

RECIBIDO EL 20 DE AGOSTO DE 2021 - ACEPTADO EL 20 DE NOVIEMBRE DE 2021

EVALUACIÓN DEL APRENDIZAJE EN FÍSICA: UN ANÁLISIS DEL CONCEPTO DE FUERZA

ASSESSMENT OF LEARNING IN PHYSICS: AN ANALYSIS OF THE CONCEPT OF FORCE

Raúl Prada Núñez ¹

Cesar Augusto Hernández Suarez ²

Audin Aloiso Gamboa Suarez³

RESUMEN

El objetivo de la experiencia consistió en determinar si la enseñanza del concepto de fuerza desde la perspectiva del aprendizaje activo utilizando diagrama de cuerpo libre permite un cambio conceptual de su aprendizaje. Se aplicó un inventario sobre el concepto de fuerza a un grupo de estudio mediante un diseño pretest-posttest con el propósito de conocer el nivel de conceptualización de los estudiantes de una asignatura de Física. Los resultados del pretest permitieron conocer el nivel de conceptualización que los estudiantes y proporcionaron información para el desarrollo de talleres basados en situaciones físicas reales

¹ Magister en Educación Matemática. Facultad de Educación, Artes y Humanidades. UFPS. E-mail: raulprada@ufps.edu.co, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6145-1786>

² Magister en Educación Matemáticas. Facultad de Educación, Artes y Humanidades. UFPS. E-mail: cesaraugusto@ufps.edu.co, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7974-5560>

³ Doctor en Ciencias de la Educación. Facultad de Educación, Artes y Humanidades. UFPS. E-mail: audingamboa@ufps.edu.co, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9755-6408>

que requerían la elaboración de diagramas de fuerzas. Los resultados del posttest permitieron estimar el aprendizaje de Hake y mostraron avances y dificultades sobre los cambios conceptuales de los estudiantes en el aprendizaje del concepto de fuerza.

PALABRAS CLAVE: Conceptos de Física, evaluación del aprendizaje, Inventario sobre el concepto de fuerza, Force Concept Inventory.

ABSTRACT

The objective of the experiment was to determine if the teaching of the concept of force from the perspective of active learning using free body diagram allows a conceptual change in its learning. An inventory on the concept of force was applied to a study group through a pretest-posttest design with the purpose of knowing the level of conceptualization of the students of a Physics subject. The results of the pretest

allowed to know the level of conceptualization that the students and provided information for the development of workshops based on real physical situations that required the elaboration of force diagrams. The results of the post-test allowed to estimate the learning of Hake and showed advances and difficulties on the conceptual evaluation of the students in the learning of the concept of force.

KEYWORDS: Physics Concepts, Learning Assessment, Force Concept Inventory

INTRODUCCIÓN

En física mecánica, el concepto de fuerza es fundamental en los programas académicos de ciencia e ingeniería (Hernández-Suárez, Prada-Núñez & Ramírez-Leal, 2017), por lo que los estudiantes que provienen de la educación preuniversitaria, necesitan conceptualizarla para aplicar las leyes de Newton en la resolución de situaciones problemáticas concretas. Una de las orientaciones curriculares para la enseñanza de las ciencias naturales en la educación secundaria en Colombia (Ministerio de Educación Nacional, en adelante Mineducación), está relacionada con los fundamentos teóricos y prácticos de la mecánica clásica, a partir del movimiento de los cuerpos y las interacciones de éstos, del concepto de fuerza, trabajo y energía, apoyado en la modelización matemática, para la explicación de situaciones de la naturaleza (Mineducación, 1998; 2004).

Por ello, el aprendizaje de los estudiantes, antes de centrarse en los procedimientos algorítmicos y algebraicos, debe orientarse hacia un dominio conceptual (García-Quintero & Villamizar Suárez, 2017) que les permita comprender las leyes y la explicación de los fenómenos físicos, ya que, al abordar la solución de un problema, se descontextualiza de los argumentos conceptuales de la física. Esto se suma a la dificultad inherente de los conceptos y sus relaciones para ser comprendidos: aceleración

y fuerza, equivalencia entre estado de reposo y movimiento con velocidad, sistemas inerciales y no inerciales, entre otros (Budini et al., 2019).

