

## ¿Fuerza autoextinguible? una secuencia didáctica orientada a la modelización para el aprendizaje de fuerza y movimiento en enseñanza media

Patricio Farfán-Muñoz<sup>1\*</sup>, Carla Hernández Silva<sup>2</sup>

### Resumen

Se diseñó y validó una secuencia de enseñanza y aprendizaje (SEA) centrada en la modelización del concepto de fuerza. La SEA se estructuró en torno a la estrategia POE (Predecir, Observar, Explicar), complementada con el estudio de aspectos históricos de los modelos de fuerza y movimiento. Las actividades buscaban promover la construcción progresiva de un Modelo Científico Escolar (MCE) de fuerza, de forma acorde a los estándares curriculares chilenos. El análisis de los modelos mentales del estudiantado, antes y después de la implementación, reveló que la SEA favoreció cambios en las respuestas que permiten inferir en el corto plazo un acercamiento entre estos modelos y el MCE, incluso en aquellos estudiantes que no mostraron cambios "discretos" de un nivel a otro. Sin embargo, la prevalencia de un Modelo de Fuerza Impresión Autoextinguible (MFE) -descrita en Farfán, 2023- mantuvo su predominancia, situación que se aborda en las reflexiones finales.

**Palabras clave:** Fuerza y movimiento, modelización, secuencia didáctica

*1 Liceo Francisco de Aguirre B-8, Calama.*

*2 Universidad de Santiago de Chile*

[patricio.farfan@ug.uchile.cl](mailto:patricio.farfan@ug.uchile.cl)

## 1. Introducción

El aprendizaje de los conceptos de fuerza y movimiento ha sido ampliamente estudiado, dada su importancia en la enseñanza de la física y las dificultades que presentan para ser enseñados y aprendidos (Farfán & Hernández, 2024). Investigaciones previas como el metaanálisis realizado por Yadak (2020) presentan la modelización como una metodología efectiva para promover la construcción de modelos sobre fuerza en estudiantes. Sin embargo, parece haber escasez de estudios sobre el tema en estudiantes de enseñanza media en Chile (Farfán, 2023). En el contexto de un trabajo de grado para la obtención del grado de Magíster en Didáctica de las Ciencias Experimentales, se diseñó y validó una secuencia de enseñanza y aprendizaje cuyos resultados se muestran en los siguientes apartados.

## 2. Metodología

Este trabajo se enmarca en un trabajo para la obtención del grado de Magíster en Didáctica de las Ciencias Experimentales, y se trata de un estudio exploratorio de carácter cualitativo (R. Hernández et al., 2014). Contó con la participación de 21 estudiantes de un liceo municipal de entre 15 y 16 años, como parte de la implementación de una unidad curricular mayor sobre Fuerza y movimiento en horario regular de la asignatura.

Se diseñó y validó una secuencia de enseñanza y aprendizaje (SEA) enfocada en la modelización del concepto de fuerza, con observaciones iniciales y finales de los modelos mentales del estudiantado. Para ello, se propone un Modelo Científico Escolar (MCE), a partir de ideas clave en forma similar a la descrita por Soto (2019), integrando tres fuentes relevantes para la práctica: el programa curricular vigente (MINEDUC, 2016), los estándares orientadores para carreras de pedagogía (CPEIP, 2022) y las 10 grandes ideas de la Ciencia (Harlen, 2010).

Estas ideas clave son:

1. Las fuerzas son interacciones entre cuerpos u objetos que se pueden cuantificar y representar gráficamente.
2. El roce es una interacción entre dos cuerpos, siempre que haya contacto entre ellos.
3. Cuando un objeto se mueve respecto de otro estando en contacto mutuamente, la fuerza de roce actúa en dirección contraria al movimiento relativo entre los cuerpos.
4. Cuando un cuerpo interactúa con dos o más cuerpos distintos de su entorno, su efecto en conjunto sobre el primer cuerpo puede ser entendido y representado equivalentemente como una única interacción entre el cuerpo y su entorno, llamada fuerza neta.
5. La fuerza neta es la suma vectorial de las fuerzas ejercidas por el entorno sobre un cuerpo. Si es cero, el cuerpo está equilibrado, si no, está fuera de equilibrio.
6. En el movimiento unidimensional, un cuerpo aumentará, disminuirá, o mantendrá su rapidez dependiendo de la relación cuantitativa entre el roce y el resto de las interacciones entre un cuerpo y su medio.

