



RECIBIDO EL 30 DE JUNIO DE 2021 - ACEPTADO EL 2 DE OCTUBRE DE 2021

Concepciones alternativas sobre el momento angular y el trabajo guiado basado en simulación computacional como herramienta para su superación.

Alternative conceptions about angular momentum and guided work based on computational simulation as a tool to overcome it.

Luis Humberto Martínez Palmeth^{1*}

María Angelica González Carmona²

Andrés Felipe Lázaro Alvarado³

Universidad Surcolombiana- ITSA

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo es recopilar las concepciones alternativas que presentan los

¹ Ingeniero Mecánico, Doctor en Diseño Mecánico, Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Neiva, Colombia. luis.martinez@usco.edu.co. <https://orcid.org/0000-0002-4336-1215>. * Autor de correspondencia:

² Ingeniera Mecánica, Doctora en Mecánica de Fluidos, Institución Universitaria ITSA, Facultad de Ingenierías. Soledad, Colombia, magonzalezcc@itsa.edu.co. <http://orcid.org/0000-0003-1902-5323>.

³ Ingeniero Mecánico, Doctor en Eficiencia Energética, Institución Universitaria ITSA, Facultad de Ingenierías. Soledad, Colombia. E-mail: afazaro@itsa.edu.co, <http://orcid.org/0000-0001-7957-4725>.

estudiantes de cuarto año de Ingeniería sobre el momento angular. Para esto, se diseña un instrumento diagnóstico, en forma de prueba de opción múltiple, que permite extraer las concepciones alternativas preexistente en los estudiantes. Luego se diseña e implementa una herramienta pedagógica, para apoyar el proceso de aprendizaje, con el objetivo de disminuir las concepciones alternativas. La herramienta desarrollada tiene como novedad la implementación del concepto de trabajo guiado más el uso de herramientas computacionales y video. Los resultados mostraron que las principales concepciones alternativas



encontradas fueron: el momento angular solo existe si existe un movimiento rotacional y el momento angular depende de la energía cinética. Al aplicar la intervención, el porcentaje de estudiantes que tenían concepciones alternativas disminuyó en torno a un 11% y se elevó la capacidad de cuantificar el fenómeno de momento angular por parte de los estudiantes en un 30%.

PALABRAS CLAVE: Concepciones Alternativas, Trabajo Guiado, Simulaciones Computacionales, Momento Angular.

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho é coletar as concepções alternativas apresentadas por alunos do quarto ano de Engenharia sobre momento angular. Para isso, é projetado um instrumento de diagnóstico, na forma de um teste de múltipla escolha, que permite extrair as concepções alternativas pré-existentes nos alunos. Em seguida, uma ferramenta pedagógica é projetada e implementada para apoiar o processo de aprendizagem, com o objetivo de reduzir concepções alternativas. A ferramenta desenvolvida tem como novidade a implementação do conceito de trabalho guiado mais o uso de ferramentas computacionais e vídeo. Os resultados mostraram que as principais concepções alternativas encontradas foram: o momento angular só existe se houver movimento rotacional e o momento angular depende da energia cinética. Ao aplicar a intervenção, o percentual de alunos que possuíam concepções alternativas diminuiu em torno de 11% e a capacidade de quantificar o fenômeno do momento angular pelos alunos aumentou em 30%.

PALAVRAS-CHAVE: Concepções Alternativas, Trabalho Orientado, Simulações Computacionais, Momento Angular.

ABSTRACT:

The main objective of this work is to collect the alternative conceptions presented by fourth-year engineering students about angular momentum. For this, a diagnostic instrument is designed, in the form of a multiple-choice test, which allows extracting the pre-existing alternative conceptions in the students. Then, a pedagogical tool is designed and implemented to support the learning process, with the aim of reducing alternative conceptions. The new tool developed is the implementation of the concept of guided work plus the use of computer and video tools. The results showed that the main alternative conceptions found were angular momentum only exists if there is rotational motion and angular momentum depends on kinetic energy. When applying the intervention, the percentage of students who had alternative conceptions decreased by around 11% and the students' ability to quantify the phenomenon of angular momentum increased by 30%.

KEYWORDS: Alternative Conceptions, Guided Work, Computational Simulations, Angular Momentum.

1. INTRODUCCIÓN

En los planes de formación de Programas como Ingeniería Mecánica, Ingeniería Mecatrónica y otras Ingenierías, se hace presente el estudio de la mecánica de sólidos rígidos. Siendo esta, una de las áreas troncales y transversales de su formación técnica, contando con una cantidad elevada de créditos materializados en asignaturas como Física Mecánica, Estática, Dinámica, Mecanismos, Robótica, Sistemas Dinámicos. Por otro lado, en la literatura se encuentra estudios donde se reportan problemas asociados a la enseñanza y aprendizaje de dicha área, algunos de estos son los realizados por: Rafika & Syuhendri, (2021), Artamonova et al. (2017), Parra & Figueroa (2017), Escudero et al (2017), Martínez (2017) y López et al (2008).