Una de las dificultades que obstaculizan el aprendizaje de la física mecánica está relacionada con las concepciones erróneas de los estudiantes (Liu & Fang, 2016), que nacen de la experiencia cotidiana que los lleva a interiorizar relaciones incorrectas entre diferentes magnitudes físicas, por ejemplo, utilizar el término fuerza en una variedad de contextos, usando asociaciones vagas y ambigua (Tomara et al., 2017), que son difíciles de modificar en términos estructurales.

La construcción personal de las ideas previas de los estudiantes son esquemas de representación que no modelan concepciones científicas adecuadas, convirtiéndose así en un obstáculo que no favorece el cambio conceptual a pesar de los intentos de su enseñanza (Bello, 2004; Trujillo Castro, Vera Gutiérrez & Saraza Sosa, 2019). Por lo tanto, ayudar a un cambio conceptual requiere actividades de enseñanza que partan de lo que el estudiante sabe, en un contexto social de enseñanza (Vygotsky, 2009; Ausubel et al., 1983), que favorezcan la reconstrucción clara, estable y organizada de conocimientos con los que pueda afrontar y resolver diversas situaciones y, al mismo tiempo adquirir conocimientos que exijan un mayor nivel de abstracción dentro del mismo campo.

Por otro parte, el diagrama de cuerpo libre, también llamado diagrama de fuerzas (Tomara et al., 2017) de un cuerpo o un grupo de cuerpos (o una parte de un cuerpo) que se denomina sistema y se representa aislado de su entorno, es un boceto donde se muestran todas las fuerzas externas que actúan sobre él, permite modelar un cuerpo y sus interacciones con el entorno. El diagrama de cuerpo libre es un paso importante en la resolución de los problemas, puesto que ayuda a visualizar todas las fuerzas que actúan sobre un objeto simple.

La modelización permite resolver problemas simplificando las situaciones a estudiar, por lo que será incompleta e inexacta, pero explicará y predecirá el comportamiento de un objeto o sistema; el modelo será válido si los resultados analíticos se verifican experimentalmente.

Al mismo tiempo, el Inventario sobre el Concepto de Fuerza o FCI por sus siglas en inglés (Force Concept Inventory) evalúa el grado de comprensión de los conceptos en física mecánica (Hestenes & Halloun, 1995; Hestenes et al., 1992). Se utiliza en diseños pretest/postest para determinar la eficacia o factor de Hake, (Hake, 1998) de algunas estrategias didácticas empleadas durante el aprendizaje conceptual de los estudiantes. Hay estudios sobre la aplicación del FCI en estudiantes universitarios de Estados Unidos, España y algunos países de América Latina, pero no se registran estudios en estudiantes de educación básica, que es donde los estudiantes están comenzando a construir sus ideas de los conceptos físicos que se utilizaran posteriormente en la educación media y universitaria (Budini et al., 2019; Artamónova et al., 2017).

Finalmente, la intervención desarrollada en este estudio que tiene como eje de análisis la representación coherente de las interacciones entre sistemas a través de los llamados diagramas de fuerzas o diagramas de cuerpo libre (Ocariz, 2000), se basa en la perspectiva del aprendizaje activo que se fundamenta en la teoría psicológica la teoría sociocultural (Vygotsky, 2009) y del desarrollo cognitivo (Piaget, 1981). De acuerdo con lo anterior, desde el marco de la implementación de esta estrategia en la asignatura de Física en una institución educativa de educación básica y media, la hipótesis planteada consiste en determinar si la enseñanza de las leyes de Newton desde la perspectiva del aprendizaje activo a través del uso de los diagramas de fuerza permitió una evolución conceptual de su

aprendizaje. Para ello se aplicó el FCI y el factor de Hake para conocer el nivel conceptual de los estudiantes en relación con los conceptos de la mecánica física.

METODOLOGÍA

La investigación se realizó bajo el paradigma cuantitativo, con muestreo intencional, porque los grupos objetivo se forman a través de mecanismos de entrada fuera del control de los profesores. El diseño fue cuasiexperimental, en el que se aplicó el FCI como pretest, para explorar las preconcepciones de mecánica newtoniana que tenían los estudiantes, seguido de una intervención docente con las siguientes actividades: diseño, implementación y aplicación de talleres basados en situaciones físicas reales y donde la elaboración de diagramas de fuerzas es el eje central (Hestenes et al., 1992; Piage, 1981). Al final de la intervención se aplicó nuevamente el FCI como postest permitiendo estimar la llamada ganancia de aprendizaje de Hake (1998).