La SEA se estructuró en torno a la estrategia POE (Predecir, Observar, Explicar) para la modelización, complementada con el estudio de aspectos históricos de los modelos de fuerza y movimiento, según se especifica en Farfán (2023).

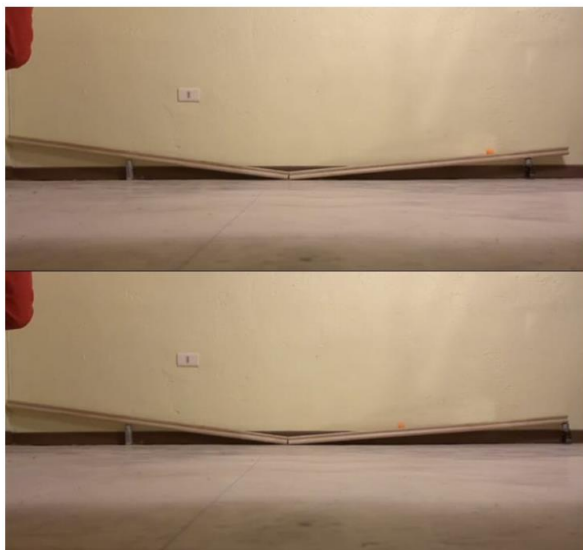
Las actividades de la SEA aquí descritas, corresponden al estudio de ciertas situaciones o sistemas mediante el ciclo POE, cuyo resultado de aprendizaje esperado se detalla en la tabla 1.

**Tabla 1**

*Esquemización del proceso de modelización mediante la estrategia POE. Adaptada de Farfán (2023)*

Sesión	Situación a estudiar	Resultado de aprendizaje esperado
1	POE 1. Competencia de “tirar la cuerda” con fuerzas no equilibradas. POE 2. Competencia de “tirar la cuerda” con fuerzas equilibradas.	Dos situaciones distintas involucrando un mismo cuerpo tienen resultados equivalentes si la fuerza neta es igual. Dos fuerzas de igual magnitud y sentido opuesto aplicadas sobre un mismo cuerpo se anulan, es decir, resultan en una fuerza neta nula.
2	POE 3. Comparación de distancias recorridas por rampas acopladas variando la inclinación de la rampa ascendente.	En ausencia de fuerzas desequilibradas, los cuerpos en movimiento tienden a mantenerlo.
3	POE 4. Movimiento de un deslizador de aire sobre un riel con y sin roce. POE 5. Movimiento de un trineo sobre nieve.	En ausencia de fuerzas desequilibradas, los cuerpos en movimiento tienden a mantenerlo. Si un cuerpo cambia su movimiento se debe a la acción de una fuerza neta no nula.

A modo de ejemplo, se describe a continuación el detalle una actividad de la sesión 2, luego de realizar un abordaje histórico de las investigaciones realizadas por Galileo Galilei sobre el movimiento. Dados los dos montajes experimentales de la figura, donde se deja caer una bolita desde una rampa por el lado izquierdo, se solicita a las y los estudiantes que predigan cómo variará la distancia recorrida en la rampa derecha antes de detenerse. Esto se muestra en las figuras 1 y 2.

**Figura 1***Primera parte del ciclo POE 3*

Situación experimental 1: Se compara la distancia recorrida por la bolita por la rampa ascendente cuando esta tiene igual inclinación y menor inclinación que la rampa descendente.

**Predice:** ¿Cómo crees que será la distancia recorrida por la pelota en la rampa ascendente en comparación a la rampa descendente? ¿Mayor, menor o igual? ¿Cómo justificas tu predicción?

**Observa:** ¿Cómo se compara la distancia recorrida en la rampa ascendente cuando esta tiene menor inclinación que la rampa descendente?

Distancia recorrida en rampa ascendente con igual inclinación:

Distancia recorrida en rampa ascendente con menor inclinación:

Comparación:

**Explica:** A partir de los resultados de Galileo sobre la altura inicial y final de las bolitas, ¿cómo explicarías lo observado?

**Figura 2***Segunda parte del ciclo POE 3*

Situación experimental 2: Se estima la distancia recorrida por la bolita cuando la segunda rampa queda en forma horizontal.

**Predice:**

¿Cómo será la distancia recorrida si la segunda rampa carece de inclinación, quedando en forma horizontal, como muestra la figura?