Los problemas asociados al aprendizaje de esta área pueden tener origen en aspectos como:

- Existencia de conocimientos previos en conflicto con los conocimientos que se pretenden transmitir, denominado preconcepciones.
- Durante los procesos de enseñanza aprendizaje los individuos toman concepciones erróneas de los conceptos que se están aprendiendo. Este fenómeno se conoce como concepciones alternativas.
- Diferencias entre las capacidades cognitivas necesarias para el aprendizaje de la Mecánica y la capacidad cognitiva real de los estudiantes.
- Insuficiencias en el conocimiento cualitativo y cuantitativo. Para operar con fórmulas de un modo significativo, el estudiante necesita poseer una sólida base de conocimiento cualitativo.

Puntualizando en estudios realizados con estudiantes de cursos como dinámica de sólidos, mecánica analítica, mecánica racional y mecánica clásica tenemos los trabajos de: Bozzi et al. (2020), Fratiwi et al. (2020), Mwansa et al. (2018), Martínez (2018), Sarioglan & Kucukozer (2017), Singh & Rosengran (2001), Jiménez (2015), Peñalba & Del Rio (2005). Se encuentra que, alrededor de 30 a 50 % de los estudiantes que han cursado dichos cursos presentan deficiencias conceptuales relacionados al momento producido por una fuerza, momento angular, conservación de momento angular, etc.

De estos trabajos podemos obtener algunas concepciones alternativas que poseen los estudiantes:

- No hay fuerzas actuando sobre un objeto que se encuentra en reposo.
- La fuerza total sobre un objeto en movimiento lleva la dirección de su movimiento.
- La magnitud de la fuerza aplicada a un objeto es proporcional a su velocidad.

- Los objetos se mueven porque contienen una fuerza o los objetos se mueven con fuerza como una propiedad intrínseca en ellos.

- Estudiantes que consideran que la dificultad para hacer girar un cuerpo en reposo es igual para cualquier eje. Es una asociación errónea de igualdad entre inercia rotacional y masa.

- Asociación errónea del momento angular con la velocidad angular, en forma de proporcionalidad.

- Asociación errónea de relación de proporcionalidad entre el momento angular y el momento de inercia.

- Asociar la conservación de momento angular con la conservación de energía rotacional.

En numerosos trabajos encontrados en la literatura, se brindan algunos lineamientos para solventar estos problemas, especialmente plantean herramientas didácticas para abordar la parte conceptual de las diferentes asignaturas. Algunos de estos trabajos son los realizados por: Aristizábal et al (2020), Cajas Narváez (2020), Marshman et al (2020), Chen et al (2019), Bernal & Peña (2019), Arenas et al (2019), Luthfiani et al (2018), Maries et al (2017), González & Sánchez (2017), Cruz et al (2010).

Algunas de las soluciones didácticas que abordan son las siguiente:

- Clases teóricas incorporando evidencia experimental.
- Evaluación continua y periódica.
- Implementación del concepto de tutorías. El tutor como elemento clave.
- Aprendizaje activo a través de tutoriales en clases prácticas
- Aprendizaje basado en problemas y la resolución de problemas como herramienta para aprender conceptos.



- El uso del análisis computacional en la resolución de problemas.

- Aprendizaje basado en proyectos

Todo lo anterior, nos brinda una base de partida para diseñar, elaborar y aplicar una herramienta didáctica, que permita mejorar los niveles de retención, asimilación y acomodación de los conceptos básicos de la Dinámica Rotacional de Sólidos, enfatizando en el concepto de Momento Cinético/Angular. Dicha herramienta se fundamenta en conceptos como trabajo guiado, tutoriales y simulaciones numéricas y computacionales. El objetivo principal es que, al usar dicha herramienta, disminuya el porcentaje de estudiantes con concepciones alternativas sobre el concepto de momento cinético y su conservación.

2. METODOLOGIA

A continuación, se expone todo el proceso metodológico seguido para diseñar una herramienta pedagógica, así como, una herramienta de evaluación conceptual que permita evaluar si la herramienta pedagógica tuvo algún efecto sobre los estudiantes.

2.1 Diseño metodológico de la investigación

Según lo expuesto por en Hernández Sampieri (2018), esta investigación se acomoda a una de tipo cuantitativa, positivista y es de tipo empírico analítica. A tendiendo a esto, se planteó el siguiente diseño metodológico para llevarla a cabo:

- Diseño de una herramienta diagnóstica: tomando como punto de referencia la revisión bibliográfica realizada, su finalidad es que permita detectar y cuantificar las concepciones alternativas sobre los conceptos fundamentales del momento angular y su conservación en sólidos rígidos, que tienen los estudiantes al inicio del proceso. Esta herramienta es en forma de cuestionario de opción múltiple única

respuesta. Los distractores son diseñados para que representen las concepciones alternativas más usuales encontradas en la literatura,

- Cálculo de la muestra: realizar la evaluación de manera aleatoria en la población objetivo, mediante muestreo aleatorio simple. Se determinó la población bajo estudio y cálculo la muestra necesaria para fijar unos parámetros de confiabilidad de la muestra de 95% y un error de la muestra del 10%.

- Aplicación inicial de la prueba: procesamiento y análisis de los resultados: La prueba se realiza de forma simultánea y presencial e individual, con un tiempo estimado de 20 minutos de duración, en un salón de clases. Los resultados son tabulados apoyándonos en el software comercial Microsoft Excel, Se realiza un procesamiento inicial de resultados mediante la estadística descriptiva para identificar el número de estudiantes en elegir cada opción de las respuestas para cada pregunta, con esto se pueden identificar plenamente como están los estudiantes en cada dimensión evaluada e identificar los conceptos alternos que tiene los estudiantes sobre el momento angular y su conservación.

