

# PROGRESIVIDAD DEL APRENDIZAJE DE FUERZA Y ENERGÍA MECÁNICA

Alfonso Llancaqueo, Walter Lebrecht

*Departamento de Ciencias Físicas, Universidad de La Frontera, Chile*  
allanca@ufro.cl, lebrecht@ufro.cl

Carlos Jiménez-Gallardo

*Departamento de Matemática y Estadística, Universidad de La Frontera, Chile*  
cjimenez@ufro.cl

**RESUMEN:** Se informan resultados de un estudio exploratorio realizado para describir la progresividad en el aprendizaje de significados científicos de los conceptos fuerza y energía en un curso de física. Los participantes son 260 estudiantes de ingeniería, de una asignatura inicial de física, identificados con necesidades de nivelación de conocimientos y competencias para un aprendizaje significativo de la física. El marco teórico adoptado es la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud (TCC). Los resultados obtenidos describen rasgos del conocimiento de los estudiantes al inicio de la asignatura, y rasgos del aprendizaje de significados científicos adquiridos durante el desarrollo de la enseñanza.

**PALABRAS CLAVES:** Aprendizaje de conceptos; aprendizaje significativo; campos conceptuales de Vergnaud.

## OBJETIVOS

El objetivo del presente estudio es describir avances en el aprendizaje de significados de los conceptos de fuerza y energía mecánica, en el contexto de una asignatura introductoria de física, realizada con estudiantes de ingreso de ingeniería.

## MARCO TEÓRICO

El referencial usado es la teoría de los campos conceptuales (TCC) de Vergnaud. Según este enfoque, lo central de la cognición es la conceptualización organizada en esquemas de asimilación (Vergnaud, 1990; 1998; 2007; 2009). El conocimiento se organiza en campos conceptuales (CC), que se asimilan a lo largo del tiempo. Los CC son conjuntos de situaciones, que para su análisis requiere de conceptos, representaciones simbólicas, operaciones de pensamiento y procedimientos que interactúan durante el aprendizaje (Vergnaud, 1998). Una situación se concibe como un conjunto de tareas y problemas que determinan procesos cognitivos.

La TCC destaca el aprendizaje de conceptos científicos, pues éstos permiten cambiar el estatuto cognitivo de los esquemas de asimilación (Vergnaud, 1998). La relación entre aprendizaje y desarrollo cognitivo se explica a través del concepto de zona de desarrollo próximo (Vygotsky, 1989; 1995). La aplicación de este enfoque en el aprendizaje y enseñanza de las ciencias, supone enfrentar a los estu-

---

diantes a situaciones-problemas que faciliten el desarrollo y la acomodación de esquemas, que ayuden a la conceptualización y la comprensión de significados científicos (Caballero, 2004; Moreira, 2002).

Desde la perspectiva de la física, los conceptos de fuerza y energía son claves en la descripción de situaciones de movimiento de un cuerpo. En el caso de fuerza y movimiento, una situación-problema de movimiento de un cuerpo, es descrita conceptualmente por los principios de Newton, y su resolución involucra un aprendizaje conceptual y metodológico de los significados científicos de un conjunto de conceptos como posición, velocidad, aceleración, masa y otros, los cuales se relacionan mediante una formulación matemática vectorial. En el caso de energía mecánica y movimiento, este mismo fenómeno, se describe usando conceptos tales como trabajo, potencia, energía cinética, energía potencial, y principios de conservación, los cuales se relacionan a través de teoremas, mediante una formulación escalar.

En consecuencia, desde la TCC y marco conceptual de la física, el aprendizaje de los conceptos de fuerza y energía mecánica aplicados al movimiento, puede interpretarse como la adquisición y dominio de un CC. Lo anterior, hace necesario que las situaciones-problema, sean instrumentos de significación y articulación para la organización de la enseñanza y el currículo (Moreira, 2008). Además, deben facilitar el uso instrumental de las representaciones vectoriales y escalares de los conceptos para otorgar significado a los principios de Newton y teoremas de trabajo y energía (Llancaqueo, Caballero y Moreira, 2003).

