

Aprendizaje de los conceptos de fuerza y energía en estudiantes de ingeniería: un estudio exploratorio

Alfonso Llancaqueo Henríquez¹, Carlos Jiménez-Gallardo², Walter Lebrecht Díaz-Pinto³

allanca@ufro.cl, cjimenez@ufro.cl, lebrech@ufro.cl

^{1,3}*Departamento de Ciencias Físicas, Universidad de la Frontera. Avda. Francisco Salazar 01145, Temuco, Chile.*

²*Departamento de Matemática y Estadística, Universidad de la Frontera*

Resumen

El presente trabajo informa resultados de un estudio descriptivo exploratorio del aprendizaje de los conceptos de fuerza y energía, realizado con estudiantes de ingeniería de primer año. Participaron en este estudio 125 estudiantes de una asignatura de física general de la Universidad de La Frontera, Chile. La investigación se fundamenta en la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, adoptada como referencial teórico para el estudio de procesos de aprendizaje significativo de física. Los resultados obtenidos describen rasgos de la conceptualización y comprensión de significados de estos conceptos en dos momentos diferentes, al inicio y al término de la asignatura. Estos resultados permiten explorar el avance de los estudiantes en el aprendizaje y dominio de este campo conceptual.

Palabras clave: fuerza y energía, campos conceptuales, aprendizaje significativo.

Learning the concepts of force and energy engineering students: an exploratory study

Abstract

This paper reports results of an exploratory study of learning the concepts of force and energy, students of engineering conducted with freshmen. Participated in this study 125 students in a general physics course at the University of La Frontera, Chile. The research is based on the theory of conceptual fields Vergnaud, adopted as a theoretical reference for the study of significant learning processes in physics. The results described features of the conceptualization and understanding of meanings of these concepts at two different times, at the beginning and end of the course. These results allow us to explore the progress of students in learning and mastering this conceptual field.

Keywords: Force and energy, conceptual fields, significant learning.

Aprendizagem dos conceitos de força e energia em estudantes de engenharia: um estudo exploratório

Resumo

Este artigo apresenta os resultados de um estudo exploratório sobre a aprendizagem dos conceitos de força e energia, em estudantes de engenharia do primeiro ano. Participaram do estudo 125 alunos de um curso de física geral na Universidade de La Frontera, no Chile. A pesquisa é baseada na teoria dos campos conceituais Vergnaud, adotadas como referencial teórico para o estudo dos processos de aprendizagem significativas em física. Os resultados descrevem as características da conceitualização e compreensão de significados desses conceitos em dois momentos distintos, no início e no final do curso. Estes resultados permitem-nos explorar o progresso dos alunos na aprendizagem e dominar este campo conceitual.

Palavras-chave: força e energia, campos conceituais, aprendizagem significativa.

Apprentissage des concepts de force et d'énergie avec étudiants en ingénierie: une étude exploratoire

Résumé

Le présent travail informe résultats d'une étude descriptif exploratoire l'apprentissage des notions de force et de l'énergie, produit

avec des étudiants de génie de première année. Ont participé à cette étude 125 étudiants d'une matière enseignée de physique générale de l'Université de la frontière, du Chili. La recherche est basée sur la théorie des champs conceptuels VERGNAUD, adoptés comme cadre théorique pour l'étude des processus d'apprentissage significatives en physique. Les résultats décrivent les caractéristiques de la conceptualisation et la compréhension des significations de ces concepts à deux moments différents, au début et à la fin du cours. Ces résultats permettent explorer le progrès des étudiants dans l'apprentissage et la maîtrise de ce champ conceptuel.

Mots clés: force et de l'énergie, champ conceptuel, apprentissage significatives.

1. INTRODUCCIÓN

Diversas investigaciones han mostrado la necesidad de comprender, cómo los estudiantes de ingeniería aprenden física. Lo importante del problema, es su significación conceptual tanto para la investigación de procesos de aprendizaje significativo de física, como para la elaboración de métodos eficaces de enseñanza de física en la formación de ingenieros (Covian y Celemin, 2008; Mora y Herrera, 2009; Oliva, 2001; Hestenes, Wells y Swackhamer, 1992). En este contexto, se realizó un estudio descriptivo exploratorio con estudiantes de ingeniería de primer año de una asignatura de física general. El propósito del estudio fue explorar rasgos del conocimiento previo y avances en el aprendizaje significativo de los contenidos de fuerza y energía en el contexto de la mecánica Newtoniana (Caballero, 2004; 2009). Específicamente, se explora la conceptualización y comprensión de significados científicos de estos conceptos, en dos momentos diferentes, al inicio y final de la asignatura.

2. MARCO TEÓRICO

El marco teórico usado es la teoría de los campos conceptuales (TCC) de Vergnaud (1990; 1998; 2007; 2009), por su potencialidad para explorar vínculos entre la estructura cognitiva humana y la estructura de los conceptos científicos. En este enfoque, la conceptualización es el núcleo del desarrollo cognitivo (Vergnaud, 1990; 1998, 2009). El conocimiento se organiza en campos conceptuales (CC), cuyo dominio, por parte de las personas, se adquiere a lo largo de un proceso lento de asimilación con rupturas y continuidades. Un CC es un conjunto informal de situaciones, que para su análisis requiere de conceptos, representaciones simbólicas, operaciones de pensamiento y procedimientos que interactúan durante el proceso de aprendizaje (Vergnaud, 1990).