- Diseño de una herramienta pedagógica: basado en los resultados encontrados en la sección anterior, se deben llevar los conceptos de Momento Angular a una guía, la cual intentara cumplir los fundamentos de los modelos de acción tutorial y de aprendizaje por pares, nos apoyaremos en el concepto amplio de simulación representado mediante videos demostrativos y un tutorial sobre la implementación de un modelo computacional y su respectiva simulación, lo cual ayuda a los estudiantes a comprender mejor los conceptos y a contextualizarlos en su rama profesional, así mismo le da significancia a lo que se está aprendiendo.

- Aplicación de la prueba final, procesamiento y análisis de los resultados: La prueba se realiza



de forma simultánea y presencial e individual, con un tiempo estimado de 20 minutos de duración, en un salón de clases. Los resultados son tabulados apoyándonos en el software comercial Excel, Se realiza un procesamiento de resultados mediante la estadística descriptiva para identificar el número de estudiantes en elegir cada opción de las respuestas para cada pregunta, con esto se pueden identificar plenamente como están los estudiantes en cada dimensión evaluada e identificar las principales concepciones alternativas, que persisten en los estudiantes sobre el Momento Angular y su conservación. Además, se realiza una comparación entre estos resultados finales y los iniciales, para cuantificar la influencia de la herramienta pedagógica sobre los resultados.

2.2 Diseño de la herramienta diagnóstica

Para el diseño de la herramienta se toma como base el instrumento diseñado por: Jiménez (2015) y algunas preguntas encontradas en los siguientes trabajos: Peñalba & Del Rio

(2005), Luthfiani et al (2018), Sarioglan & Kucukozer (2017), se modifican y ajustan a lo que se requiere en este estudio. En la Tabla 1, se muestra la matriz de variables propuesta en este trabajo. Como se observa, la única variable de esta investigación es el Momento Angular, el cual posee 5 dimensiones, las cuales deben ser enseñadas, evaluadas y medidas en este trabajo. Se plantea para cada dimensión su definición, podría considerarse como la competencia a alcanzar por parte del estudiante y que da origen a las preguntas que se deben diseñar con el objetivo de cuantificar el grado de cumplimiento que tienen los estudiantes con respecto a las dimensiones del Momento Angular. Por otro lado, los distractores deben ir enfocados a las concepciones alternativas que suelen tener los estudiantes sobre el tema. Esto ayudara, no solo a medir si un estudiante identifica correctamente la dimensión y definición del tema, sino que ayuda a identificar y cuantificar que concepciones alternativas tienen estos sobre el tema.

Tabla 1. Matriz de variables para el problema bajo investigación

Variable	Dimensión	Definición	Pregunta
Momento Angular	Identificar el concepto de momento angular.	Definir el concepto de momento angular.	1,2
	Identificar el tipo de magnitud que es el momento angular.	El momento angular es una magnitud física de carácter vectorial.	3,4
	Determinar el momento angular en diferentes situaciones.	Emplear las diferentes relaciones existentes para ponderar el momento angular de una partícula, sistema o cuerpo rígido.	5,6
	Determinar si el momento angular se conserva.	Principio de impulso y momento angulares, sí el impulso angular es cero entonces el momento angular es constante.	7,8
	Distinguir entre la conservación de momento angular y de la energía.	La conservación del momento angular es independiente de la conservación de la energía.	9,10

Fuente: Los autores.



2.3 Diseño de la herramienta diagnóstica

Seguidamente, se debe diseñar una herramienta pedagógica que me permita, solventar los problemas conceptuales y procedimentales que poseen los estudiantes y los cuales se verán expuestos cuando se aplique la herramienta diagnóstica. La herramienta pedagógica diseñada en forma de guía o tutorial (trabajo guiado), se origina en los trabajos expuestos por: Chen et al (2019), Cruz et al (2010), López et al (2008), donde se deja claro que esta es una forma de ampliar las horas de trabajo del estudiante de una forma autónoma y visual. La guía tutorial tiene cuatro secciones:

- Sección 1: Se presentan los conceptos básicos de inercia, torque, momento angular y su conservación, mediante definiciones y algunos ejemplos.
- Sección 2: contiene varios problemas conceptuales, bastante simples, que el estudiante debe solucionar. Su función principal es que los conceptos de la sección 1 se empleen para resolverlos y que sirvan de introducción a la fase de cuantificar el momento angular mediante las ecuaciones básicas del tema.
- Sección 3: Es principalmente de estímulo visual, donde los estudiantes deberán observar varios videos (en este trabajo se proponen cuatro videos), dichos videos enfatizan en aspectos experimentales del momento angular y su conservación. Como, por ejemplo, el experimento de la silla giratoria, el experimento de la esfera de Hoberman, la demostración experimental de la influencia del momento de inercia en la velocidad de giro, estos videos son de fácil acceso en plataformas como youtube o en sitios web de algunas Facultades o Departamentos de Física.
- Sección 4: consiste en un trabajo guiado o tutorial paso a paso, enfatizando la simulación numérica/computacional, en algunos trabajos