## METODOLOGÍA

### Contexto de la investigación

Los eventos de investigación de este estudio, ocurren durante el desarrollo de la asignatura semestral *Fundamentos de Física*. Su diseño define un itinerario de aprendizaje significativo progresivo a través de la resolución de situaciones-problemas de fuerza y energía mecánica (Caballero, 2004; Ausubel, 2002). Las unidades y contenidos son: *Unidad 1. Elementos de matemática para la física*. Incluye los conceptos de función, elementos de trigonometría y álgebra vectorial. *Unidad 2. Fuerza y movimiento*. Incluye los conceptos de posición, velocidad y aceleración, fuerza, masa, Principios de Newton y ecuación de movimiento. El objetivo de la unidad es construir una base conceptual y metodológica para enfrentar situaciones-problemas solución de la ecuación de movimiento de una partícula para diferentes condiciones iniciales. *Unidad 3. Energía y movimiento*. Incluye los conceptos de trabajo, potencia, energía cinética, fuerzas conservativas y no-conservativas, energía potencial y teoremas de conservación de la energía mecánica. El propósito es construir un marco conceptual y metodológico, afín con los principios de Newton para resolver situaciones-problemas de movimiento.

### Participantes

260 estudiantes del curso *Fundamentos de Física* de carreras de Ingeniería de la Universidad de La Frontera, Chile. La asignatura fue impartida a ocho grupos de estudiantes. La enseñanza de cada grupo estuvo a cargo de un profesor, investigador en física.

### Recogida de datos

El diseño de la investigación corresponde a un diseño descriptivo, con una muestra no probabilística, constituida por estudiantes que cursan la asignatura por primera vez. La recogida de datos se realizó en cuatro momentos: al inicio de la asignatura y al término de cada unidad de enseñanza.

---

## Instrumentos y procedimiento

En el estudio del conocimiento inicial, se usó un cuestionario ad-hoc, que analiza el aprendizaje de conceptos científicos en el sentido descrito por la TCC. En su elaboración se adaptaron procedimientos usados en otras investigaciones de aprendizaje de conceptos (Llancaqueo, Caballero y Moreira, 2003; Llancaqueo, Caballero y Alonqueo, 2007). El cuestionario explora cuatro dominios conceptuales: función y trigonometría; álgebra vectorial; fuerza y movimiento; y energía y movimiento. Contiene 24 preguntas con cuatro alternativas de respuesta que jerarquizan la comprensión de significados. El cuestionario se administró colectivamente en un aula y duró 60 min. En el estudio de progresividad en el aprendizaje, se usaron tres cuestionarios de evaluación. Cada cuestionario contiene 16 preguntas, con cinco alternativas de respuesta y 4 preguntas de respuesta abierta.

## Análisis de los datos

Se asignó una puntuación 1 a las respuestas correctas, en acuerdo con significados científicos y 0 a las repuestas incorrectas. Para establecer la existencia de diferencias significativas en la progresividad del aprendizaje se utilizó la prueba para datos pareados de Wilcoxon.

## RESULTADOS

### Aprendizaje de elementos matemáticos para la física

En la Tabla 1, se presenta la evolución del porcentaje promedio del desempeño, en acuerdo con significados científicos, obtenido por los estudiantes en elementos matemáticos para la física, al término de la primera unidad de enseñanza (Eval. 1).