POBLACIÓN Y MUESTRA

La implementación de la propuesta se desarrolló en 40 de los estudiantes de 10º grado divididos en dos grupos pertenecientes a una institución educativa ubicada en Norte de Santander, Colombia. Las edades de los estudiantes están entre los 14 y los 16 años. Cabe destacar que este es el primer curso de introducción a la física en su formación académica. Todos los estudiantes que participaron en la realización de la experiencia fueron informados sobre la naturaleza y propósitos de la misma.

INSTRUMENTO

El FCI es una prueba diseñada por Hestenes, Wells y Swackhammer que mide la comprensión de los conceptos básicos de la mecánica newtoniana, la eficacia didáctica del proceso de enseñanza-aprendizaje de la misma y permite detectar las preconcepciones que tiene el

evaluado sobre este tema (Hestenes & Halloun, 1995; Hestenes, 1992). El FCI está compuesto por 30 preguntas. La ventaja del FCI es que permite determinar el nivel de conocimientos de mecánica, evaluar la eficacia didáctica del proceso de enseñanza-aprendizaje, el grado de comprensión, detectar y clasificar los errores conceptuales en que incurren los estudiantes y sus preconceptos y su evolución en el tiempo (Henderson, 2002; Huffman & Heller, 1995). Se utilizó el FCI en su versión española (Budini et al., 2019) con preguntas con 5 opciones de respuesta, agrupadas en las siguientes categorías (Hestenes, 1992): cinemática; primera ley de Newton (inercia); segunda ley de Newton (fuerza y aceleración); tercera ley de Newton (acción y reacción); principio de superposición; tipos de fuerza. Se utilizó este instrumento porque mide (en cierto sentido) la capacidad del pensamiento newtoniano (Morris et al., 2012). Una puntuación alta en el FCI no

indica un conocimiento unificado del concepto de fuerza, sin embargo, una puntuación baja indica una falta de conocimiento de los conceptos newtonianos básicos.

PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

A continuación, se describe el procedimiento de recogida, que juega un papel importante en la validez y calidad de los datos.

Aplicación del FCI como pretest. Para analizar el estado inicial (preconceptos y diagnóstico) que tenían los estudiantes de física mecánica, se aplicó el FCI como pretest (sólo se tomaron 20 ítems: 1-4, 7, 13-18, 21-29). Las preguntas seleccionadas estaban dirigidas a determinar el nivel conceptual de los estudiantes propuestos en su plan de área relacionados con los conceptos de fuerza y leyes de Newton. Para realizar el análisis, se utilizó la clasificación de las preguntas del FCI por dimensión (ver Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de las preguntas del FCI por dimensión.

Dimensión	Agrupación de preguntas
Cinemática	1-3, 5-15
Primera ley de Newton	5, 7, 9, 10, 12-16 y 20
Segunda ley de Newton	1-3, 5-8, 11-15, 17 y 18
Tercera ley de Newton	4, 8-10 y 19
Clases de fuerza	1-3, 5-7, 11 y 20

IMPLEMENTACIÓN DE LAS INTERVENCIONES DIDÁCTICAS.

Las clases eran de tipo teórico-experimental donde se utilizaban planos inclinados, bloques de madera, poleas de laboratorio, dinamómetro, cronómetros, cuerdas de pita y mesa de fuerza. Estas actividades se realizaron en 20 horas de clase.

Para la intervención didáctica relacionada con la Cinemática (5 ejercicios) se analizó si los

estudiantes tienen claros los conceptos de posición, velocidad y aceleración; así como si reconocen estas magnitudes físicas como vectoriales.

