

**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**

**Trabajo de graduación para optar al grado
de Magíster en Didáctica de las Ciencias
Experimentales**

Patricio Farfán Muñoz

Profesora guía: Carla Hernández Silva
Profesor coguía: Roberto Vidal Cortés

Santiago, Chile. 2023

RESUMEN	3
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 Revisión de Antecedentes	3
1.2 Formulación del Problema y pregunta de Investigación	6
2. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
3. MARCO DE REFERENCIA	7
4. MARCO METODOLÓGICO.	12
4.1 Enfoque y tipo de estudio	12
4.2 Selección de Participantes y Escenarios	12
4.3 Diseño de una SEA basada orientada a la modelización.	13
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de información.	13
4.5 Estrategia de análisis de datos	15
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
5.1 Caracterización de los modelos mentales iniciales y finales del estudiantado sobre el concepto de Fuerza.	15
5.2 Cambios a nivel individual entre las pruebas.	17
5.3 Cambios a nivel individual durante las clases.	20
6.CONCLUSIONES.	24
7. BIBLIOGRAFÍA.	26

RESUMEN

Los modelos en ciencia son sistemas conceptuales que sirven como herramientas de pensamiento, para comprender y actuar sobre diversos fenómenos. En particular, el aprendizaje de los modelos sobre Fuerza y movimiento ha sido extensamente estudiado a nivel internacional, posiblemente debido a su dificultad para ser enseñado y aprendido, en todos los niveles educativos. Algunas de estas investigaciones posicionan la modelización - entendida como una metodología de enseñanza que enfatiza el uso y refinamiento sucesivo de modelos mentales por parte del estudiantado- como una forma efectiva de promover la construcción de modelos sobre Fuerza (Yadak, 2020). No obstante lo anterior, parece haber una falta de estudios sobre el tema en estudiantes de enseñanza media. Así, se considera como un problema la escasa investigación local dedicada al tópico, por lo que se planteó como objetivo llevar a cabo una investigación exploratoria para analizar las características y los cambios que se dan en los modelos mentales del estudiantado durante la implementación de una secuencia de enseñanza y aprendizaje enfocada en modelización. Con un enfoque cualitativo, se diseñó y validó un instrumento de recolección de datos en forma de prueba, así como también se refinó una guía de trabajo para una secuencia de enseñanza y aprendizaje, recabando información sobre el proceso de 21 estudiantes de entre 15 y 16 años. Esta fue analizada mediante la estrategia de análisis de contenido desde dos perspectivas complementarias sobre cambios en los modelos mentales: una “discreta” y otra “continua”, más detallada. Los resultados muestran cambios desde modestos hasta radicales, predominando tanto antes como después de la implementación un modelo mental compatible con el modelo histórico de fuerza impresa autoextinguible. El análisis de los datos mostró que los cambios en los modelos mentales se presentan como un proceso gradual de modificación de sistemas conceptuales, siendo la modelización una opción viable para promoverlos. A partir de estos resultados, se proponen sugerencias para el diseño de secuencias de aprendizaje orientadas a la modelización sobre Fuerza y se proyectan nuevas líneas de investigación.

Palabras clave: *enseñanza de la física, modelización, modelos mentales, fuerza y movimiento, mecánica.*

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Revisión de Antecedentes

La presente investigación se refiere a la construcción de modelos sobre Fuerza en educación secundaria. En el siguiente apartado, se reportan algunos hallazgos empíricos sobre este tema, con la finalidad de dar cuenta del estado actual de la investigación en esta área y proponer un problema que justificará el presente artículo. Para contextualizar estas investigaciones, se incluyen también algunas referencias bibliográficas adicionales de carácter teórico.