**Observa:** ¿Cómo fue la distancia recorrida en la rampa horizontal?

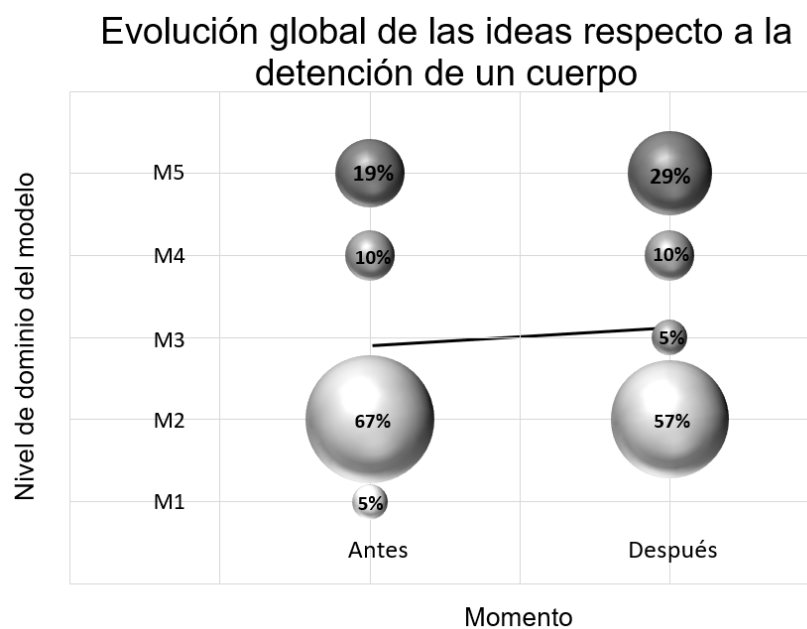
**Explica:** A partir de los resultados de Galileo sobre la altura, ¿cómo explicarías lo observado?

### 3. Resultados

El análisis de los modelos mentales del estudiantado, antes y después de la implementación de la SEA, mostró que predominaban modelos incompatibles con el MCE propuesto, fuertemente asociados a la idea de "fuerza impresa autoextinguible" (Farfán, 2023). Estos resultados se muestran en la figura 3.

**Figura 3**

*Resultados de la implementación de la SEA, primera iteración. Elaboración propia a partir de Farfán (2023)*



### 4. Discusión

Sobre el análisis de los modelos mentales del estudiantado, se encontró que antes y después de la implementación de la SEA, predominaban modelos incompatibles con el MCE, fuertemente asociados a la idea de "fuerza impresa autoextinguible" (Farfán, 2023), es decir, que el movimiento de un cuerpo se produce gracias a una "fuerza almacenada" que decae naturalmente hasta que un cuerpo se detiene. Dado que la aplicación de ideas compatibles con este modelo fue hallada como una de las mayores predictoras del fracaso académico en un curso de mecánica (Ramos et al. 2024),

se recomienda aplicar la metodología de modelización para acercar los modelos iniciales del estudiantado al MCE propuesto, complementando los ciclos de modelización con el trabajo de lectura y análisis de textos que aborden a la historia y la epistemología de la noción de Fuerza y movimiento.

Sobre la secuencia didáctica, se verifica la necesidad de complementar una validación teórica y empírica de las actividades que realizamos con nuestro estudiantado, ya que es en la experiencia donde aparecen las necesidades contextuales de cada estudiantado, y lo que puede parecer claro para los docentes no necesariamente lo es para el estudiantado. Esto se pone de manifiesto, por ejemplo, al momento de predecir: cuando no se entiende un sistema, no se pueden hacer predicciones sobre el mismo. Así, una misma situación o fenómeno puede ser más provechoso cuando se mejora una pregunta respondiendo al contexto y necesidades particulares.

Respecto del ciclo POE, este en sí mismo puede ser una estrategia efectiva para enseñar ciencia (Millán y López, 2011; Díaz-Delgado et. al, 2020), pero su uso no debe estar de otras competencias asociadas como lo son la argumentación y la indagación. Existen otros ciclos que integran de forma más explícita estas actividades, como el Ciclo de Modelización de Garrido-Espeja (2016) o el de Couso (2020).