consultados se evidencia que este tipo de actividades motiva al estudiante y hace que el proceso de enseñanza aprendizaje sea pertinente al particularizar los conceptos a campos de aplicación prácticos en la carrera del estudiante, ejemplo de estos trabajos son los presentados por: Arenas & Giraldo (2019), Bernal & Peña (2019), González & Sánchez (2017), Aristizábal et al (2020), Duarte et al (2022). Mediante una herramienta computacional (en este trabajo se propone el uso del software Solidworks/motion), el tutorial de la simulación se sugiere que este en forma de video. El tutorial consiste en resolver uno o dos problemas de dinámica apoyados en el software, esto es, realizar el modelo CAD (cuerpos o sólidos), luego configurar la simulación, realizar la simulación, solicitar los resultados, ya sea en forma de datos o gráficas y luego analizar los resultados. El tutorial debe contener en esta sección, preguntas acerca del momento angular, su carácter, su cuantificación y su conservación.

2.4 Definición de la población y la muestra.

La población estudiada serán todos los estudiantes del Programa de Ingeniería Mecánica de una institución de educación superior en Colombia, que han cursado y aprobado las asignaturas de Física Mecánica, Dinámica y Mecanismos. Cuando se realizó el estudio, esa población era de 35 estudiantes. Se va a realizar un muestreo aleatorio simple de toda la población objetivo, con las características que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros estadísticos para el estudio

Símbolo	Descripción	Valor
N	Tamaño de población	35
n	Tamaño de la muestra	27
ξ	Error en la estimación	10%
Z	Confiability de la muestra	95%

Fuente: Los autores



2.5 Aplicación de los instrumentos

En la herramienta diagnóstica existen 10 preguntas, las cuales se aplicaron en 2 cuestionarios independientes. El cuestionario A, se aplicó para conocer el estado inicial de los estudiantes, referente a los conceptos y concepciones que tienen acerca del tema momento angular y su conservación. Este cuestionario se conformó por las preguntas número 1, 3, 5, 7, 9, del cuestionario elaborado. El cuestionario A es aplicado de forma presencial e individual, en un aula de clases, el tiempo que se empleó en su solución por parte de los estudiantes fue de alrededor de 20 minutos. Una vez, se aplicó el cuestionario inicial, se envía vía email a los estudiantes participantes en el estudio, la herramienta pedagógica, para su respectiva ejecución. La herramienta fue ejecutada durante dos semanas, tiempo suficiente para interiorizar los conceptos deseados. Seguidamente, se aplica el cuestionario B, conformado por las preguntas número 2, 4, 6, 8, 10 de la

herramienta diagnóstica diseñada. Se aplica de forma presencial e individual y en un aula de clases, el tiempo que se empleó en su solución por parte de los estudiantes fue de alrededor de 20 minutos.

3. RESULTADOS

Cabe resaltar que, según la Tabla 1, los cuestionarios A y B evalúan los mismos conceptos y concepciones alternativas por igual. Esto para medir directamente el impacto que tuvo la herramienta pedagógica sobre los conceptos que tienen los estudiantes.

3.1 Resultados cuestionario A

Una vez aplicado el cuestionario A, se procede a tabular los resultados y explicar los hallazgos. En la Tabla 3 y la Tabla 4, en ellas se observa lo siguiente: el número total de estudiantes que aplicaron el cuestionario A fue de 27 estudiantes, que corresponde al número exacto de la muestra.

Tabla 3. Número de estudiantes por respuesta elegida en cada pregunta.

Pregunta	Respuestas				No. de estudiantes
	a	b	c	d	
1	7	9	10	1	27
3	4	11	10	2	
5	7	4	2	14	
7	3	6	14	4	
9	4	6	13	4	

Fuente: Los autores.

Se observa que la **Pregunta 1**, la cual intenta medir si los estudiantes identifican el concepto del momento angular, solo fue respondida de forma acertada por 9 estudiantes, esto corresponde al 33% de los estudiantes. En la misma pregunta, 7 estudiantes contestaron la opción a y 10 la opción c, esto evidencia que confunden el concepto de momento angular con movimiento angular, esto equivale a decir que, el 63% de los estudiantes tiene la concepción

alterna de que el momento angular existe, si y solo si, el cuerpo sólido está en rotación.

La **Pregunta 3** cuantifica si los estudiantes reconocen que el momento angular es una magnitud vectorial y no es una magnitud escalar. En los resultados de la pregunta 3, encontramos que sólo 4 estudiantes contestaron correctamente la cuestión, esto equivale a un 15% de los estudiantes. Mientras que, 11 estudiantes contestaron la respuesta b, que



evidencia que reconocen que la magnitud puede ser vectorial pero no tienen un dominio adecuado del manejo de vectores, esto equivale a un 41% de los estudiantes. Además, 10 estudiantes eligieron la opción c y 2 la opción d, que demuestra que no identifican al momento angular como una magnitud vectorial, esto equivale al 44% de los estudiantes evaluados.