Las situaciones son entendidas como una tarea cognitiva. Es decir, una combinación de tareas y problemas que determinan los procesos cognitivos. Por lo tanto, mediante la actividad en situación (forma operativa) un estudiante construye su conocimiento (Vergnaud, 2007; 2009). Así, a través de su acción y dominio progresivo de situaciones es como un estudiante construye los CC que modelan su conocimiento (Vergnaud, 1990; 2009).

En este punto, es necesario incorporar la visión de la enseñanza en el contexto de la TCC (Vergnaud, 1998), puesto que la interacción entre esquemas y situaciones se realiza a través de diversos actos de mediación, la enseñanza debe ser entendida en el sentido planteado por Vygotski (1979; 1986; 1995). Así, el desarrollo cognitivo se da a instancias de la mediación social, lo cual supone un aprendizaje mediado por alguien más competente y por la

mediación semiótica a través del lenguaje y símbolos que permiten la asimilación de lo aprendido. Este proceso se explica a través de la ley de la doble función, referidas a los procesos interpsicológicos (mediación social) mediante los cuales, se aprende junto a otros y los procesos intrapsicológicos, a través de los cuales un estudiante internaliza lo aprendido colectivamente por medio del lenguaje y los símbolos. De este modo, el profesor tiene un papel de mediador, ayudando a los estudiantes a desarrollar sus esquemas. Para ello utiliza el lenguaje y los símbolos de las disciplinas para explicar, preguntar, seleccionar información, proponer objetivos, reglas y expectativas. Esto se puede lograr al presentar situaciones con tareas y problemas de complejidad creciente, de modo que los estudiantes desarrollen nuevos esquemas, lo cual posibilita la asimilación y aprendizaje de nuevos significados y la aprehensión de nuevos conceptos. Vergnaud (1998), también destaca la distinción entre conceptos cotidianos y científicos, pues estos últimos permiten cambiar el estatuto cognitivo de los elementos constituyentes de los esquemas, es decir, de los invariantes operatorios, las reglas de acción, los objetivos, las anticipaciones e inferencias contenidos en los esquemas.

La relación entre aprendizaje y desarrollo cognitivo se explica a través del concepto de zona de desarrollo próximo (Vygotski, 1979). Así el docente plantea situaciones usando instrumentos de mediación. Por lo tanto, la aplicación de la TCC en estudios de aprendizaje de física, supone enfrentar a los estudiantes a situaciones que demanden el uso de conceptos con diferentes formatos de representación simbólica, e investigar los esquemas que ayudan a la conceptualización y la comprensión de éstos (Caballero, 2004; Moreira, 2002; Greca y Moreira, 2002).

El interés del concepto de esquema es describir desde un punto de vista teórico la actividad de los estudiantes en situación (Vergnaud, 2009). Los invariantes operatorios son los elementos de los esquemas que establecen esta articulación esencial, ya que tanto la percepción, como la búsqueda y selección de la información están determinadas por los *conceptos-en-acción* disponibles en la estructura cognitiva de un estudiante (objetos, atributos, relaciones, condiciones, circunstancias, etc.) y por los *teoremas-en-acción* subyacentes en su actividad. Para Vergnaud, “...un *teorema-en-acción* es una proposición considerada como verdadera sobre lo real, y un *concepto-en-acción* es una categoría de pensamiento considerada como pertinente” (Vergnaud, 1996, p. 202). Los contenidos de los esquemas se refieren a un conocimiento implícito de los conceptos, que aunque formen parte de la estructura cognitiva de un estudiante, no lo serán del todo hasta que sea capaz de explicitarlos. A este conocimiento, Vergnaud llama también conocimiento-en-acción, ya que es el conocimiento que

permite la adaptación y capacidades de los estudiantes para enfrentar nuevas situaciones.

De acuerdo a una interpretación de la TCC, los conceptos de fuerza y energía aplicados al fenómeno del movimiento pertenecen al cuerpo de conocimientos de la mecánica clásica de Newton. Sus significados pertenecen a un conocimiento complejo de dominio específico y su aprendizaje es importante en la formación de ingenieros. Sin embargo, se debe tener en cuenta que su dominio se logra a través de procesos de asimilación y acomodación de nuevos conocimientos a conocimientos previos, en procesos que ocurren con la enseñanza. Desde la perspectiva de la física, los contenidos de fuerza y energía involucran una variedad de conceptos y principios físicos, que describen y explican de manera causal y determinista el movimiento de los cuerpos en el marco de la mecánica clásica. En el caso de fuerza y movimiento se incluyen los conceptos de posición, velocidad, aceleración, fuerza, masa y otros, los cuales se relacionan y estructuran través de los principios de Newton mediante una representación matemática vectorial. En el caso de energía y movimiento, el fenómeno del movimiento, es descrito y explicado por conceptos tales como trabajo, energía cinética, energía potencial, que se relacionan a través de teoremas que vinculan trabajo y energía, usando una representación matemática escalar.