Las secuencias didácticas constituyen herramientas imprescindibles para la planificación del proceso de enseñanza y aprendizaje, siendo incluso discutido si la elaboración y evaluación de las mismas corresponde al objetivo fundamental de la didáctica de las ciencias (Couso, 2011), que a su vez se puede considerar una ciencia en sí misma. Dada esta importancia, es crucial seguir investigando y perfeccionando estas estrategias para mejorar la enseñanza y el aprendizaje de conceptos fundamentales en física, como la fuerza y el movimiento. Para ello, existen marcos de análisis y demarcación de secuencias didácticas relacionadas a la modelización, como los propuestos por Aragón et al. (2018) o Teno & Couso (2023), entre otros.

Invitamos a la comunidad educativa y de investigación a colaborar activamente en el refinamiento de esta y otras secuencias didácticas, recordando que la construcción del conocimiento científico como fruto del trabajo conjunto es justamente una de las características de la Naturaleza de las Ciencias que intentamos promover.

## Referencias

- Aragón, L., Jiménez-Tenorio, N., Oliva-Martínez, J., & Aragón-Méndez, M. (2018). La modelización en la enseñanza de las ciencias: criterios de demarcación y estudio de caso. *Revista científica*, 32, 193-206. <https://doi.org/10.14483/23448350.12972>
- Couso, D. (2011). Las secuencias didácticas en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias: modelos para su diseño y validación. En *Didáctica de la Física y la Química* (Vol. 2, pp. 103–111).
- Couso, D. (2020). Aprender ciencia escolar implica construir modelos cada vez más sofisticados de los fenómenos del mundo. En D. Couso, M. R. Jiménez-Liso, C. Refojo y J. A. Sacristán (Coords.), *Enseñando Ciencia con Ciencia*. Penguin Random House / FECYT & Fundación Lilly.
- Díaz-Delgado, R., Menéndez-Proupin, E., Carreño, M., Díaz, R., & Lizana, K. (2020). Experiencia de clases activas en un curso de introducción a la mecánica en el ámbito universitario. *Libro de Actas ENDFi2020*.
- Farfán, P. (2023). Análisis del cambio en los modelos de fuerza en estudiantes de enseñanza media durante una secuencia de enseñanza y aprendizaje con énfasis en la modelización: Un estudio exploratorio [Tesis de maestría, Universidad Alberto Hurtado].
- Farfán, P., & Hernández, C. (2024). Modelos pre-instruccionales sobre fuerza y movimiento. En Quintanilla-Gatica & Adúriz Bravo (Eds.), *La actualidad del modelo cognitivo de ciencia escolar. Tributo a Mercè Izquierdo-Aymerich* (pp. 169-178). Editorial Bellaterra.
- Garrido Espeja, A. (2016). *Modelització i models en la formació inicial de mestres de primària des de la perspectiva de la pràctica científica* [Tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona]. [https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2016/hdl\\_10803\\_399837/age1de1.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2016/hdl_10803_399837/age1de1.pdf)
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill.
- Millán G., & López, N. (2011). Predecir, observar, explicar e indagar: estrategias efectivas en el aprendizaje de las ciencias. *Educación Química*, 9 (1), 4-12. <https://doi.org/10.2436/20.2003.02.63>
- MINEDUC. (2016). *Programa de Estudio Ciencias Naturales, Segundo Medio*. [https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-34453\\_programa.pdf](https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-34453_programa.pdf)
- MINEDUC. (2022). *Estándares Pedagógicos y Disciplinarios para Carreras de Pedagogía en Física. Educación Media*. <https://estandaresdocentes.mineduc.cl/wp-content/uploads/2022/02/EPD-Fisica.pdf>

- Ramos, M., Quesada, M., Peláez, J., & Henares, J. (2024). The influence of force misconceptions on engineering students' performance in university introductory physics courses. *EDUCA International Journal*, 1 (4), 61-74. <https://doi.org/10.55040/educa.v4i1.88>
- Soto, M. (2019). *Influencia de una propuesta formativa centrada en la modelización en la evolución del modelo científico escolar de energía en futuros docentes de física y matemática* [Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona].
- Tena, È., & Couso, D. (2023). ¿Cómo sé que mi secuencia didáctica es de calidad? Propuesta de un marco de evaluación desde la perspectiva de Investigación Basada en Diseño. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20 (2), 2801. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2023.v20.i2.2801](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i2.2801)
- Yadak, P. (2020). *A Meta-Analysis of Gender Gap on the FCI in High School and College Introductory Physics Courses in the US and International Countries* [Tesis doctoral, Universidad de San Francisco]. <https://repository.usfca.edu/diss/552>