La comprensión del movimiento basada en los conceptos de fuerza neta, interacciones y aceleración, es una de las bases teóricas más importantes para las ciencias experimentales, ingenieriles y otras disciplinas (Liu y Fang, 2019). Consideramos que la importancia asignada en la educación científica a las fuerzas y el movimiento está dada por la naturaleza integradora del concepto y su presencia en nuestras vidas diarias, en actos simples como desplazarnos, flotar en el agua o hacer deporte, entre otros. En la escuela, los conceptos asociados al movimiento son ampliamente abordados dada su capacidad para ayudarnos a entender y abordar múltiples fenómenos de nuestro ambiente, según se ejemplificó anteriormente. Así, se considera una de las diez grandes ideas que deberían estructurar la educación obligatoria (Harlen, 2010; MINEDUC 2016). En el caso chileno, el concepto de fuerza es abordado actualmente en cuarto básico, séptimo básico y segundo medio¹ (Díaz-Delgado y Maringer-Durán, 2021). A pesar de su fuerte presencia curricular, la enseñanza de las fuerzas y el movimiento presenta una variedad de dificultades, ya que en general, el estudiantado, profesorado y libros de texto presentan ideas alternativas sobre fuerzas que no se condicen con la noción científicamente aceptada, las que están fuertemente arraigadas y son resistentes al cambio incluso luego de procesos de instrucción formal “tradicional” (Fadaei y Mora, 2015; Liu y Fang, 2019).

Para ejemplificar estas concepciones, remitiremos a los trabajos de Liu y Fang (2019) y Saquinaula-Brito y Pánchez-Hernández (2019). Los primeros realizaron un meta-análisis sobre las ideas alternativas referentes a fuerzas en estudiantes de ciencias e ingeniería reportadas en un periodo de 45 años en niveles preescolares hasta universitarios. Por otro lado, Saquinaula-Brito y Pánchez-Hernández aplicaron un test a estudiantes de ingeniería para detectarlas. Ambos trabajos encontraron resultados similares, los que al extrapolarse al caso de estudiantes de enseñanza media en Chile, sirven como línea de base para inferir los modelos mentales de los participantes de la presente investigación. A continuación, se mencionan los que se consideraron más relevantes para el presente trabajo:

- El movimiento implica una fuerza y la falta de movimiento implica falta de fuerza.
- El sentido de movimiento debe coincidir con el de la fuerza neta.
- Un objeto en movimiento se enlentecerá si la fuerza neta es cero.
- Un objeto a rapidez constante no está bajo el efecto de ninguna fuerza.
- La gravedad ofrece resistencia al movimiento horizontal de objetos.
- La fuerza es equivalente a la velocidad.

De manera similar a las investigaciones recién mencionadas, en una investigación chilena sobre las explicaciones construidas por futuros profesores de física sobre sus respuestas en

¹ 9 a 10 años, 12 a 13 años, 15 a 16 años, respectivamente.

un test conceptual de mecánica, se constató que no necesariamente existe una correlación entre su porcentaje de respuestas correctas y la capacidad de justificarlas (C. Hernández y Tecpan, 2018). Este hecho supone que el desarrollo de ideas científicas sobre Fuerza, en conjunto con la capacidad de aplicarlas en explicaciones sobre el mundo natural, no está satisfactoriamente logrado, a pesar de que todos los participantes habían aprobado previamente un curso universitario de mecánica (C. Hernández y Tecpan, 2018). Esta investigación se relaciona con los trabajos citados anteriormente porque reafirma a nivel nacional la proposición de que los estudiantes suelen mantener concepciones alternativas sobre Fuerza aún luego de la instrucción universitaria. Cabe preguntarse entonces si en la educación secundaria ocurren fenómenos similares y cómo lograr a nivel escolar la construcción de herramientas conceptuales coherentes con las ideas acordadas por la comunidad científica, lo que constituye el interés del presente trabajo.

Polin Yadak (2020), aporta con una respuesta tentativa esta última pregunta, al realizar un meta-análisis sobre brecha de género en el puntaje del Force Concept Inventory (FCI). Esta última se trata de una de las pruebas más extensamente aplicadas a estudiantes de ciencias e ingeniería a nivel mundial, y está creada para medir la comprensión de la mecánica newtoniana. Dentro de sus variadas conclusiones, este estudio - que consideró más de 20 investigaciones empíricas- posiciona a la modelización, representada por la instrucción centrada en el involucramiento activo del estudiantado como “el método de enseñanza de la física más efectivo” (p. 6). Es claro que el tema de estudio del trabajo mencionado anteriormente y el del presente se superponen sólo parcialmente, puesto que la brecha de género no es el foco de este último. También hay que reconocer que la conclusión mencionada debe ser tomada con cautela. Sin embargo, esta investigación aporta antecedentes que sugieren una metodología de enseñanza para lograr el desarrollo de ideas científicamente aceptadas, al menos sobre Fuerzas. A pesar de lo anterior, Windschitl et. al (2018), citados en Soto, (2019), señalan lo escasa que es la incorporación de los modelos y la modelización en la escuela, entendida como este proceso de construcción de modelos (Garrido, 2016; Hernández et. al, 2015; Schwarz & Gwekwerere, 2007; Windschitl et. al, 2018, todos citados en Soto, 2019).