La **Pregunta 5** comprueba si los estudiantes están en capacidad de cuantificar el momento angular. Los resultados muestran, que sólo 7

estudiantes eligieron la respuesta correcta, esto equivale al 26% de los estudiantes. Además, para esta pregunta, 2 estudiantes eligen la opción c, esto evidencia que no tienen claro la forma de como cuantificar el momento angular de un cuerpo, esto equivale al 7% de los estudiantes. Finalmente, 4 estudiantes eligen la opción b y 14 la opción d, esto pone de manifiesto que, aunque tienen bases conceptuales para cuantificar el momento angular, no lo hacen de la forma correcta, esto equivale al 67% de los estudiantes evaluados.

Tabla 4. Porcentaje de estudiantes que seleccionaron cada respuesta.

Pregunta	Respuestas				% de estudiantes
	a	b	c	d	
1	26	33	37	4	100
3	15	41	37	7	
5	26	15	7	52	
7	11	22	52	15	
9	15	22	48	15	

Fuente: Los autores.

La **Pregunta 7** comprueba si el estudiante está en capacidad de interpretar, si la cantidad de momento angular se conserva o no se conserva. Los resultados muestran que 4 estudiantes eligen la respuesta correcta, esto equivale a un 15% de los estudiantes evaluados. Para esta pregunta, 6 estudiantes eligieron la respuesta b, esto evidencia que no tienen la capacidad de interpretar en qué situación se conserva la cantidad de movimiento angular, esto equivale a un 22% de los estudiantes. El resto de los estudiantes, si identifica que se cumple la conservación del movimiento angular, pero no sabe aplicarlo con claridad, esto equivale a 17 estudiantes, es decir, 63% de los estudiantes.

La **Pregunta 9** evidencia si los estudiantes diferencian entre los conceptos de conservación de la energía y conservación del momento angular. De los resultados evidenciamos que sólo 4 estudiantes respondieron acertadamente

esta pregunta, esto equivale al 15% de todos los estudiantes. Además, 13 estudiantes eligieron la opción c, que evidencia, como se tiene la idea errónea que el momento angular de un cuerpo es una forma de energía y que, por tanto, este es proporcional a su energía, esto equivale a un 48% de los estudiantes. Finalmente, 4 estudiantes eligieron la opción a y 6 estudiantes eligieron la opción b. Esto evidencia que, si son capaces de distinguir entre los conceptos de energía y momento angular, pero no son capaces de cuantificar, ni la energía, ni el momento angular. Estos estudiantes son alrededor del 37% de los estudiantes evaluados.

3.2 Resultados cuestionario B

Una vez aplicado el cuestionario B, se procede a tabular los resultados y explicar los hallazgos, en la Tabla 5 y Tabla 6, se observa lo siguiente: El número total de estudiantes que aplicaron



el cuestionario B fue de 27 estudiantes, que corresponde al número exacto de la muestra.

Tabla 5. Número de estudiantes por respuesta elegida en cada pregunta.

Pregunta	Respuestas				No. de estudiantes
	a	b	c	d	
2	11	12	3	1	27
4	3	1	10	13	
6	9	2	12	4	
8	5	11	8	3	
10	9	4	10	4	

Fuente: Los autores.

Se observa, que la **Pregunta 2**, la cual cuantifica si los estudiantes identifican el concepto del momento angular, solo fue respondida de forma acertada por 12 estudiantes, esto corresponde al 44% de los estudiantes. En la misma pregunta, 11 estudiantes contestaron la opción a y 3 la opción c, esto evidencia que confunden el concepto de momento angular con movimiento angular, esto equivale a decir que, el 52% de los estudiantes tiene la concepción alterna de que el momento angular existe, si y sólo si, el cuerpo sólido está en rotación.

La **Pregunta 4** cuantifica, si los estudiantes reconocen que el momento angular es una magnitud vectorial y no una magnitud escalar. En los resultados de la pregunta, encontramos que 13 estudiantes contestaron correctamente la cuestión, esto equivale a un 48% del total. Mientras que, 10 estudiantes contestaron la respuesta c, que evidencia que reconocen que la magnitud puede ser vectorial pero no tienen un dominio adecuado de la naturaleza del momento angular, ni del manejo de vectores, esto equivale a un 37%. Además, 3 estudiantes eligieron la opción a y 1 estudiante elige la opción b, que demuestra que no identifican al momento angular como una magnitud vectorial, esto equivale al 15% de los estudiantes evaluados.

La **Pregunta 6**, comprueba si los estudiantes están en capacidad de cuantificar el momento angular. Los resultados muestran que 12 estudiantes eligieron la respuesta correcta, esto equivale al 44% del total. Además, 4 estudiantes eligen la opción d, esto evidencia que no tienen claro la forma de como cuantificar el momento angular de un cuerpo, esto equivale al 15% de los estudiantes. Finalmente, 9 estudiantes eligen la opción a y 2 estudiantes eligen la opción b, esto pone de manifiesto que, aunque tienen bases conceptuales para cuantificar el momento angular, no lo hacen de la forma correcta, esto equivale al 40% de los estudiantes evaluados.