En consecuencia, los conceptos de fuerza y energía son claves para la comprensión del fenómeno del movimiento y constituyen un CC compuesto por un conjunto de conceptos, que conforman un sistema que se refiere a una diversidad de situaciones (Vergnaud, 2009). Por tanto, para su estudio es necesario considerarlo como un triplete de tres conjuntos $\{S, I, R\}$. Donde, S es un conjunto de situaciones, que incluyen fenómenos y problemas físicos que dan sentido a los conceptos de fuerza y energía, I es el conjunto de invariantes operatorios de esquemas asociados a los conceptos físicos y a los objetos matemáticos que un estudiante usaría al enfrentar situaciones, o sea, lo que Vergnaud denomina conocimientos-en-acción de los esquemas (Vergnaud, 1996). R es el conjunto de representaciones simbólicas y pictóricas usadas en las situaciones, el conjunto de representaciones simbólicas de los conceptos físicos y matemáticos, tales como ecuaciones, gráficos, tablas, vectores, otros). Es decir, las representaciones vectoriales de las operaciones matemáticas que dan significado a los principios de Newton, y las representaciones escalares de las operaciones matemáticas que otorgan significado a los teoremas de trabajo y energía (Vergnaud, 1996; 2009; Llancaqueo, Caballero y Moreira, 2003).

3. METODOLOGÍA

La investigación

Los datos que informa este artículo pertenecen a un programa de estudios más amplio, dirigido a investigar vínculos entre la estructura de significados de conceptos construida por la física, y la estructura conceptual que construyen estudiantes en contextos de enseñanza. En el presente estudio, se abordan significados de los conceptos de fuerza y energía relacionados con el fenómeno del

movimiento, en el marco de la mecánica Newtoniana. La TCC se usa como fundamento teórico para explorar si hubo progresión y retención en el aprendizaje significativo de estos conceptos (Ausubel 2002, Caballero, 2004). En particular, se informan resultados de avances en la conceptualización y la comprensión de significados científicos de un grupo de estudiantes de ingeniería de primer año. La recogida de datos se realizó en dos momentos distintos, antes de comenzar la enseñanza de estos contenidos en una asignatura de física general, y al final, una vez, terminada la asignatura.

El diseño de la investigación corresponde a un diseño de tipo descriptivo, longitudinal en el corto plazo de un año, con una muestra no probabilística, constituida por estudiantes que cumplieron criterios de inclusión, tales como, pertenecer a una misma asignatura de física de primer año de ingeniería y cursar la asignatura por primera vez.

Participantes

La muestra estuvo formada por 125 estudiantes de una asignatura anual de física general, perteneciente al Ciclo Básico de Ingeniería Civil de la Universidad de La Frontera, Chile. Esta asignatura es impartida en secciones de aproximadamente 80 estudiantes cada una. La docencia de cada sección está cargo de un profesor investigador en física perteneciente al Departamento de Ciencias Físicas. La mayoría de los estudiantes participantes egresó de la Educación Media de la modalidad humanista científica. El puntaje promedio de ingreso de esto estudiantes es 604 puntos, con un rango de variación entre 504 y 806 puntos, donde el puntaje máximo nacional es del orden de los 820 puntos.

Instrumento y procedimiento

Para la obtención de datos, se elaboró un cuestionario ad-hoc usando procedimientos metodológicos de una investigación sobre el aprendizaje del concepto de campo en física (Llancaqueo, Caballero y Moreira, 2003; 2009; Llancaqueo, Caballero y Alonqueo, 2007). El cuestionario contiene situaciones, que exploran la comprensión y conceptualización de conceptos pertenecientes al CC de fuerza y energía, agrupados en cuatro dominios de conceptos. Estos dominios son: álgebra vectorial (DC1), función-movimiento (DC2), fuerza-movimiento (DC3) y energía-movimiento (DC4). Cada pregunta contiene cuatro alternativas de respuesta jerarquizadas en cuatro niveles de comprensión. Estas respuestas fueron elaboradas a partir de respuestas escritas dadas por estudiantes en aplicaciones anteriores de cuestionarios de lápiz y papel (Ver Anexo). El cuestionario se administró colectivamente en un aula y su aplicación duró 60 minutos aproximadamente.

Análisis de los datos

Los datos obtenidos se analizaron e interpretaron de acuerdo a procedimientos usados en una investigación anterior de aprendizaje del concepto de campo en física (Llancaqueo, Caballero y Moreira, 2003). Para el análisis de la conceptualización, se codificaron las respuestas de los estudiantes según cuatro categorías de análisis definidas previamente. La descripción de estas categorías se presenta

en la Tabla 1. El propósito de las categorías es explorar las relaciones de conocimiento entre la realidad de las situaciones y la acción operatoria de los estudiantes al responder el cuestionario. La descripción de los ítems según situación y categoría se presenta en la Tabla 2. La distribución de ítems es la siguiente: Clasificación (CL) 6

ítems, Representación (RP) 9 ítems, Operación (OP) 10 ítems y Resolución (RS) 9 ítems. Se usó una escala de 0 a 1 puntos para la valoración del desempeño en cada ítem. Por lo tanto, la puntuación máxima posible en conceptualización fue 34.

Tabla 1. Categorías de análisis de las respuestas estudiantas.

