de Oliveira Martins, T.; Rodrigues-Sales, D. & Reis-Neto, M. T. (2020). A Influência dos Valores e Crenças no Comportamento Humano. *Brazilian Journal of Development*. Curitiba, v. 6, n. 1, p. 2698-2711. <https://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n1-195>
- Deulofeu-Piquet, J. & Villalonga-Pons, J. (2018). Resolución de problemas y regulación del aprendizaje. *Educatio Siglo XXI*, Vol. 36 nº 3. 153-176. <http://dx.doi.org/10.6018/j/349951>
- Díaz-Duque, J. A. (2015). La Dimensión de la Sostenibilidad en la Enseñanza de la Ingeniería en Cuba. *Foro de Educación*, 13 (19), 241-262: <http://dx.doi.org/10.14516/fde.2015.013.019.011>
- Díaz-Lozada, J. A. & Ortega-Breto, J. (2022). La resolución de problemas de Física y el pensamiento matemático en la formación de ingenieros. *Referencia Pedagógica*. Vol. 10, No.2. mayo-agosto, 308-322
- Doménech, J. L.; Limiñana, R. & Menargues, A. (2013). La superficialidad en la enseñanza del concepto de energía: una causa del limitado aprendizaje alcanzado por los estudiantes de bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias* 31 (3), 103-119.
- Domínguez, Z.; Reyes, P. I. & Morales, D. (2020). La educación energética favorecida desde el método explosivo valorativo. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad* Vol. 3 No. 1., enero-junio, 82-91: <https://doi.org/10.46380/rias.v3i1.76>
- Duarte, J. J. & Valbuena, É. O. (2017). Rasgos epistemológicos de la educación ambiental que presentan implicaciones para su enseñanza. *Bio-grafía*, 10 (19), 630-640. <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.extra2017-7159>
- Durán, M.; Alzate M.; López W. & Sabucedo J. M. (2007). Emociones y comportamiento pro-ambiental. *Revista Latinoamericana de Psicología*. 39 (2), 287-296.
- Durán, M.; Alzate, M. & Sabucedo, J. M. (2009). La influencia de la norma personal y la Teoría de la Conducta de la Acción Planificada en la Separación de Residuos. *Medio Ambiente y Comportamiento Humano*, 10 (1 y 2), 27-39.