Tabla 1.  
Evolución del promedio general de desempeño  
por sub-dominios en elementos de matemática para la física.

| Sub-dominio | Función |         | Trigonometría |         | Álgebra vectorial |         |
|-------------|---------|---------|---------------|---------|-------------------|---------|
|             | Inicial | Eval. 1 | Inicial       | Eval. 1 | Inicial           | Eval. 1 |
| Promedio    | 35,0%   | 62,1%   | 57,2%         | 71,8%   | 35,0%             | 39,6%   |
| Desv.tip.   | 24,7%   | 25,8%   | 24,6%         | 33,5%   | 26,6%             | 22,4%   |
| Dif.        |         | 27,1%   |               | 14,6%   |                   | 4,6%    |
| W - Sig.    | 9,789   | 0,000   | 5,146         | 0,000   | 2,310             | 0,021   |

Se observa mayores valores de desempeño en cada sub-dominio, estadísticamente significativo respecto del estado inicial. Este resultado hace suponer avances en el aprendizaje y dominio de estos contenidos, necesarios para un aprendizaje significativo de determinación y solución de la ecuación de movimiento. El menor incremento del desempeño en álgebra vectorial, podría indicar la existencia de dificultades de asimilación y aplicación de significados de los conceptos de función y trigonometría a los conceptos de álgebra vectorial.

## Aprendizaje de fuerza y movimiento

Al término de la Unidad 2, tal como se muestra en la Tabla 2, también se observa un incremento de los desempeños en este dominio conceptual, respecto del desempeño inicial.

Tabla 2.  
Evolución del promedio general de desempeño  
por subdominios conceptuales para el dominio fuerza y movimiento

| Sub-dominio | Cinemática |         | Fuerzas constantes |         | Fuerzas variables |         | Cond. iniciales soluc. ec. mov |         |
|-------------|------------|---------|--------------------|---------|-------------------|---------|--------------------------------|---------|
|             | Inicial    | Eval. 2 | Inicial            | Eval. 2 | Inicial           | Eval. 2 | Inicio                         | Eval. 2 |
| Promedio    | 38,8%      | 58,8%   | 39,6%              | 58,6%   | 8,0%              | 50,3%   | 15,6%                          | 31,6%   |
| Desv.tip.   | 29,0%      | 27,0%   | 30,9%              | 33,1%   | 27,9%             | 31,6%   | 22,0%                          | 25,5%   |
| Dif.        |            | 20,0%   |                    | 19,0%   |                   | 42,3%   |                                | 16,0%   |
| W - Sig.    | 7,471      | 0,000   | 6,283              | 0,000   | 10,675            | 0,000   | 6,684                          | 0,000   |

Si se observan los promedios de desempeños en la Eval. 2, destaca el menor desempeño en el sub-dominio condiciones iniciales y solución de la ecuación de movimiento. A su vez, este desempeño presenta una menor progresión. Este resultado indicaría que la acción de los estudiantes en la resolución de situaciones-problemas de fuerza y movimiento, evidencia aún un aprendizaje y comprensión parcial de significados científicos.

## Aprendizaje de energía y movimiento

En el caso de energía y movimiento (Eval. 3), el comportamiento general del desempeño no muestra la misma tendencia observada en fuerza-movimiento.

Tabla 3.  
Evolución del promedio general de desempeño  
por subdominios conceptuales para el dominio energía y movimiento

| Sub-dominio | Trabajo |         | Trabajo y energía |         | Conservación energía |         |
|-------------|---------|---------|-------------------|---------|----------------------|---------|
|             | Inicial | Eval. 3 | Inicial           | Eval. 3 | Inicial              | Eval. 3 |
| Promedio    | 49,0%   | 52,6%   | 50,8%             | 44,2%   | 37,7%                | 36,2%   |
| Desv.tip.   | 50,1%   | 27,5%   | 30,5%             | 28,5%   | 35,2%                | 26,4%   |
| Dif.        |         | 3,6%    |                   | -6,5%   |                      | -1,5%   |
| W - Sig.    | 1,129   | 0,259   | -2,397            | 0,017   | -0,458               | 0,647   |

En este caso, no se observa un crecimiento en el desempeño promedio en todos los sub-dominios. Si bien, en los sub-dominios trabajo y conservación de la energía, existe una variación progresiva, éstas no son estadísticamente significativas. Por otra parte, en trabajo y energía, la progresión es negativa, con una diferencia estadísticamente significativa. Evidentemente, este resultado podría suponer dificultades de asimilación de significados de estos conceptos aplicados a situaciones-problemas de movimiento.