Categoría	Descripción
Clasificación (CL)	Esta categoría explora el uso de invariantes de características de clase. De identificación de magnitudes físicas, o predicados de expresiones que definen atributos o propiedades que aplican significados científicos de los conceptos de escalar (e), vector (v), función (fn), fuerza-movimiento (f-m) y energía-movimiento (e-m) en el contexto de las situaciones planteadas en el instrumento.
Representación (RP)	Esta categoría busca identificar el uso de invariantes, que se relacionan con el conjunto de representaciones simbólicas y pictóricas (gráficos, ecuaciones, expresiones algebraicas, flechas), que representen significados de los conceptos de e, v, fn, f-m y e-m.
Operación (OP)	Esta categoría explora el uso de invariantes en procedimientos empleados por los estudiantes en las situaciones, esto es, el conocimiento y aplicación de operaciones, sus propiedades y representaciones simbólicas asociadas a los conceptos de e, v, fn, f-m y e-m.
Resolución (RS)	Esta categoría intenta explorar la disponibilidad conceptual presente en los esquemas estudiantas, en términos de propiedades, relaciones y transformaciones científicamente correctas de los conceptos de e, v, fn, f-m y e-m, en la resolución de problemas. Como una manifestación del uso de dichos conceptos, en acuerdo con las demandas de los problemas planteados en las situaciones.

Tabla 2. Distribución de ítems según categorías de análisis.

Situación	Descripción	Pregunta	CL	RP	OP	RS	Ptos
S1	Clasificación magnitudes escalares y vectoriales	1	CL1				1
S2	Problema de trigonometría	2			OP1	RS1	2
S3	Representación y operación de vectores por flechas	3		RP1	OP2		2
	Representación y operación de vectores por componentes	4		RP2	OP3		2
	Problema álgebra vectorial	5		RP3	OP4	RS2	3
S4	Representación función por ecuación	6		RP4	OP5		2
	Representación función por gráfico	7		RP5	OP6		2
	Problema cinemática	8		RP6	OP7	RS3	3
S5	Problema fuerza resultante y movimiento	9		RP7		RS4	2
S6	Problema superposición de fuerzas	10		RP8	OP8	RS5	3
S7	Clasificación fuerza para explicar movimiento	11	CL2				1
	Clasificación acción fuerza roce estática	12	CL3				1
S8	Problema fuerzas en un choque	13			OP9	RS6	2
S9	Problema fuerza, masa y aceleración en campo gravitatorio	14				RS7	1
S10	Problema fuerza, masa y energía en campo gravitatorio	15				RS8	1
S11	Clasificación y explicación de concepto de fuerza	16	CL4				1
S12	Clasificación y explicación conservación energía	17	CL5				1
	Representación de una magnitud conservada	18		RP9			1

	Problema de conservación	19			OP10	RS9	2
S13	Clasificación y explicación concepto de energía	20	CL6				1

En el análisis de comprensión de significados se usó una escala de 0 a 4 puntos, que jerarquiza en cuatro niveles las respuestas de los estudiantes (Llancaqueo, Caballero y Alonqueo, 2007). El valor 0 se asigna a no contesta; 1 en desacuerdo con significados científicos, hasta el valor 4 que corresponde a respuestas en completo acuerdo con significados científicos de los conceptos.

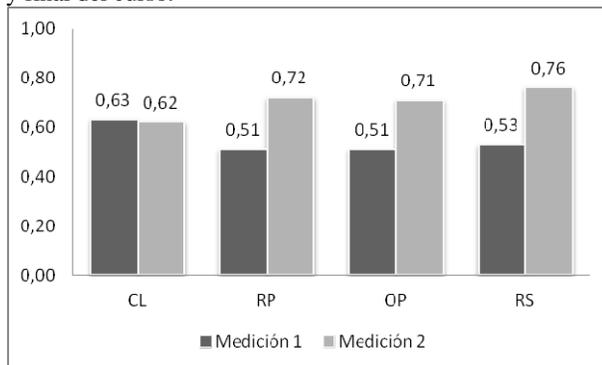
Todos los procedimientos de análisis realizados, apuntan a la determinación de niveles de conceptualización y niveles de comprensión de los estudiantes en los dos momentos de medición. La fiabilidad de los datos obtenidos se determinó a través del coeficiente $\alpha = 0.85$ (Cronbach, 1967) estimándose que los puntajes generados son estadísticamente confiables.

4. RESULTADOS

Rasgos de la conceptualización de fuerza y energía

En la Figura 1 se presentan los resultados del desempeño promedio de los estudiantes, en cada una de las categorías de análisis de la conceptualización, al inicio y final de la asignatura de Física General (Mediciones 1 y 2 respectivamente). Esos valores se determinaron según una escala normalizada entre 0 y 1.

Figura 1. Desempeño promedio en las categorías al inicio y final del curso.



Se observa que en las categorías de representación, operación y resolución, los valores de desempeño aumentan del orden de 0,20. Sin embargo, en la categoría de clasificación el desempeño se mantiene constante. Este resultado se puede interpretar mejor, si se desagrega y compara el desempeño entre dos grupos de situaciones, aquellas que incluyen los conceptos de álgebra vectorial y función (situaciones S1 a S5) y aquellas situaciones que incluyen a los conceptos de fuerza y energía (S6 a S13).

En la Figura 2 se presenta el desempeño promedio en las situaciones de álgebra vectorial y función y en la Figura 3 se presentan el desempeño promedio para las situaciones de fuerza y energía. Al inicio de la asignatura, pareciera que los estudiantes disponen de conocimientos en acción ligados a atributos de magnitudes físicas escalares y

vectoriales. Sin embargo, estos conocimientos no logran acomodarse a esquemas apropiados para enfrentar situaciones que demandan el uso de los conceptos de fuerza y energía.