La **Pregunta 8** comprueba si, el estudiante está en capacidad de interpretar que la cantidad de momento angular se conserva o no se conserva. Los resultados muestran que 11 estudiantes eligen la respuesta correcta, esto equivale a un 41% de los estudiantes evaluados. Para esta pregunta, 3 estudiantes eligieron la respuesta d, esto evidencia que no tienen la capacidad de interpretar en qué situación se conserva la cantidad de movimiento angular, esto equivale a un 11% de los estudiantes. El resto de los estudiantes, si identifica que no se cumple la conservación del movimiento angular, pero no sabe relacionar las variables del problema con claridad, esto equivale a 13 estudiantes, es decir, 49% de los estudiantes.

La **Pregunta 10** evidencia si los estudiantes diferencian entre los conceptos de conservación de la energía y conservación del momento angular. De los resultados evidenciamos que sólo 9 estudiantes respondieron acertadamente esta pregunta, esto equivale al 33% de todos los estudiantes. Además, 10 estudiantes eligieron la opción c, que evidencia, como se tiene la idea errónea que el momento angular de un cuerpo es una forma de energía y que, por tanto, este es proporcional a su energía, esto equivale a un 37% de los estudiantes. Finalmente, 4 estudiantes eligieron la opción b y 4 la opción



d. Esto evidencia que, si son capaces, de distinguir entre los conceptos de energía y momento angular, pero no son capaces de cuantificar, ni la energía, ni el momento angular. Estos estudiantes son alrededor del 30% de los estudiantes evaluados.

Tabla 6. Porcentaje de estudiantes que seleccionaron cada respuesta.

Pregunta	Respuestas				% de estudiantes
	a	b	c	d	
2	41	44	11	4	100
4	11	4	37	48	
6	33	7	44	15	
8	19	41	30	11	
10	33	15	37	15	

Fuente: Los autores.

3.3 Análisis y comparación de resultados.

En la Tabla 7, se observa como los porcentajes de respuesta correctas aumentaron hasta un 44% de media, en todas las preguntas, lo que refleja que la actividad propuesta significo una mejora sustancial en los conceptos de los estudiantes. Esto se puede explicar de la siguiente manera: en charlas con docentes de varias instituciones de educación superior del programa de Ingeniería Mecánica, se pone de manifiesto que, el tema de dinámica de cuerpos rígidos es casi uno de los últimos temas en las asignaturas, tanto en la asignatura de Física Universitaria como en Dinámica. Lo que hace que el tema se desarrolle en poco tiempo o con menos tiempo disponible de lo que debería, o en su defecto no se desarrolle. Todo esto, refleja el bajo nivel de respuestas correctas en el cuestionario A.

Tabla 7. Comparación de los porcentajes de respuestas correctas antes y después de aplicar la herramienta pedagógica.

Concepto	Cuestionario A	Cuestionario B
Identificar el concepto de momento angular.	33%	44%
Identificar el tipo de magnitud que es el momento angular.	15%	48%
Determinar el momento angular en diferentes situaciones.	26%	44%
Determinar si el momento angular se conserva.	15%	41%
Distinguir entre la conservación del momento angular y de la energía.	15%	33%

Fuente: Los autores.

Por otro lado, se observa que una vez se desarrolla la herramienta pedagógica propuesta, el porcentaje de respuestas correctas aumenta, esto se debe a varios factores, uno de ellos es la proximidad del desarrollo de la actividad a la ejecución del cuestionario B, los estudiantes tenían los conceptos frescos y solventaron mejor las cuestiones. Otro factor, es que las actividades que se plantearon en la herramienta pedagógica son complementarias e integradoras entre sí, se contaba con un repaso conceptual, un desarrollo

de problemas, el analizar videos demostrativos y por último realizar unas simulaciones numéricas. Todo esto ayuda, a que los estudiantes se motiven y sean más receptivos a los conceptos que se desarrollan en clase. La simulación que en este caso se implementa mediante los videos y la simulación numérica, acrecienta la motivación y las competencias visuales que tienen los estudiantes actualmente.



En la Tabla 8, se observan las concepciones alternativas más comunes que tienen los estudiantes sobre el concepto de momento angular y su conservación, encontradas al aplicar el cuestionario A y el cuestionario B. Como se observa, a pesar de haber aumentado el porcentaje de estudiantes que respondió bien las preguntas, todavía persiste un gran número de estudiantes con la concepción de que el movimiento angular genera el momento angular, antes de aplicar la herramienta pedagógica, estos estudiantes corresponden al 63% y luego de aplicarla son el 52%, lo que refleja una disminución pequeña, corroborando esto, la hipótesis encontrada en la literatura que las concepciones alternativas son persistentes y difíciles de superar. Donde sí se evidencia una

disminución apreciable, es en los estudiantes que no identifican el momento angular como una magnitud vectorial, pasando de un 44% a un 15%. De igual forma, los estudiantes que no calculaban o cuantificaban de forma correcta el momento angular, disminuyó de un 67% a un 15%. Esto refleja que la herramienta pedagógica, ayudó a los estudiantes a cuantificar el fenómeno. Esto es importante ya que al menos ahora conocen las relaciones matemáticas que existen entre el momento angular y otras variables físicas como la velocidad, el momento de inercia, la velocidad angular y los torques en un sistema. Por último, tenemos que bajó el porcentaje de estudiantes que no sabían interpretar cuando se conserva el momento angular, pasó de un 22% a un 11% después de aplicar la herramienta pedagógica.