En cuanto a las Leyes de Newton (10 ejercicios), se identificó si los estudiantes entienden el planteamiento de la ley de la inercia (el movimiento no implica presencia de fuerza externa). También se analizó las ideas que tienen sobre la causa del movimiento y sus implicaciones en la velocidad y la aceleración

(ley fundamental de la dinámica). Por último, se investigó la comprensión de la interacción entre dos cuerpos (principio de acción y reacción), ya que es común considerar un principio de dominio en el que el más fuerte ejerce la mayor fuerza; en la que el más fuerte puede ser el más grande, el de mayor masa o el más activo. Este conflicto lleva a interpretaciones erróneas de esta ley (Mora, & Herrera, 2013). Para el análisis, cada ejercicio consta de la construcción de diagramas de fuerzas; descomposición de las fuerzas en componentes rectangulares, si es necesario; presentación de las ecuaciones de las leyes de Newton, y solución de las ecuaciones para encontrar la variable física solicitada en cada enunciado, considerando los datos de cada ejercicio.

Para los tipos de fuerza (20 ejercicios), se exploró la concepción que tienen del concepto de fuerza; si reconocen la fuerza de contacto (rozamiento y normal), las fuerzas presentes por la acción de las cuerdas y las fuerzas a distancia como la de gravedad. Además, para la construcción de los diagramas de fuerza, el estudiante tuvo en cuenta:

- Descripción de la situación física.
- Representación simplificada de la situación física.
- Representación matricial de las interacciones entre sistemas.
- Representación con línea punteada cerrada del sistema o sistemas físicos de interés.
- Lista detallada de las fuerzas que actúan sobre el sistema o sistemas físicos de interés y asignación de una notación.
- Representación de las fuerzas que actúan sobre el sistema o sistemas de interés.
- Representación de las fuerzas simplificando el modelo a una partícula (si es posible).

Una vez descrita la situación del ejercicio a resolver y su representación simplificada, hay que elegir el marco de referencia y seleccionar un sistema de coordenadas que esté anclado a este marco; A continuación, se realiza la descomposición de fuerzas (componentes rectangulares) y se procede a aplicar las leyes de Newton del movimiento en cada dirección. Para finalmente, resolver las ecuaciones y verificar los resultados.

Aplicación del FCI como postest. Después de realizadas las intervenciones didácticas, se aplicó de nuevo el FCI y se estimó la denominada ganancia de aprendizaje mediante el factor de Hake de cada uno de las cinco dimensiones objeto de estudio.

El factor de Hake o ganancia relativa del aprendizaje conceptual indica la ganancia real media del aprendizaje conceptual estandarizado (Hake, 1998). Se utiliza para determinar el nivel de logros de aprendizaje conceptual en la aplicación de una estrategia didáctica, es decir, con los resultados de una evaluación (pretest y postest) se determina el impacto en la asimilación de conocimientos de tipo conceptual. En el caso de esta propuesta, el factor permite establecer los cambios logrados en las diferentes dimensiones del FCI al implementar una intervención didáctica, ya que los niveles de logro bajo, medio y alto en el factor están relacionados con el nivel de dominio conceptual de las fases del FCI. Para el cálculo del factor de Hake (g) se utiliza la siguiente ecuación:

$$g = \frac{FCI_{post}(\%) - FCI_{pre}(\%)}{100 - FCI_{pre}(\%)} \quad (1)$$

Además, el valor de g puede tomar valores entre 0 y 1, donde 0 representa la ausencia de aprendizaje, mientras que 1 corresponde al máximo aprendizaje posible. Para ello se establecen tres categorías para la ganancia promedio normalizada, que indican el grado de efectividad de la intervención didáctica

implementada en el aula de clase, alto ($0.7 < g \leq 1$), medio ($0.3 < g \leq 0.7$), y bajo ($0 \leq g \leq 0.3$) (Stewart, & Stewart, 2010).

RESULTADOS Y DISCUSION

RESULTADOS DEL PRETEST Y POSTEST (FCI) Y ANÁLISIS DE LA GANANCIA DE APRENDIZAJE (FACTOR DE HAKE)

La presentación y el análisis de los resultados

se realizaron considerando las preguntas del FCI. Los resultados se presentan indicando el porcentaje promedio de acierto de las preguntas del FCI en sus aplicaciones del pretest y postest y el cálculo del factor de Hake para visualizar numéricamente el nivel de aprendizaje alcanzado (ver Tabla 2).

Tabla 2. Porcentaje promedio de acierto en el pretest y postest y ganancia del índice de Hake del grupo objeto de estudio.