Figura 2. Desempeño promedio según categorías en situaciones de álgebra vectorial y función.

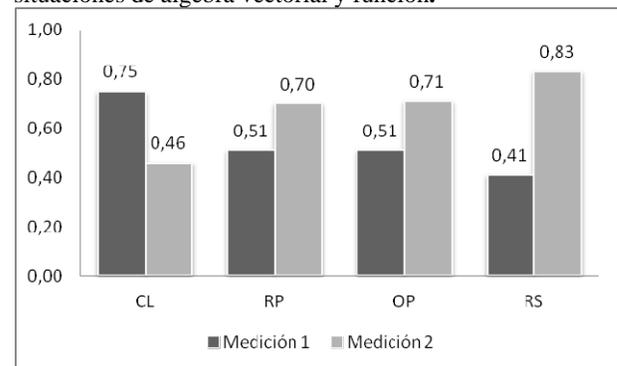
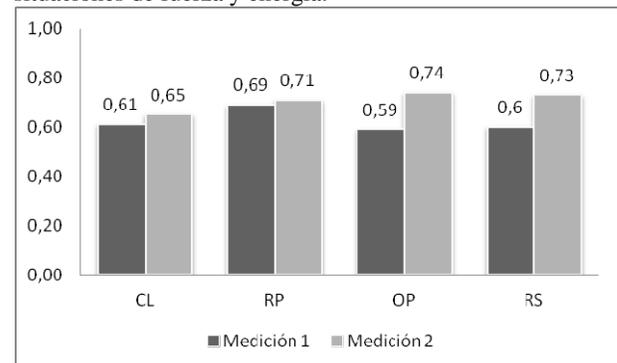


Figura 3. Desempeño promedio según categorías en situaciones de fuerza y energía.

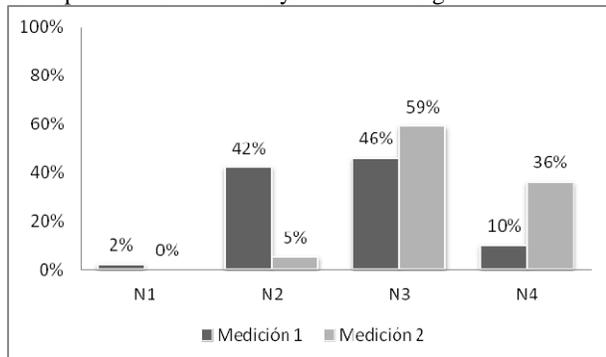


Para determinar grados de dominio en el CC de fuerza y energía, se analizó el desempeño de cada estudiante y asignó a un nivel de conceptualización, que representaría el grado de dominio alcanzado del CC, según una escala de cuatro niveles de conceptualización. La definición de niveles es la siguiente. Nivel 1: Ausencia de invariantes operatorios en el uso de los conceptos de fuerza y energía, o reconocimiento sin explicitación de significados. Nivel 2: Reconocimiento de los conceptos y explicitación parcial de significados; Nivel 3: Transición entre un reconocimiento y significación parcial con aplicación a situaciones; Nivel 4: Aprehensión de los conceptos para el nivel de instrucción.

La asignación de cada estudiante a un nivel de conceptualización se determinó a partir del puntaje de desempeño promedio obtenido en el conjunto 34 ítems de conceptualización. Luego, se definió una escala de 0 a 4 puntos, con rangos de variación para cada nivel de conceptualización. Al Nivel 1 le corresponden valores entre 0 y 0,99; Nivel 2 de 1,00 a 1,99; Nivel 3 de 2,00 a 2,99 y Nivel 4 de 3,00 a 4,00 respectivamente.

En la Figura 4, se presenta el porcentaje de estudiantes según niveles de conceptualización al inicio y final de la asignatura.

Figura 4. Porcentaje de estudiantes por nivel de conceptualización al inicio y final de la asignatura.



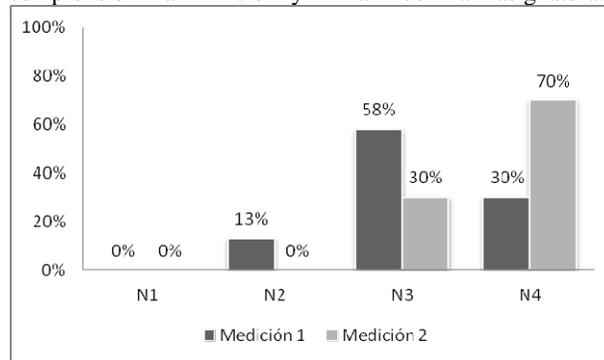
Al inicio de la asignatura el 90% de los estudiantes se ubica en los niveles más bajos de conceptualización. En cambio, al final de ésta el 95% de los estudiantes alcanza los dos niveles más altos de conceptualización. Por otra parte, al momento de la segunda medición, un número mayor de estudiantes se ubica en los niveles N3 y N4 de conceptualización. Este resultado es significativo estadísticamente respecto de la medición inicial en los niveles N3 y N4 ($Z_c = 8,78$; $p < 0,00$).