Hasta este punto, las investigaciones citadas se han referido a estudiantes universitarios durante o después de aprobar cursos de mecánica. Por ende, resulta interesante analizar a estudiantes ingresantes a la universidad, es decir, recientemente egresados de la educación secundaria. Esto fue lo que hicieron Benegas et. al, (2009), quienes midieron a través de un test el conocimiento conceptual de física de estudiantes ingresantes a carreras de ingeniería y ciencias en Universidades de España, Argentina y Chile, encontrando que el conocimiento conceptual sobre Fuerza es “pobre” (p. 1) de acuerdo a este instrumento. Por lo tanto, podemos seguir sosteniendo que, en estudiantes chilenos, estas concepciones alternativas pueden hallarse antes, durante y después de la formación universitaria. ¿Cómo entonces cambian -o no- los modelos mentales sobre Fuerza en estudiantes de educación secundaria, particularmente durante la implementación de una secuencia didáctica orientada a la

modelización? El presente trabajo busca aumentar el escaso conocimiento sobre las características de las ideas del estudiantado de enseñanza media sobre Fuerzas, de manera que sus resultados aporten como precedente para futuras investigaciones que pretendan proponer maneras de acercar estas ideas a aquellas científicamente acordadas.

1.2 Formulación del Problema y pregunta de Investigación

Según los antecedentes presentados, se propone como problema de investigación la escasez de conocimiento acerca de los modelos mentales de Fuerza de los estudiantes de educación secundaria chilena y sus cambios durante la instrucción formal orientada al desarrollo de su construcción.

En consecuencia, se propone la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo son y cómo cambian -si lo hacen- los modelos sobre Fuerza de estudiantes de segundo medio con la implementación de una secuencia de enseñanza y aprendizaje enfocada en la modelización?

2. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A partir del problema y pregunta de investigación planteados, se propone como objetivo general:

“Analizar los cambios en los modelos mentales sobre fuerza en estudiantes de segundo medio de un liceo municipal, durante la implementación de una secuencia de enseñanza y aprendizaje (SEA) orientada a la modelización.”

Para lograr el objetivo general se proponen los siguientes objetivos específicos:

OE1: Caracterizar los modelos mentales iniciales del estudiantado sobre el concepto de Fuerza para establecer una línea base de análisis sobre su estado de desarrollo.

OE2: Implementar una SEA orientada a la modelización para promover en el estudiantado la construcción del modelo científico escolar de fuerza.

OE3: Describir los cambios y principales características de los modelos mentales sobre Fuerza construidos por el estudiantado durante la implementación de la SEA.

3. MARCO DE REFERENCIA

A continuación, se discutirán conceptos que encuadran nuestro estudio y que permitirán describir e interpretar los cambios en los modelos mentales del estudiantado. Comenzaremos definiendo las nociones de modelo científico y modelización para luego abordar cómo entenderemos la construcción de modelos desde la perspectiva del cambio en modelos mentales, usando dos enfoques complementarios. Posteriormente, se integrará la visión de diversos estándares sobre la enseñanza y el aprendizaje de fuerzas en Chile para configurar una propuesta de MCE que cumpla con lo requerido por la normativa vigente, algo que parecen carecer los modelos disponibles en la literatura actual. Para finalizar, se justifica la elección de la estrategia POE para promover la modelización.

Modelos científicos, modelización y cambios en los modelos conceptuales.

Los modelos científicos son sistemas conceptuales esenciales para el pensamiento científico en el ámbito profesional y escolar, ya que estos son usados como herramientas para pensar y entender el mundo y sus fenómenos (Caamaño, 2011; Taber 2017). Dentro de sus utilidades, se encuentran la formulación y puesta a prueba de explicaciones, así como la predicción en diferentes campos de la ciencia. El posicionamiento teórico de Taber (2017), quien los define en función de su uso y no de sus características intrínsecas -como jerarquía conceptual, relaciones o categorías - resulta un enfoque conveniente para la presente investigación, ya que a) la forma en que se pretende recoger información sobre los modelos de una persona es a través de los usos que le da, y b) es durante el “uso” del modelo como herramienta que se pone en juego su idoneidad y se puede evidenciar la necesidad de cambios. Así, entenderemos los modelos científicos como herramientas conceptuales clave para el pensamiento científico y sus actividades.