Tabla 8. Comparación de los porcentajes de estudiantes con concepciones alternativas antes y después de aplicar la herramienta pedagógica.

Concepciones alternativas	Cuestionario A	Cuestionario B
Confunden el concepto de momento angular con movimiento angular.	63%	52%
No identifican al momento angular como una magnitud vectorial.	44%	15%
No cuantifica el momento angular de forma correcta.	67%	15%
No interpreta en qué situación se conserva la cantidad de movimiento angular.	22%	11%
El momento angular es una forma de energía o es proporcional a su energía.	48%	37%

Fuente: Los autores.

4. CONCLUSIONES Y DISCUSIONES

En este trabajo se logró diseñar e implementar una herramienta diagnóstica en forma de cuestionario que permitió revelar las concepciones alternativas que tienen los estudiantes de ingeniería mecánica sobre el concepto de momento angular y su conservación. Al aplicar dicha herramienta durante esta investigación, se identificó que los estudiantes, luego de haber cursado asignaturas referentes al área de mecánica teórica como lo son: Física

Mecánica, Dinámica y Mecanismos, poseen concepciones alternativas sobre el tema de momento angular, las principales concepciones alternativas son: El momento angular solo existe si existe un movimiento rotacional de la partícula o el sólido rígido y El momento angular depende de la energía cinética de la partícula o del sólido rígido. Estos resultados están de acuerdo con los encontrados en estudios anteriores como los realizados por Jiménez Chinga (2015), Peñalba & del Río (2005). Seguidamente, se diseñó e implementó una herramienta pedagógica sobre



el tema de momento angular y su conservación, con el objetivo de incrementar el nivel de comprensión de los estudiantes sobre el tema en cuestión. La herramienta pedagógica se centra en el uso de tecnologías como el video y las simulaciones numéricas, para llevar a cabo las actividades propuestas. Al aplicar la herramienta pedagógica y al volver a aplicar la prueba o cuestionario B, se encontraron los resultados siguientes: como se mencionó en la sección de resultados se logró disminuir alrededor de un 11% la concepción alternativa que tenían los estudiantes acerca del concepto de momento angular y su conservación, referente a que, el momento angular es exclusivo de sistemas que tienen movimiento rotacional. Este resultado demuestra que las concepciones alternativas son difíciles de erradicarse debido a que están arraigadas en las estructuras mentales de los estudiantes, como sugieren algunos autores, Rafika & Syuhendri, (2021), Bozzi et al (2020). Así mismo, se disminuyó el número y porcentaje de estudiantes, que no tenían claridad en la cuantificación e identificación del momento angular en partículas y sólidos, estando la mejoría en alrededor de un 45% y un 25%, respectivamente. Esto se puede explicar debido al alto grado de motivación de los estudiantes al momento de realizar una simulación computacional y el uso de software especializado. Esto es aplicar los conocimientos a situaciones concretas con pertinencia en el campo profesional del estudiante, algunos de los trabajos donde se llegan a conclusiones similares son los efectuados por: Martínez (2017), Aristizábal et al (2020), González & Sánchez (2017). Al finalizar este trabajo, queda patente que, el hecho de que los estudiantes aprueban las asignaturas no garantiza que entiendan con profundidad los conceptos y temas que se dieron en ellas y mucho menos que posean las habilidades necesarias para cuantificar los fenómenos, algunos estudios semejantes se han realizado en otros países encontrando resultados parecidos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo de las siguientes instituciones: Universidad Surcolombiana, Institución Universitaria ITSA. Por facilitar sus recursos para el correcto desempeño de esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arenas Bedoya, J., & Giraldo, J. (2019). Los simuladores: estrategia didáctica en la inclusión de los conceptos matemáticos en la Física. *Revista Científica*, 110-120. doi:<https://doi.org/10.14483/issn.2344-8350>
- Aristizábal, L., Correa, J., Ramírez Macías, J., & Flórez, D. (2020). Implementación de ayudas didácticas para el estudio y la enseñanza de mecanismos. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI 2019* (págs. 1-9). Cartagena de Indias: asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI).
- Artamonova, I., Mosquera, J., & Mosquera Artamanov, J. (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*, 56-63. doi:<https://doi.org/10.26507/rei.v12n23.729>
- Bernal Ortiz, M., & Peña Ayala, L. (2019). Modelado, simulación y representaciones mentales: una propuesta metacognitiva para el análisis del movimiento 3D de proyectiles. *Revista Científica*, 252-261. doi:<https://doi.org/10.14483/issn.2344-8350>
- Bozzi, M., Ghislandi, P., & Zani, M. (2020). Misconceptions in Physics: an uphill climb. *International Technology, Education and Development*