Rasgos de la comprensión de fuerza y energía

Para describir grados de comprensión de los significados científicos de los conceptos del CC, se definieron cuatro niveles de comprensión. Nivel 1: Incomprensión, Nivel 2: Comprensión incipiente, Nivel 3: Comprensión parcial y Nivel 4: Comprensión. Con este fin, se analizaron los puntajes obtenidos por cada estudiante, en cada una de las mediciones, y luego se normalizaron según una nueva escala de 0 a 1. Así, un estudiante en el rango 1,00 a 0,75, está en el nivel de comprensión; entre 0,74 a 0,50 en un nivel de comprensión parcial; entre 0,49 a 0,25 en un nivel de comprensión incipiente, y menor a 0,25 en un nivel de incomprensión de significados científicos.

En la Figura 5 se muestra el porcentaje de estudiantes según niveles de comprensión medidos al inicio y final de la asignatura.

Figura 5. Porcentaje de estudiantes por nivel de comprensión al inicio y final de la asignatura.

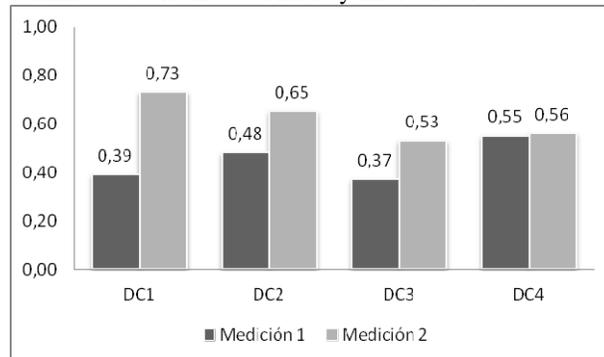


Se observan importantes diferencias significativas. Al inicio de la asignatura el 70% de los estudiantes se ubica en los niveles incipiente y parcial de comprensión de significados científicos, sólo un 30% de los estudiantes está en el nivel de comprensión. Al final de la asignatura, el nivel máximo de comprensión es logrado por el 70% de los estudiantes. Esta diferencia es estadísticamente significativa ($Z_c = 9,76$; $p < 0,00$).

Análisis de los significados adquiridos de fuerza y energía

En la Figura 6, se presenta para los momentos de inicio y final de la asignatura, el desempeño promedio de los estudiantes, en los cuatro dominios conceptuales definidos para este estudio del CC de fuerza y energía. Se observan diferencias de un mejor desempeño en los dominios conceptuales de álgebra vectorial (DC1), función-movimiento (DC2), y fuerza-movimiento (DC3). En efecto, al final de la asignatura, el desempeño en álgebra vectorial es significativamente mayor ($t_c = -10,71$; $p < 0,00$) respecto del desempeño inicial. Lo mismo, en el dominio que corresponde a función-movimiento DC2 ($t_c = -5,34$; $p < 0,00$) y DC3 y en dominio de fuerza-movimiento ($t_c = -7,14$; $p < 0,00$). Sin embargo, no se observa una diferencia significativa en el dominio conceptual DC4 de energía-movimiento.

Figura 6. Desempeño promedio de los estudiantes según dominios de contenidos al inicio y final del curso.



5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En general, al momento de la segunda medición, transcurrido un periodo anual de enseñanza, sólo un 36% de los estudiantes de la muestra avanza a un nivel superior de conceptualización, que corresponde a una aprehensión de los conceptos de fuerza y energía definidos para este estudio. La mayoría de los estudiantes (59%) se ubica en el nivel de transición, entre un reconocimiento y significación parcial con aplicación a situaciones.

Al inicio de la asignatura, pareciera que los estudiantes no usan esquemas en acuerdo con significados científicos al enfrentar las situaciones planteadas en el cuestionario. Se observa que la mayoría de los estudiantes abordan las situaciones desde invariantes para fuerza y energía, sin acomodarlos a esquemas más generales, que representen los conceptos de álgebra vectorial y función. Posiblemente, los estudiantes aún no logran construir esquemas que asimilen significados matemáticos claves para dar significado a situaciones en que intervienen los conceptos de fuerza y energía.

Otro aspecto de destacar, es el bajo grado de comprensión y el uso erróneo inicial de los conceptos pertenecientes al CC de fuerza y energía definido en este estudio. La comprensión de la mayoría de los estudiantes se sitúa en niveles de comprensión incipiente y comprensión parcial de significados científicos, con desempeños menores a 0,40 en los dominios conceptuales de álgebra vectorial y fuerza-movimiento. Este rasgo es coherente con los resultados de conceptualización y pareciera caracterizar el punto de partida de un proceso de aprendizaje significativo progresivo (Caballero, 2004; 2009).

Al inicio de la asignatura, el conocimiento previo de los estudiantes se caracteriza por un predominio de conocimientos en acción asociados a procedimientos de cálculo, con un bajo uso de representaciones simbólicas, y una comprensión parcial de significados científicos. Transcurrido un periodo de enseñanza se espera que la conceptualización evolucione hacia una mayor explicitación de conocimientos en acción de los esquemas asimilados o modificados. Esto debería manifestarse en una tendencia al equilibrio de los valores del desempeño en todas las categorías de análisis de las acciones sobre las situaciones.

Las diferencias cuantitativas entre los niveles de conceptualización al inicio y término de la asignatura, verifican una progresión de la conceptualización en el CC de fuerza y energía, que se relacionaría con resultados de aprendizaje adquiridos a través de la enseñanza.