- Escudero, C.; Jaime, E. A. & González, S. B. (2014). Un estudio sobre ideas variacionales a través de la resolución de problemas. El caso de la intensidad sonora. *Enseñanza de la Física*. 26, No. Extra. Dic., 109-119.
- Escudero, C.; Jaime, E. A. & González, S. B. (2016). Hacia la conciencia cuántica a partir del efecto fotoeléctrico. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 34, (3), 183-200: <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1998>
- Espinoza, J. (2017). La resolución y planteamiento de problemas como estrategia metodológica en clases de matemática. *Atenas*, Vol. 3, No.39, 64-79. <http://atenas.mes.edu.cu/>
- Fabelo, J. R. (2011). Los valores y sus desafíos actuales. Editorial José Martí. La Habana
- Feinstein, N. W. & Kirchgaser, K. L. (2015). Sustainability in Science Education? How the Next Generation Science Standards Approach Sustainability and Why It Matters. *Science Education*, 99 (1), 121-144. <http://dx.doi.org/10.1002/sce.21137>
- Fernández, L. (2003). La personalidad. Algunos presupuestos para su estudio, 7-21. Castellanos, R (Coord.). Psicología. Selección de Textos. Ed. F. Varela.
- Freund, K.; Muñoz, J. & Cevallos, A. (2019). "Los aspectos y principios básicos de la química verde, la ingeniería sostenible, la sostenibilidad y la economía circular. *Carácter*, 7(1), 39-51. <https://doi.org/10.35936/caracter.v7i1.56>
- Fuentealba, M. & Soto, L. (2016). Valoración actitudinal frente a temas ambientales *Revista Luna Azul*, núm. 43, julio-diciembre, 448-467. <http://dx.doi.org/10.17151/luaz.2016.43.19>
- García, J. & Rentería, E. (2013). Resolver problemas: una estrategia para el aprendizaje de la termodinámica. *Revista Científica Guillermo de Ockham*. 11 (2), 117-134
- García-López, J. (2016). El impacto de la publicidad en la crisis socioecológica. *Opción*, Año 32, No. Especial 11, 588-611
- Gómez, J. I.; Romero, Y. J. & Asunción, S. N. (2022). Estrategias basadas en el enfoque ambiental en el desarrollo de actitudes ambientales en estudiantes del nivel secundaria, Virú – 2021. *Pol. Con. (Edición núm. 70)* Vol. 7, No 12, pp. 1164-1180. <https://dx.doi.org/10.23857/pc.v7i8>
- González, F. (2009). Algunas técnicas para desarrollar el talento en los cursos de Física. Primera parte. *Pedagogía Universitaria*, 14 (5), 69-96
- González, F. (2010). Algunas técnicas para desarrollar el talento en los cursos de Física. Segunda parte: Relativas al método. *Pedagogía Universitaria*. 15 (1), 58-76. *Luz*, 22(3), 174-187, julio-septiembre, Edición 96. III Época.
- González, J. & Pazmiño, M. (2015): Cálculo e interpretación del Alfa de Cronbach para el caso de validación de la consistencia interna de un cuestionario, con dos posibles escalas tipo Likert. *Revista Publicando* 2 (1), 62-67
- González-Rey, F. (1987). La categoría actitud en la Psicología. *Revista Cubana de Psicología*, 4 (1), 47-59.
- Ives, C. & Kendal, D. (2014). The role of social values in the management of ecological systems. *Journal of Environmental Management*, 144 (1), 67-72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.05.013>
- Jaula-Botet, C. A.; Márquez-Delgado, L. H.; Ferragut-Reinoso, E. & Casas-Vilardell, M. (2018). La Universidad Contemporánea ante la encrucijada de la Sostenibilidad. *R. bras. Planej. Desenv. Curitiba*, v. 7, n. 5, 714-731, Edição Especial Desenvolvimento Sustentável Brasil/Cuba, out. 2018.. Disponible en: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbpd>
- Locatelli, G. (2022). Teaching sustainable energysystems to engineering students. In *International Journal of Innovation and Sustainable Development*, Vol. 16 (1), 1-21. <https://dx.doi.org/10.1504/IJISD.2022.119233>
- López, B. (2022) How Higher Education Promotes the Integration of Sustainable Development Goals—An Experience in the Postgraduate Curricula. *Sustainability* 2022, 14, 2271. <https://doi.org/10.3390/su14042271>
- Machín-Armas, F. O. (2022). Ciencia de la sostenibilidad: construcción de un paradigma salvacionista (ePub). Editorial Universitaria Cuba. <http://edunivlms.reduniv.edu.cu/items/show/33906>
- Machín, F. O.; Céspedes, S. G.; Riverón, A. N. & Fernández, E. (2017). Sostenibilidad, ingeniería y enseñanza de las ciencias básicas. Marco teórico conceptual. *Revista Iberoamericana de Educación*, vol. 73, enero-abril, 179-202. <http://dx.doi.org/10.35362/rie730298>
- Machín, F. O.; Concepción, M. R.; Rodríguez, F. & Riverón, A. N. (2012a). La sostenibilidad como enfoque para la formación de los ingenieros en el siglo XXI, *Pedagogía Universitaria*, 17 (2), 71-90.
- Machín, F. O.; Concepción, M. R.; Torres, R. M. & Rodríguez, F. (2012b). "La formación de actitudes ambientales hacia la sostenibilidad electroenergética en la carrera de Ingeniería Mecánica". Tesis en opción al título de Doctor en Ciencias Pedagógicas. Universidad de Holguín Oscar Lucero Moya. Cuba