Dimensión	%Pretest	%Postest	Factor de Hake	Nivel
Primera ley de Newton	27.25	58.00	0.42	Medio
Segunda ley de Newton	31.92	27.85	0.38	Medio
Tercera ley de Newton	56.00	83.50	0.63	Medio
Clases de fuerza	32.15	58.71	0.39	Medio
Cinemática	39.45	68.21	0.47	Medio

De acuerdo con la Tabla 2, según el factor de Hake, la ganancia de aprendizaje, para cada una de las dimensiones, se ubica en el nivel medio, índice muy similar obtenido en estudios educativos previos de Estados Unidos y de España (Covián & Celemín, 2008).

También se puede destacar que: La tercera ley de Newton tuvo el mayor nivel medio de ganancia (0.63), lo que se le puede atribuir al estudio de las situaciones físicas mediante el uso de diagrama de fuerza. Lo anterior se debe a la comprensión de conceptos físicos y resolución de situaciones problemáticas más que a la mecanización de las fórmulas matemáticas y a la construcción adecuada de los diagramas de cuerpo libre (Addad et al., 2017).

Además, en el caso de la segunda ley de Newton, fue la de más bajo nivel de ganancia (0.38). Esto se debe a que algunos estudiantes no lograron relacionar la aceleración con la fuerza resultante; además, presentaron deficiencias en el manejo de las ecuaciones que en la mayoría de los casos

eran simultáneas. Aquí es necesario decir que el tiempo dedicado a la enseñanza de esta ley no fue suficiente. Algunos estudios muestran que el concepto con mayor dificultad es la segunda ley de Newton (Budini et al., 2019; Artamónova et al., 2014).

Finalmente, entre la aplicación del pretest y el postest, se observa un progreso de los estudiantes en la comprensión y aplicación correcta de las leyes de movimiento de Newton. Las evidencias anteriores muestran que la intervención didáctica sobre el uso de diagramas de fuerza, favoreció levemente el aprendizaje significativo de las leyes de Newton, en comparación con experiencias anteriores desarrolladas en contextos similares (Prada et al., 2021a).

ANÁLISIS DEL DESARROLLO DE LOS TALLERES SOBRE DIAGRAMAS DE FUERZA Y LA APLICACIÓN DE LAS LEYES DE NEWTON

El manejo adecuadamente de la intervención didáctica centrado en el aprendizaje activo y el conocimiento adecuado de conceptos físicos enseñados por el docente permitió a los estudiantes evidenciar la comprensión de los fenómenos estudiados mediante la correcta realización de los diagramas de fuerzas de las diferentes situaciones físicas (Santana-Fajardo, 2018). En este orden de ideas, se destacan los siguientes avances en el aprendizaje del concepto de fuerza.

- Construcción de la matriz de interacción, que contribuyó a diferenciar fácilmente los pares de acción-reacción.
- Comprensión de la fuerza de rozamiento por deslizamiento.
- Interpretación correcta del coeficiente de fricción.
- Representan adecuadamente las fuerzas externas que actúan sobre el sistema físico.
- Mejoras en los procedimientos matemáticos aplicados a la resolución de problemas físicos y a la interpretación de situaciones físicas relacionadas con el entorno.
- La retroalimentación facilitó a los estudiantes la construcción de diagramas de fuerzas.
- Resolución de ejercicios más complejos.

Entre las dificultades presentadas por los estudiantes, destacan las siguientes:

- No se identifica el sistema de referencia o las coordenadas, y no se encuentra la variable física solicitada.

- Deficiencias en el manejo de las ecuaciones.
- Confusión de los conceptos peso y masa, así como en la nomenclatura de las fuerzas.
- Dificultad en la comprensión de situaciones físicas como la subestimación del rozamiento, las poleas sin peso y las cuerdas sin masa que pueden ayudar a simplificar un problema.
- Descomposición incorrecta de los vectores en coordenadas rectangulares
- Dificultad en sistemas físicos de tres bloques para sumar masas y unirlos en una sola.
- Dificultad para aplicar las leyes de Newton según sus casos.
- Dificultades para formalizar los diagramas de fuerzas.
- Aunque los sistemas de referencia y coordenadas, la matriz y las ecuaciones derivadas de los esquemas de fuerzas están bien planteados, tienen dificultades matemáticas para resolver el problema.