Por otra parte, si se compara la adquisición de significados en los cuatro dominios conceptuales definidos para el CC de fuerza y energía, se observan cambios entre los desempeños, en los dominios conceptuales de álgebra vectorial, función-movimiento y fuerza-movimiento. Sin embargo, no se observan variaciones de desempeño en el dominio conceptual de energía-movimiento. Pareciera que los contenidos de energía-movimiento presentados lo largo del proceso de enseñanza, no afecta favorablemente la asimilación de nuevos significados, ni amplía el repertorio de esquemas para enfrentar situaciones que involucren a estos conceptos. Se evidencia una leve adquisición de significados que enriquece la estructura conceptual de los

estudiantes participantes con retención del conocimiento (Ausubel, 2002). Esto debido a que el modo de enfrentar las situaciones tendería a una aplicación repetida de los mismos esquemas.

En general, los resultados discutidos, describen rasgos característicos de una pauta de progresión del aprendizaje de estos conceptos fundamentales de física, y confirma que la TCC parece aplicarse adecuadamente en investigaciones de aprendizaje significativo de ciencias.

Los resultados de este estudio pueden aportar conocimiento práctico para el desarrollo del currículo y la elaboración de estrategias de enseñanza para un aprendizaje significativo de conceptos de física (Moreira, 2008).

REFERENCIAS

Ausubel, D. (2002). Adquisición y retención del conocimiento. Una perspectiva cognitiva. Barcelona: Paidós.

Caballero, M^a.C. (2004). La progresividad del aprendizaje significativo. En M. A. Moreira, M^a. C. Caballero y M^a. L. Rodríguez Palmero. (Eds.) *Aprendizaje significativo: Interacción personal, progresividad y lenguaje* (49-66 pp.). Burgos: Universidad de Burgos.

Caballero, M^a.C. (2009). Investigaciones en enseñanza de la física desde la perspectiva de los campos conceptuales. En M. A. Moreira, M^a. C. Caballero y G. Vergnaud. (Eds.) *La teoría de los campos conceptuales y la enseñanza/aprendizaje de las ciencias* (55-97 pp.). Burgos: Universidad de Burgos.

Covián, E. y 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*, 26 (1), 23-42.

Cronbach, L. J., (1967). Coefficient alpha and internal structure of tests. En W.A. Mehrens y R.L. Lebel (Org.) *Principles of educational and psychological measurement*. Chicago: Rand McNally.

Greca, I. y Moreira, M.A. (2002). Além da detecção de modelos mentais dos estudantes. Uma proposta representacional integradora, *Investigações em Ensino de Ciências*, 7 (1), 31-53.

Hestenes, D., Vells, M. y Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30 (3), 141-158.

Llancaqueo, A., Caballero, C. y Moreira, M.A. (2003). El aprendizaje del concepto de campo en física: una investigación exploratoria a la luz de la teoría de Vergnaud. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25 (4), 399-417.

Llancaqueo, A., Caballero, C. y Alonqueo, P. (2007). Conocimiento previo en física de estudiantes de ingeniería. *Enseñanza de las Ciencias*, 25 (2), 205-216.

Llancaqueo, A., Caballero, C. y Moreira, M.A. (2009). Conceptualización inicial de los conceptos de fuerza y energía. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica

de las Ciencias, Barcelona, 2598-2603. <http://ensciencias.uab.es/congreso09/numeroextra/art-2598-2603.pdf>.

Moreira, M.A. (2008). Conceptos en la educación científica: ignorados y subestimados. España, *Curriculum*, 21, 9-26.

Mora, C. y Herrera, D. (2009). Una revisión sobre ideas previas del concepto de fuerza. *Lat. Am. J. Phys. Educ.* 3 (1), 72-86.

Moreira, M.A. (2002). A Teoría dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área, *Investigações em Ensino de Ciências*, 7 (1), 7-29.

Oliva, J. (2001). Distintos niveles de análisis para el estudio del cambio conceptual en el dominio de la mecánica. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (1), 89-102.

Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10 (23), 133-170.

Vergnaud, G. (1996). Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno a la didáctica. *Perspectivas*, 26 (10), 195-207.

Vergnaud, G. (1998). A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behaviour*, 17 (2), 167-181.

Vergnaud, G. (2007). ¿En qué sentido la teoría de los campos conceptuales puede ayudarnos para facilitar aprendizaje significativo?, *Investigações em Ensino de Ciências*, 12 (2), 285-302.

Vergnaud, G. (2009). The theory of conceptual fields. *Human Development*, 52, 83-94.

Vygotski, L. S. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona: Editorial Crítica.

Vygotsky, L. (1986). Aprendizaje y desarrollo intelectual en la edad escolar. En Luria, Leontiev y Vygotsky, *Psicología pedagógica* (23-39 pp.). Madrid: Akal.

Vygotski, L. S. (1995). *Pensamiento y lenguaje*. Barcelona: Paidós.

Nota: Este trabajo ha sido financiado por la Universidad de La Frontera, Proyecto D110-0048 y Proyecto Mecesup FRO0603.

ANEXO

Ejemplo de algunas situaciones del Cuestionario

Situación 1: Considera los siguientes conjuntos de magnitudes físicas.

- I. Masa, energía, carga eléctrica
- II. Temperatura, fuerza, campo eléctrico
- III. Velocidad, campo gravitatorio, desplazamiento

¿Cuál (es) de estos conjuntos de magnitudes físicas son vectoriales?