Llegados a este punto, se debe hacer una distinción teórica entre los modelos científicos y los modelos científicos escolares. En la enseñanza de las ciencias, los docentes adecuamos pragmáticamente modelos científicos a través de la transposición didáctica (Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003; Soto, 2019). Así, cuando un modelo ha sido adecuado para promover la comprensión de un fenómeno desde un punto de vista científico escolar, se ha obtenido un Modelo Científico Escolar -en adelante, MCE- que tiene entre sus características ser “compatible con el modelo científico” -original- en un “rango limitado de aplicación” -para el cual fue construido-, siendo tarea del docente adaptarlo a “las condiciones cognitivas de los niños [...] para ver e interpretar los fenómenos desde la perspectiva científica” (Canedo-Ibarra, et. al, 2012). Si bien esta afirmación hace referencia a estudiantes preescolares, para la presente investigación se considera que los MCE deben estar adaptados al estudiantado en todos los niveles de enseñanza.

A su vez, la modelización es entendida como una metodología de enseñanza de la ciencia que enfatiza en el estudiantado la construcción, validación, refinamiento y aplicación de

modelos mentales en forma análoga a los científicos (Malone, 2006, citado en Yadak, 2020; Soto et. al, 2021). En cuanto a su conveniencia para el aprendizaje de la física y de la mecánica, sumamos a los antecedentes anteriormente expuestos por Yadak (2020) la opinión de Caamaño (2011), quien propone que “el proceso de aprendizaje en el aula debería consistir en la elaboración de una sucesión de modelos mentales de los estudiantes que se vayan acercando al modelo científico escolar” (p. 23). Los modelos mentales, señala Oliva (2014, citada en Soto, 2019), son útiles para las personas en forma análoga a la que los modelos de las ciencias son útiles para los científicos. En otras palabras, es deseable que exista una correspondencia entre los modelos mentales que tienen los estudiantes y los modelos científicos -escolares o no-.

Siguiendo el párrafo anterior, el refinamiento de modelos mentales o la sucesión de unos en otros por parte del estudiantado conlleva necesariamente un cambio en estos sistemas conceptuales. También son modificados mediante la incorporación de ejemplos, contraejemplos y conceptos nuevos en el modelo, entre otras. Por tanto, se argumenta aquí que la modelización promueve cambios en los sistemas conceptuales, y por lo tanto, en los modelos como herramientas conceptuales de pensamiento. Esto es apoyado por Soto (2019), quien plantea que “el ser humano [...] construye modelos mentales [...] de los sistemas físicos [...], los reconstruye hasta que sean satisfactorios y luego los utiliza [...], en ese sentido experimenta un cambio[...].” (p. 58). El análisis del cambio en los modelos mentales, se suele abordar de una manera polarizada entre niveles más lejanos y cercanos al MCE (Canedo-Ibarra et al., 2012), donde se entendería el cambio como un salto “discreto” entre niveles con mayor o menor nivel de concordancia con los modelos científicos, aunque Thagard (1990, 1992) propone una perspectiva más “continua” de los cambios en los modelos, entendiéndose como la adición o eliminación de conceptos y las relaciones entre ellos². El autor presenta seis tipos de cambios en los modelos conceptuales, desde los más “débiles” a los más “fuertes”, los que se presentan en la Tabla 1 con posibles ejemplos en la mecánica. En esta investigación, se complementarán ambas perspectivas, “discreta” y “continua” para enriquecer el análisis de la información recogida.

² Si bien esta perspectiva teórica fue concebida por Thagard desde el punto de vista del *cambio conceptual*, en adelante se usará *cambios en los modelos conceptuales* para adaptarla al contexto de la modelización, lo que es posible ya que ambas nociones conllevan la variación de los sistemas conceptuales que utiliza un individuo como herramientas de pensamiento.

Tabla 1

Tipos de cambio en los modelos conceptuales según Thagard (Rothman Institute of Philosophy, 2016). Los ejemplos son nuestros.