- Conference "INTED" - INTED 2020 (págs. 2162-2170). Valencia - Spain: IATED. doi:<http://dx.doi.org/10.21125/inted.2020.0670>
- Cajas Narváez, B. (2020). Uso de simuladores para el estudio de mecánica de sólidos en los estudiantes de primero de bachillerato del Colegio Universitario "UTN", periodo académico 2019-2020. Ibarra: Tesis de Licenciatura - Facultad de Educación Ciencia y Tecnología - Universidad Técnica del Norte.
- Chen, Z., Whitcomb, K., Guthrie, M., & Singh, C. (2019). Evaluating the Effectiveness of Two Methods to Improve Students' Problem Solving Performance After Studying an Online Tutorial. SSRN, 1-6. doi:<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3522734>
- Cruz, É., O'Shea, B., Schaffenberger, W., Wolf, S., & Kortemeyer, G. (2010). Tutorials in Introductory Physics: The Pain and the Gain. *The Physics Teacher*, 453-457. doi:<https://doi.org/10.1119/1.3488188>
- Duarte, J. E., Vega, J. A. N., & Morales, F. H. F. (2022). Simulando y resolviendo, la teoría voy comprendiendo: una estrategia didáctica para la enseñanza-aprendizaje de la física. *Revista Boletín Redipe*, 11(1), 158-173.
- Escudero, C., Jaime, E., & González, S. (2017). Un estudio sobre situaciones problemáticas como herramientas de aprendizaje significativo en Física. *Revista Facultad de Ciencias Exactas, Física y Naturales*, 83-94.
- González Estrada, O., & Sánchez Acevedo, H. (2017). Uso de TIC para la enseñanza de la asignatura Dinámica. Bucaramanga: Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. doi: hal-01545678
- Hernández Sampieri, R. (2018). Metodología de la investigación. Ciudad de México: McGraw-Hill Interamericana.
- Janeusse Fratiwi, N., Samsudin, A., Ramlan Ramalis, T., Saregar, A., Diani, R., Irwandani, . . . Ravanis, K. (2020). Developing MeMoRI on Newton's Laws: For Identifying Students' Mental Models. *European Journal of Educational Research*, 699-708. doi:doi: 10.12973/eu-jer.9.2.699
- Jiménez Chinga, P. (2015). Determinación de dificultades y concepciones alternativas de los estudiantes del curso de mecánica racional, del programa académico de ingeniería industrial y de sistemas sobre el momento angular. Piura: Tesis de maestría - Universidad de Piura - Facultad de Ciencias de la Educación.
- López Donoso, E., Castillo Cortés, C., & Véliz Veas, J. (2008). Aprendizaje colaborativo y significativo en la resolución de problemas de física en estudiantes de ingeniería. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 55-76. doi:<https://doi.org/10.5007/2175-7941.2008v25n1p55>
- Luthfiani, T., Sinaga, P., & Samsudin, A. (2018). Preliminary development of POEAW in enhancing K-11 students' understanding level on impulse and momentum. *Journal of Physics: Conference Series*, 1-7. doi:doi :10.1088/1742-6596/1013/1/012053
- Maries, A., Sayer, R., & Singh, C. (2017). Effectiveness of interactive tutorials in promoting "which-path" information reasoning in advanced quantum mechanics. *Physical Review Physics Education Research*, 020115. doi:<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.020115>



- Marshman, E., DeVore, S., & Singh, C. (2020). Holistic framework to help students learn effectively from research-validated self-paced learning tools. *Physical Review Physics Education Research*, 020108 (1-17). doi:<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020108>
- Martínez Palmeth, L. (2018). *Herramienta Pedagógica Basada en el Concepto de Tutorial Para el Tema de Momento Cinético*. Bogotá: Tesis Especialización - Facultad de Educación FUAU.
- Martínez Sicachá, Sandra Milena. (2017). *Resolución de situaciones problema de la mecánica newtoniana con prácticas de laboratorio presenciales y virtuales apoyados en herramientas tecnológicas*. Bucaramanga: Facultad Ciencias Sociales, Humanidades y Artes: Tesis de Maestría.
- Mwansa, F., Kabwita, P., & Jumbe, J. (2018). Analysis of Undergraduate Physics Student's Perception of Angular Momentum in Quantum Mechanics at the University of Zambia. *Journal of Education, Society and Behavioural Science*, 1-17. doi:[10.9734/JESBS/2018/40980](https://doi.org/10.9734/JESBS/2018/40980)
- Parra Bermúdez, F., & Figueroa Navarro, C. (2017). Análisis didáctico de un episodio de aula en el estudio de un tema de mecánica newtoniana. *Latin-American Journal of Physics Education*., 2307-1 - 2307-7.
- Peñalba, M., & Del Rio, T. (2005). ¿Qué comprenden los estudiantes universitarios cuando enseñamos el momento angular? *Enseñanza de las ciencias numero extra*, 1-5.
- Rafika, R., & Syuhendri, S. (2021). Students' misconceptions on rotational and rolling motions. *Journal of Physics: Conference Series*. The 10th International Conference on Theoretical and Applied Physics (ICTAP2020), 1-6doi:[doi:10.1088/1742-6596/1816/1/012016](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1816/1/012016)
- Sarioglan, A., & Kucukozer, H. (2017). Effect of Meaning Making Approach on Students' Conceptual Understanding: An Examination of Angular Momentum Conservation. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 203-220. doi:[10.18404/ijemst.296035](https://doi.org/10.18404/ijemst.296035)
- Singh, C., & Rosengran, D. (2001). Students' conceptual knowledge of energy and momentum. *Proceedings of the Physics Education Research conference 2001*, (págs. 123-126). Rochester. doi:[10.1119/perc.2001.pr.018](https://doi.org/10.1119/perc.2001.pr.018)