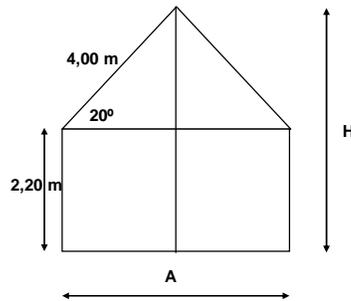
Es o son verdaderas:

- A) Sólo I
- B) I y II
- C) Sólo III
- D) II y III

Situación 2: La siguiente figura muestra el perfil del plano de una casa. La longitud del techo es 4,00 m y su ángulo de inclinación es de 20° .

¿Cuánto valen la altura H y el ancho A de la casa?

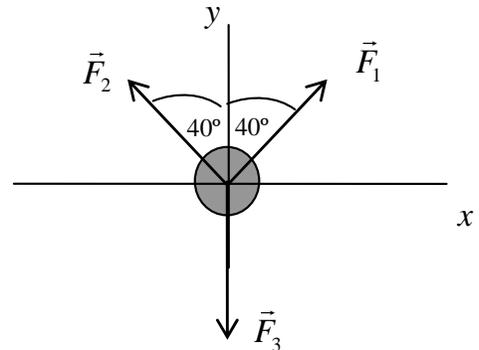
- A) H = 1,37 m y A = 3,76 m
- B) H = 3,57 m y A = 7,52 m
- C) H = 3,76 m y A = 1,37 m
- D) H = 7,52 m y A = 3,57 m



Situación 6: Tres fuerzas \vec{F}_1 , \vec{F}_2 y \vec{F}_3 actúan simultáneamente sobre un disco de 2 kg de masa ubicado sobre una superficie horizontal sin roce como se muestra en la figura. El módulo de la fuerza \vec{F}_3 es 10 N y los módulos de las fuerzas \vec{F}_1 y \vec{F}_2 son desconocidos.

Si los módulos de las fuerzas \vec{F}_1 y \vec{F}_2 valen también 10 N respectivamente
¿Cuál es la dirección y sentido de la fuerza neta sobre el disco?

- A) \hat{j}
- B) $-\hat{j}$
- C) \hat{i}
- D) $-\hat{i}$



Situación 7: Pedro va conduciendo su auto por la carretera. De pronto, el motor deja de funcionar y el auto comienza a disminuir su velocidad hasta quedar detenido en medio de la carretera. A continuación, Pedro intenta mover el auto empujándolo para sacarlo de la carretera y llevarlo hasta la orilla en la berma, pero el auto no se mueve a pesar de su esfuerzo.

De las siguientes afirmaciones. ¿Cuál crees tú es la afirmación que mejor explica que Pedro no logre mover el auto?

- A) La poca fuerza de Pedro.
- B) La fuerza de Pedro no es suficiente para superar la inercia.
- C) La fuerza que ejerce Pedro no logra igualar la fuerza de roce.
- D) La fuerza que ejerce Pedro no es suficiente para igualar la fuerza de roce estática máxima.



Situación 9: Si dejamos caer al mismo tiempo desde la ventana de un octavo piso dos esferas metálicas de igual tamaño, pero de distinto peso, por ejemplo, una de aluminio y otra de hierro.

Según tú opinión:

- A) La esfera de aluminio llegará primero al suelo.
- B) La esfera de hierro llegará primero al suelo.
- C) Las dos esferas llegarán al suelo al mismo tiempo.
- D) Las dos esferas llegarían al suelo al mismo tiempo, sólo en el caso que las esferas tuvieran igual peso.

Si las esferas cayeran sobre un suelo de arena. ¿Cuál de las dos esferas se hundiría más en la arena? Analiza las siguientes respuestas, dadas por estudiantes mechones de la UFRO y selecciona aquella que para ti representa la mejor respuesta.

- A) Se hunde más la esfera de hierro, porque cae con mayor fuerza que la esfera de aluminio.
- B) Se hunde más la esfera de hierro, porque al tener más peso también tiene mayor masa.
- C) Se hunde más la esfera de hierro, porque tiene mayor energía que la esfera de aluminio.
- D) Se hunde más la esfera de hierro, debido a que por su mayor masa tiene mayor energía cinética, aunque ambas esferas impactan el suelo con igual velocidad.

Situación13: Considera las siguientes frases escritas por estudiantes mechones de la UFRO en que aparece la palabra *energía*.

- I. La energía calórica generada por el roce es la causa del encendido de un fósforo.
- II. Una pila es una fuente de energía.
- III. La energía ejercida por la piedra quebró el vidrio de la ventana.
- IV. Al explotar una granada se libera mucha energía.

¿En cuáles frases la palabra *energía* es usada correctamente de acuerdo a sus significados científicos?

- A) I, II, III y IV
- B) I, II y IV
- C) I y II
- D) II, III y IV

Alfonso Llancaqueo

Profesor de Ciencias Naturales y Física por la Pontificia Universidad Católica de Chile. Magister en Física por la Universidad Austral de Chile y Doctor en Enseñanza de las Ciencias por la Universidad de Burgos, España. En la actualidad, es profesor del Departamento de Ciencias Físicas de la Universidad de La Frontera, Chile. Dirige la línea de investigación en Enseñanza de la Física. Sus trabajos de investigación se han centrado en el aprendizaje, enseñanza de la física e innovación curricular de ciencias en la educación superior.