Tipo de cambio en un modelo conceptual	Ejemplo en el área de la mecánica
Adición	Añadir un nuevo concepto, como el de fuerza normal.
Delección	Abandonar el uso de un concepto, como el de “agarrar vuelo” o “agarrar fuerza”.
Diferenciación	Añadir nuevas categorías para clasificar los conceptos ya conocidos, como diferenciar las fuerzas atractivas y repulsivas dentro del concepto de fuerza.
Coalescencia	Integrar en una única categoría conceptos que antes se consideraban de categoría distinta, por ejemplo, el aumento de rapidez, su disminución y el cambio de dirección de movimiento en el concepto de “aceleración”.
Reclasificación	Cambiar de categoría un concepto. Por ejemplo, el paso de clasificar el movimiento retardado como “cuerpo en ausencia de fuerzas” a cuerpo “fuera de equilibrio”.
Metaclasificación	Cambiar la forma en la que se categorizan los conceptos, por ejemplo, el paso de la clasificación del movimiento según su velocidad o dirección de movimiento a clasificarlo según las condiciones mecánicas.

Desarrollo de un MCE sobre el concepto de Fuerza

Habiendo definido los términos que orientan teóricamente esta investigación, se procedió a construir un MCE a partir de *ideas clave* del modelo científico de fuerza y movimiento, las que serán escogidas como “expresiones privilegiadas” (Soto 2019) de los modelos en cuestión. Parafraseando a esta autora, hay que buscar la manera de hablar de Fuerza con nuestros estudiantes que sea lo más coherente con la ciencia y a la vez útil para ellos, cuidando que no obstaculice la comprensión de otros conceptos.

Así, se integraron tres fuentes para orientar la construcción de un MCE con estas características para segundo medio, a la vez que cumpla con los estándares ministeriales chilenos recientemente publicados, algo novedoso para la literatura disponible actualmente:

- El programa curricular de Ciencias para segundo año Medio (MINEDUC, 2016), donde se propone explicar los efectos de una fuerza neta sobre objetos.
- Los estándares orientadores para carreras de pedagogía (MINEDUC, 2022), donde se enfatiza en el estudio de las consecuencias de la acción del roce sobre el movimiento de los cuerpos.
- Las 10 grandes ideas de la ciencia (Harlen, 2010), que sintetiza que el movimiento de un objeto depende de las interacciones en que este participe.

Estas ideas clave se articulan en la Tabla 2.

Tabla 2:

Ideas clave del modelo científico escolar sobre fuerzas

Ideas clave del MCE sobre fuerzas

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.
-

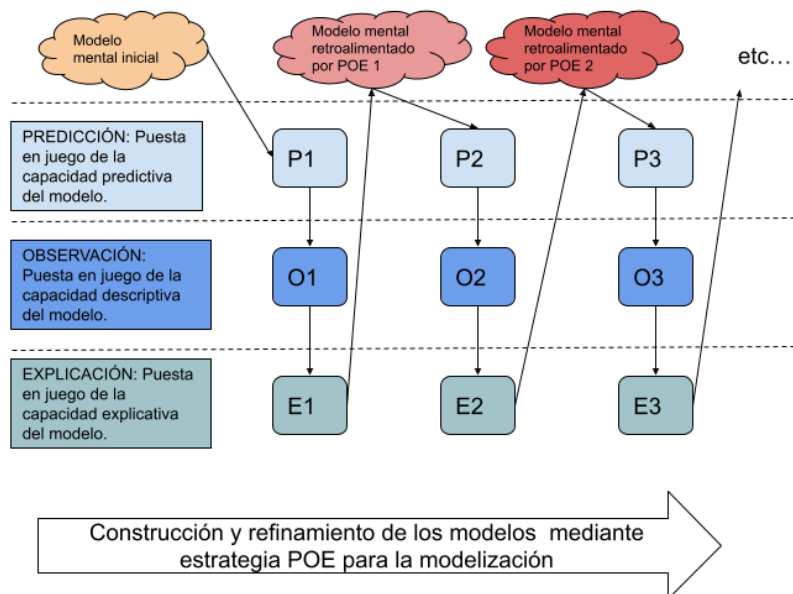
Además de guiar el diseño de la SEA orientada a desarrollar estas ideas y su uso en la formulación de explicaciones científicas, el MCE permitirá analizar los modelos presentes en las producciones textuales y gráficas formuladas por las/os estudiantes.