- Machín, F. O.; Hechavarría, J. R.; de Moraes, M. de F.; Madruga, A. G.; Navas, E.; Sarmiento, Y.; Rivera, M. & Fernández, E. (2021). Ambientalização curricular no contexto amazônico do Centro de Estudos Superiores de Tefé. *Brazilian Journal of Development*. Vol. 7. Nro. 5, 49315-49334. <https://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n5-368>
- Machín, F. O. & Torres, R. M. (2015). Enfoque de sostenibilidad para el problema profesional electroenergético en las Carreras de Ingeniería. *Congreso Universidad 4* (3), 79-94
- Mariño, L. F.; Hernández, C. A. & Prada, R. (2021). Explorando relaciones entre la resolución de problemas de Física y Matemática. Un estudio caso. *Revista-Boletín REDIPE 1 0* (1 0): 2 2 - 3 2 – Octubre.
- Mariño, L. F.; Hernández, R. V. & Useche, V. J. (2021). Caracterizando la resolución de problemas de Física desde el Álgebra Lineal y estudiantes de Ingeniería. *Revista Boletín REDIPE 1 0* (1 2): 5 7 7 - 5 8 4 – Diciembre
- Martínez, C. & Rivadulla, J. C. (2015). ¿Cómo progresar en la enseñanza de la energía? Una propuesta para discutir. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, (79), 17-24.
- Mazarío, I. (2009). La resolución de problemas. Un reto para la educación contemporánea. En *Estrategias de aprendizaje en la nueva universidad*, 19 pág. Editorial Universitaria. La Habana. Recuperado de: <http://bives.mes.edu.cu/>.
- Méndez, D. (2014). Influencia de la inteligencia y la metodología de enseñanza en la resolución de problemas de Física. *Perfiles Educativos*, 24 (146), 30-44.
- Miñano-Rubio, R.; Uribe, D., Moreno, A & Yáñez, S. (2019). "Embedding Sustainability Competences into Engineering Education. The Case of Informatics Engineering and Industrial Engineering Degree Programs at Spanish Universities". *Sustainability*, 11, 5832; <http://dx.doi.org/10.3390/su1120583>
- Montuori, A. (2022). Integrative Transdisciplinarity: Explorations and Experiments in Creative Scholarship. *TJES 2022*, Vol. SP-3, pp. 111-128; <https://doi.org/10.22545/2022/00209>
- Nardín, A.; Yordi, I. (2009). Comprobar, como parte de la resolución de problemas matemáticos. *Revista Pedagogía Universitaria*. 14 (5), 45-51
- O'Byrne, D.; Dripps, W. & Nicholas, K. A. (2015). Teaching and learning sustainability: An assessment of the curriculum content and structure of sustainability degree programs in higher education. *Sustain Sci*. (10), 43–59. <http://dx.doi.org/10.1007/s11625-014-0251-y>
- Olivera, E.; Pulido, V. & Yupanqui, D. (2021). Conducta y actitud ambiental responsable en estudiantes universitarios en Lima, Perú. *Revista de Investigación Apuntes Universitarios*: 11(1),123 – 139. <https://doi.org/10.17162/au.v11i1.559>
- Ordóñez-Garrido, C. E. & Valdivia-Sardiñas, M. de los Á. 2015. Resolución de problemas de física empleando conceptos y procedimientos del análisis matemático. *Atenas*, vol. 2, núm. 30, abril-junio, 2015, pp. 78-91. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=478047206006>
- Ozis, F.; Lynn, S.; Parks, I.; Sills, D. L.; Akca M. & Kirby, CH. (2022). Teaching sustainability: does style matter? *International Journal of Sustainability in Higher Education*, Vol. 23 No. 8, 194-210. Emerald Publishing Limited, 1467-6370: <http://dx.doi.org/10.1108/IJSHE-09-2021-0392>
- Padilla, A. & Figueroa, E. (2021). La educación científico-tecnológica. Su aplicación en el proceso de enseñanza - aprendizaje de carreras pedagógicas. *Revista Mapa*, 3 (22), 37-50, 2021. Recuperado de <http://revistamapa.org/index.php/es>
- Pérez, G. & González, L. M. (2020). Una posible definición de metacognición para la enseñanza de las ciencias. *Investigações em Ensino de Ciências – V 25* (1), 384-404. <https://dx.doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n1p384>
- Persson-Fischer, U. & Liu, S. (2021). What Is Interdisciplinarity in the Study of Sustainable Destination Development? *Sustainability*, 13, 3639. <https://doi.org/10.3390/su13073639>
- Pino, M. G. & Filenko, M. (2017). El diseño curricular del curso optativo: la enseñanza de la resolución de los problemas físicos-docentes. *Atenas*, Vol. 3, No. 39, 80 – 94. <http://atenas.mes.edu.cu/>
- Prieto, L. F. (2017). Aproximaciones al concepto de energía: implicaciones para su enseñanza. *Revista Científica. Edición Especial*. Bogotá. Enero de 2017. <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.RC.2017.27.a7>
- Rodríguez, A. (2004). Estudios de las actitudes, 225 – 241. En Casales, J. C. (Coord.). *Psicología Social*. Editorial Félix Varela. La Habana
- Rodríguez, S. L.; Alfonso, M.; Rondón, A. J. & Jardines, S. B. (2017). La sostenibilidad agroecológica en los planes de estudio de la carrera de Agronomía. *Atenas*, Vol. 3, No. 39, 128 - 138. <http://atenas.mes.edu.cu/>