Algunas de estas dificultades evidenciadas por los estudiantes coinciden con las encontradas en otros estudios sobre conceptos físicos (Prada et al., 2021b; Elizondo, 2013); y en especial a conceptos ligados a las leyes de Newton (Moreno et al., 2017; Mora & Herrera, 2013; Roeder, 1998; Hart & Cottle, 1993; Hestenes & Wells, 1992).

De acuerdo con los resultados obtenidos de la implementación didáctica, se evidencia que los estudiantes han obtenido ganancias con respecto al aprendizaje conceptual, en los diferentes componentes del FCI (Hernández et al., 2021). El factor de Hake no busca evaluar al estudiante en sí mismo, sino el proceso de enseñanza-aprendizaje y las estrategias

didácticas del profesor. En relación con lo anterior, es posible establecer que el uso de diagramas de fuerza como parte fundamental en la enseñanza-aprendizaje de las leyes de Newton, permitió a los estudiantes avanzar hacia un nivel conceptual alto, al mejorar su capacidad de razonamiento, desarrollar la comprensión de los conceptos y resolver problemas más complejos (Leonard, 2002). Esto, junto con una mejor actitud de los estudiantes hacia el estudio de la física como lo evidencian los estudios de Hernández-Suarez et al. (2021).

CONCLUSIONES

Tras el análisis del pretest/posttest del FCI, se demuestra que la intervención didáctica que utilizó los diagramas de fuerza como elemento fundamental en la enseñanza-aprendizaje del concepto de fuerza permitió el uso sistemático de las matrices de interacción de las fuerzas de los sistemas físicos, la experimentación de las leyes de Newton y su aplicación a situaciones problemáticas logrando un aprendizaje significativo en los estudiantes objeto de estudio. Sin embargo, aún queda mucho trabajo por hacer en este campo ya que, aunque existen numerosas propuestas de experiencias didácticas de este tipo, su eficacia debe ser evaluada con muestras más amplias de estudiantes y de diferentes niveles educativos, de allí la importancia de aplicar el FCI como una prueba para determinar el nivel de conocimiento conceptual de los estudiantes sobre la física mecánica y para evaluar la eficacia de diferentes estrategias de enseñanza sobre el componente conceptual del aprendizaje.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Addad, R., Llonch, E., Rosolio, A., & Cassan, R. (2017). Las fuerzas como expresión de las interacciones entre cuerpos: una propuesta de trabajo en el aula. *Revista de Enseñanza de la Física*, 29, 373-380.
- Artamonova, I., Mosquera, J. C., & Artamanov, J. D. M. (2017). Aplicación de force concept inventory en América Latina para la evaluación de la comprensión de los conceptos básicos de mecánica a nivel universitario. *Revista Educación En Ingeniería*, 12(23), 56-63.
- Ausubel, D., Novak, J. D., & Hanesian. H. (1983). *Psicología Educativa: Un Punto de Vista Cognoscitivo*. Trillas.
- Bello, S. (2004). Ideas previas y cambio conceptual. *Educación Química*, 15(3), 210-2017.
- Budini, N., Marino, L., Giuliano, M., Carreri, R., Cámara, C., & Giorgi, S. (2019). Uso del inventario sobre el concepto de fuerza como herramienta para monitorear el cursado de Física I. *Revista de Enseñanza de la Física*, 31, 107-114.
- Covián, E., & Celemín, M. (2008). Diez años de evaluación de la enseñanza-aprendizaje de la mecánica de Newton en escuelas de ingeniería españolas. Rendimiento académico y presencia de preconceptos. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 26(1), 23-42.
- Elizondo, M. (2013). Dificultades en el proceso enseñanza aprendizaje de la Física. *Presencia Universitaria*, 3(5), 70-77.
- García-Quintero, C., & Villamizar Suárez, G. (2017). Análisis fenomenológico de la conciencia del docente a partir de sus prácticas evaluativas. *Revista Perspectivas*, 2(2), 49-59. <https://doi.org/10.22463/25909215.1313>