---

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten determinar una pauta de progresividad del aprendizaje de significados científicos en el CC de fuerza y energía mecánica aplicado a situaciones de movimiento de un cuerpo.

La evolución de los desempeños de los estudiantes muestra, que a medida que la enseñanza avanza, aparecen diferencias evidentes de aprendizajes logrados, que se expresan en los distintos momentos analizados (Eval. 1, 2 y 3). Esto permitiría verificar una progresividad que se relacionaría con logros de aprendizaje significativo, mediados por la organización de la enseñanza (Caballero, 2004; 2009; Ausubel, 2002). A modo de hipótesis, la enseñanza basada en situaciones-problema, promovería una progresión positiva del desempeño en los sub-dominios conceptuales definidos para fuerza y energía mecánica.

Esta hipótesis, se verifica en el aprendizaje logrado de contenidos de elementos de matemática para la física y de fuerza y movimiento. Sin embargo, el bajo desempeño en el sub-dominio de solución de la ecuación de movimiento, elemento clave, para una comprensión profunda de la mecánica, estaría condicionado por el desempeño en el sub-dominio de álgebra vectorial (Tablas 1 y 2). Este resultado es coherente con las menores progresiones del desempeño en cada uno de estos sub-dominios.

En el caso de energía y movimiento, la hipótesis anterior, no se aplica, pues los resultados obtenidos del desempeño, evidencian dificultades en el aprendizaje de este conjunto de conceptos. Estas dificultades podrían tener por origen, la complejidad mayor de los significados de los conceptos de trabajo y energía. Además, pareciera que los significados aprendidos de álgebra vectorial, resultarían aún insuficientes para favorecer la asimilación de significados de los conceptos de trabajo y energía como una progresividad en el aprendizaje de la mecánica (Moreira, 2008; Ausubel, 2002; Caballero, 2004).

Lo anterior, estaría mostrando que el modo de aprender mecánica y de resolver situaciones-problema de movimiento de cuerpos, tiende a estabilizarse por uso repetido de esquemas, propios de un aprendizaje conceptual y metodológico aplicable sólo al dominio conceptual de fuerza y movimiento.

Los resultados de este estudio pueden servir de guía y fundamento para evaluar y mejorar el diseño y aplicación de estrategias de enseñanza para un aprendizaje significativo progresivo de estos conceptos claves de física, en cursos iniciales de física

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ausubel, D. (2002). Adquisición y retención del conocimiento. Una perspectiva cognitiva. Barcelona: Paidós.
- Caballero, M<sup>a</sup>.C. (2004). La progresividad del aprendizaje significativo. En M. A. Moreira, M<sup>a</sup>. C. Caballero y M<sup>a</sup>. L. Rodríguez Palmero. (Eds.) *Aprendizaje significativo: Interacción personal, progresividad y lenguaje* (49-66 pp.). Burgos: Universidad de Burgos.
- Caballero, M<sup>a</sup>.C. (2009). Investigaciones en enseñanza de la física desde la perspectiva de los campos conceptuales. En M. A. Moreira, M<sup>a</sup>. 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.
- 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.
- Moreira, M. A. (2000). Aprendizaje significativo: teoría y práctica. Madrid: Visor.

- 
- 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.
- Moreira, M.A. (2004). Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. En M.A. Moreira y I. Greca. (Eds.) Sobre cambio conceptual, obstáculos representacionales, modelos mentales, esquemas de asimilación y campos conceptuales. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Moreira, M.A. (2008). Conceptos en la educación científica: ignorados y subestimados. España, *Curriculum*, 21, 9-26.
- Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10 (23), 133-170.
- 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 fiels. *Human Development*, 52, 83-94.
- Vygotski, L. S. (1989). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona: Editorial Crítica.
- Vygotski, L. S. (1995). *Pensamiento y lenguaje*. Barcelona: Paidós.
- Nota: Este trabajo ha sido financiado por la Universidad de La Frontera, Proyecto DI12-0067.*