- Rosales-Torres C.; Gijón-Rivera, C.; Garay-Rondero, C.L.; Castillo-Paz, Á. & Domínguez-Ramírez, G. (2022). Design, Experimentation and Statistical Validation of a Methodology to Solve Complex Engineering Problems in Higher Education. *Sustainability*, 14, 2240. <https://doi.org/10.3390/su14042240>
- Sancho, M.; García-Fayos B.; García-Castelló, E. M.; Martí-Calatayud, M. C.; Rodríguez-López, A. D.; Bes-Pia, A.; Mendoza-Roca, J. A. & Santafé-Moros, A. (2020). Aplicación del Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) en una asignatura del Máster Universitario de Ingeniería Industrial: propuesta metodológica y de evaluación. Congreso In-Red 2020UPV, 16 y 17 de julio de 2020: <http://dx.doi.org/10.4995/INRED2020.1212004>
- Sepúlveda, J. D. (2015). Estado de la investigación sobre educación para el desarrollo sostenible: un análisis cuantitativo de la producción científica en el periodo 2005-2014. *Revista Luna Azul*, 41, 309-322. <http://dx.doi.org/10.17151/luaz.2015.41.17>
- Spositto, O. M.; Lerch, C. J.; Mavrommatis, H. (2017). Desarrollo del pensamiento creativo en los estudiantes de ingeniería: Conceptos básicos. 1er. Congreso Latinoamericano de Ingeniería. Entre Ríos, Argentina, 13-15, sept., 2017
- Summo, V.; Stéphanie, S. & Téllez, B. A. (2016). Creatividad: eje de la educación del siglo XXI. *Revista Iberoamericana de Educación Superior (RIES)*, México, UNAM - IISUE /Universia, 7 (18), 83-98
- Torres, CH. L.; Yangali, H. A. C. & Rojas, Á. E. (2018). Influencia del aprendizaje basado en problemas en la actitud ambiental de los estudiantes de la Institución Educativa “José Carlos Mariátegui”. Pampachacra – Huancavelica. *Horizonte de la Ciencia* 8 (15) jul-dic, pp. 109 - 120. <https://doi.org/10.26490/uncp.horizonteciencia.2018.15.457>

Anexo I: Test de Likert para la medición de actitudes

Expresa al marcar con X cuan favorable o desfavorable es su identificación con cada una de las afirmaciones que se exponen en los 21 ítems que se ofrecen en el Test, que trata sobre la energía y su desarrollo sostenible. Las categorías son: Muy Favorable (MF), Favorable (F), aceptable (A), Desfavorable (D) y Muy Desfavorable (MD).

No	Ítems	MF	F	A	D	MD
01	Todos los sistemas existentes son estructuras disipativas.					
02	Con la disipación energética va la exportación de entropía.					
03	El crecimiento entrópico se asocia al aumento del desorden del sistema ambiental.					
04	El calentamiento global es una manifestación de crecimiento entrópico y desordenamiento de los sistemas naturales.					
05	La evolución natural de los ecosistemas se asocia a las transformaciones energéticas de la radiación solar.					
06	Los sistemas socio ecológicos disipan una energía adicional sobre la solar al medio ambiente.					
07	Tiene el calentamiento global entre sus causas la generación energética mediante la quema de combustibles fósiles.					
08	Las energías renovables no aceleran el crecimiento entrópico ni el calentamiento global.					
09	Me identifico plenamente con el problema energético-ambiental y reconozco su importancia.					
10	Acepto como decisivo el consumo energético para el progreso y bienestar de todos los seres humanos.					
11	Aprecio en la energía, su ahorro y uso sostenible un problema de actualidad y significativa importancia.					
12	Valoro como importantes las dimensiones ambiental, social y económica que tiene el empleo de la energía para los seres humanos.					
13	El derecho al acceso por igual a la energía debe ser un derecho humano fundamental.					
14	Me resultan motivantes y de interés los estudios sobre fuentes renovables de energía.					
15	Aprecio la búsqueda de la eficiencia energética como una labor interesante y motivante para el ingeniero.					
16	Tengo una favorable disposición para contribuir como futuro ingeniero en el logro de la sostenibilidad energética.					

17	Favorecer la economía energética es potenciar la sostenibilidad en el empleo de la energía.					
18	Sustituir el carbón, petróleo y gas por fuentes energéticas renovables siempre que sea posible, debe estar como ideal en la conducta del ingeniero.					
19	Hacer más sostenible a un sistema energético es hacerlo más perdurable en el tiempo.					
20	Potenciar la resiliencia o capacidad de recuperación de un sistema socio ecológico socio productivo ante los cambios, es labor del ingeniero.					
21	Desde la profesión de ingeniería se puede potenciar la utilización de los métodos de producciones más limpias en la generación y consumo energético.					