- Hake, R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics course. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74.
- Hart, G. E., & Cottle, P. D. (1993). Academic backgrounds and achievement in college physics. *The Physics Teacher*, 31(8), 470-475.
- Henderson, C. (2002). Common Concerns About the Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 40(9), 542-547.
- Hernández, C. A., Prada, R., Gamboa, A. A. (2021). Gains in active learning of physics: a measurement applying the test of understanding graphs of kinematics. *Journal of Physics: Conference Series*, 2073(012003), 1-6.
- Hernández-Suarez, C. A., Gamboa-Suárez, A. A., & Suarez, O. J. (2021, November). Attitudes towards physics. A study with high school students from the Colombian context. *Journal of Physics: Conference Series*, 2118(012019), 1-16.
- Hernández-Suárez, C. A., Prada-Núñez, R., & Ramírez-Leal, P. (2017). Obstáculos epistemológicos sobre los conceptos de límite y continuidad en cursos de cálculo diferencial en programas de ingeniería. *Revista Perspectivas*, 2(2), 73-83. <https://doi.org/10.22463/25909215.1316>
- Hestenes, D., & Halloun, I. (1995). Interpreting the force concept inventory: A response to March 1995 critique by Huffman and Heller. *The Physics Teacher*, 33, 502.
- Hestenes, D., & Wells, M. (1992). A mechanics baseline test. *The Physics Teacher*, 30(3), 159,
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141.
- Huffman, D., & Heller, P. (1995). What does the Force Concept Inventory Actually Measure? *The Physics Teacher*, 33, 138-143.
- Leonard, W. J., Gerace, W. J., & Dufresne, R. J. (2002). Resolución de problemas basada en el análisis hacer del análisis y del razonamiento el foco de la enseñanza de la física. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 387-400.
- Liu, G., & Fang, N. (2016). Student misconceptions about force and acceleration in physics and engineering mechanics education. *International Journal of Engineering Education*, 32(1), 19-29.
- Ministerio de Educación Nacional. (1998). *Lineamientos Curriculares de Ciencias Naturales y Educación Ambiental*. Mineducación.
- Ministerio de Educación Nacional. (2004). *Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales. Formar en Ciencias: ¡el Desafío!* Mineducación.
- Mora, C., & Herrera, D. (2013). Una revisión sobre ideas previas del concepto de fuerza. *Latin-American Journal of Physics Education*, 3(1), 72-86.
- Moreno, J., & Martínez, N. (2017). Enseñanza de las leyes de Newton en grado décimo bajo la Metodología de Aprendizaje Activo. *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemática*, 13(26). 82-101.

- Morris, G., Harshman, N., Branum-Martín, L., Mazur, E., & Mzoughi, T. (2012). An item response curves analysis of the Force Concept Inventory. *American Journal of Physics*, 80(9), 825-831.
- Ocariz, J. (2000). *Diagramas de cuerpo libre ¿Puede dibujarlos cualquiera?* Universidad Nacional Autónoma de México.
- Piaget, J. (1981). *Psicología y Pedagogía*. Barcelona.
- Prada, R., Hernández, C. A., & Gamboa, A. A. (2021a). Teaching physics through the implementation of a didactic strategy for the integration of knowledge in secondary school students. *Journal of Physics: Conference Series*, 1981(012008), 1-5.
- Prada, R. P., Hernández, C. A., & Gamboa, A. (2021b). Active learning and knowledge in physics: a reading from classroom work. *Journal of Physics: Conference Series*, 1981(012007), 1-6.
- Roeder, J. (1998). Physics appreciation versus physics knowledge. *The Physics Teacher*, 36(6), 379.
- Santana-Fajardo, J. L. (2018). Ganancia en el aprendizaje del concepto de fuerza y cambio en las actitudes hacia la física en estudiantes de la Escuela Preparatoria de Tonalá. *CienciaUAT*, 13(1), 65-80.
- Stewart, J., & Stewart, G. (2010). Correcting the normalized gain for guessing. *The Physics Teacher*, 48(3), 194-196.
- Tomara, M., Tselfes, V., & Gouscos, D. (2017). Instructional strategies to promote conceptual change about force and motion: A review of the literature. *Themes in Science and Technology Education*, 10(1), 1-16.
- Trujillo Castro, J. A., Vera Gutiérrez, C. L., & Saraza Sosa, D. F. (2019). Ingeniería didáctica como recurso metodológico para el aprendizaje de los conceptos de límite y continuidad. *Revista Perspectivas*, 4(1), 39-47. <https://doi.org/10.22463/25909215.1758>
- Vygotsky, L. (2009). *El Desarrollo de los Procesos Psicológicos Superiores*. Crítica.