Estrategia POE para la modelización

Una vez construido el MCE, corresponde definir claramente las estrategias por medio de las cuales se pretende la modelización por parte del estudiantado. Para el presente trabajo, se seleccionó la estrategia POE, que surgió derivada de la planteada en 1979 en la Universidad de Pittsburgh por Champagne, Kopler y Anderson “para investigar el pensamiento de estudiantes de primer año de Física” (Millán y López, 2011). Originalmente conocida como DOE (Demostrar, Observar, Explicar), en 1980 Gunstone y White proponen a partir de ella el ciclo POE (Predecir, Observar, Explicar). Desde entonces, diversos estudios han validado la efectividad de esta estrategia y otras basadas en ella para desarrollar las habilidades, justamente, de predicción, observación y explicación científica en países de habla hispana y no hispana y en variados niveles educativos (Coştu et. al, 2011; Millán y López, 2011; Díaz-Delgado et. al, 2020). Las explicaciones científicas aquí adquieren vital importancia, ya que al ser entendidas como una aplicación explícita de un modelo científico para revelar las relaciones causales o mecanismos subyacentes a una situación o fenómeno (Yao y Guo, 2018), permiten evidenciar el nivel de desarrollo de los modelos mentales que tiene el estudiantado en un momento determinado. Estos modelos son retroalimentados a partir del análisis de nuevas situaciones durante una SEA. Por lo tanto, aquí se argumenta que la repetición cíclica del uso y puesta a prueba de los modelos mentales -es decir, del POE- fomenta entonces, la modelización. Esta retroalimentación de los modelos mentales a través de la estrategia se representa en la Figura 1.

Figura 1

Esquematización del proceso de modelización mediante la estrategia POE



4. MARCO METODOLÓGICO.

4.1 Enfoque y tipo de estudio

En coherencia con los antecedentes y el problema de investigación, este estudio tendrá un carácter exploratorio, ya que aborda un tema relativamente poco estudiado y prepara el terreno para otros estudios (R. Hernández et al., 2014). El enfoque será cualitativo, dado que el investigador evalúa el desarrollo natural de un proceso -en este caso, de enseñanza y aprendizaje-, del cual forma parte (R. Hernández et al., 2014). Este enfoque resulta conveniente para una investigación exploratoria porque permite un diseño “abierto, flexible y construido durante la realización del estudio” (R. Hernández et al., 2014 p. 11), que se ajuste a las necesidades detectadas por el investigador. Como parte de esta flexibilidad, se utilizaron algunas herramientas de análisis y recolección de información asociadas a la investigación cuantitativa, como la observación repetida de los mismos sujetos para enriquecer la comprensión de la información recolectada y su descripción. Es necesario aclarar que la aplicación repetida de un mismo instrumento -similar a un diseño pre experimental en un paradigma cuantitativo (Salas, 2013)- no pretende evaluar los efectos de una variable sobre otra, sino que establecer un punto de referencia o “línea base” antes de la implementación para poder comparar los cambios ocurridos durante el proceso de modelización.

4.2 Selección de Participantes y Escenarios.

La investigación se llevó a cabo en la asignatura de Física correspondiente al plan de estudios de Ciencias para segundo año medio, con estudiantes de entre 15 y 16 años en un liceo municipal de Calama. Particularmente, se llevó a cabo durante la implementación de una unidad didáctica curricular mayor sobre Fuerza, constando de tres sesiones de 90 minutos cada una implementadas en cada segundo medio del establecimiento, del cual el investigador es profesor titular de la asignatura.

Se usó una muestra por conveniencia (R. Hernández et al., 2014), la de aquellos estudiantes de segundo año medio que participaron de todas las sesiones de la secuencia de enseñanza y aprendizaje implementadas por el profesor, además de haber rendido las evaluaciones inicial y final. Estos participantes provienen de 4 grupos curso que se presumen equivalentes, dado que corresponden a la misma institución educativa y cumplen con el mismo perfil socioeconómico y cultural. En concreto, los participantes fueron 21 estudiantes de segundo medio, quienes a través de producciones textuales y gráficas relativas a fuerza y movimiento, plasmaron sus modelos mentales en los instrumentos de recolección de datos. A partir del análisis de estas producciones, se infirió el cambio de sus modelos mentales, los que fueron agrupados estableciendo *patrones de aprendizaje* (Canedo-Ibarra et. al, 2012).

Con esta finalidad, el estudiantado participó de la implementación de una SEA enfocada en la modelización. Cabe señalar que antes de iniciar la implementación, se realizaron intervenciones informativas donde se comunicaron el contexto, objetivo y finalidad de la investigación, así como las respectivas condiciones de confidencialidad de la información de los participantes. Asimismo, se solicitó por parte de cada apoderado/a que firmase un consentimiento informado autorizando la participación en el estudio y que contase con la conformidad expresa de cada participante.

4.3 Diseño de una SEA basada orientada a la modelización.

La SEA propuesta, enfocada a la modelización, está orientada a promover la construcción de un modelo de movimiento basado en las fuerzas, particularmente en la fuerza neta, siguiendo recomendaciones nacionales e internacionales (Harlen, 2010; MINEDUC, 2016, 2022). Para facilitar la recogida de información, se optó por estructurar la secuencia en guías de trabajo que fueron completadas por los participantes, las cuales fueron requeridas por el investigador para su estudio posterior. Se analizaron las producciones escritas por los participantes, incluyendo explicaciones en forma de texto, dibujos y esquemas.

Esta SEA está compuesta por una prueba diagnóstica, tres sesiones de clases y una prueba final aplicada posteriormente, idéntica a la inicial. Como se mencionó anteriormente, para favorecer la construcción del modelo de Fuerza se utilizó como base la estrategia cíclica POE (Millán y López, 2011), complementada con el estudio de ciertos aspectos de la historia de los modelos de Fuerza y movimiento. Estas actividades se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3:

Descripción de las situaciones estudiadas en cada ciclo POE, por sesión.

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.

Sesión	Situación a estudiar	Resultado de aprendizaje esperado
3	POE 4. Movimiento de un deslizador de aire sobre un riel con y sin roce.	En ausencia de fuerzas desequilibradas, los cuerpos en movimiento tienden a mantenerlo.
	POE 5. Movimiento de un trineo sobre nieve.	Si un cuerpo cambia su movimiento se debe a la acción de una fuerza neta no nula.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de información

Para recolectar información que permitiera caracterizar los modelos sobre Fuerza y movimiento en los momentos inicial y final de la secuencia, se adaptaron a partir de la literatura (Harres, 2002 y Hestenes et. al, 1992) 4 ítems que permiten inferir modelos mentales sobre Fuerza, resultando una prueba escrita de 4 preguntas. Esta fue sometida a validación por pares -profesores de física con experiencia enseñando la unidad de Fuerza- y por expertos -profesoras con posgrado en didáctica de las ciencias o la física- a través de una encuesta, cuyas respuestas se encuentran disponibles en los anexos. A partir de esta encuesta, la prueba se afinó para ajustarse al contexto investigado (R. Hernández et al., 2014). El instrumento resultante fue aplicado en forma individual antes y después de la implementación, asignando un tiempo de 30 minutos como máximo para ser respondido. En la Tabla 4, se describe con mayor detalle este instrumento.

Tabla 4:

Descripción del tipo de ítem en la prueba.

Nro. de ítem	Tipo de ítem	Descripción de la demanda
1	Respuesta abierta	Descripción de las condiciones del inicio del movimiento de un cuerpo inicialmente en reposo.
2	Respuesta abierta	Identificación de las condiciones de mantención del estado de movimiento de un cuerpo.
3	Respuesta semiabierta	Identificación de fuerzas actuantes sobre un proyectil en movimiento, con justificación en el tipo de interacción.
4a y 4b	Respuesta abierta	4a: Representación gráfica de las fuerzas actuantes sobre un cuerpo en distintos puntos de su trayectoria a medida que avanza sobre una superficie con roce. 4b: Explicación textual de la detención del cuerpo.

Por otro lado, para identificar los modelos sobre fuerza *durante* la implementación de la SEA, se analizaron las producciones individuales de cada estudiante en guías de trabajo, que eran respondidas luego de intercambios de ideas en grupos pequeños y en plenaria. Al igual que en el caso anterior, los instrumentos se afinaron o ajustaron de acuerdo a las necesidades detectadas a partir de la experiencia en cada grupo. Si bien en la Tabla 3 se describen a nivel general las actividades de cada sesión y su respectiva guía, estas se pueden consultar en los anexos para mayor profundidad. Así, a partir de los instrumentos mencionados, se recolectaron producciones textuales y gráficas, cuya estrategia de análisis se describe a continuación.

4.5 Estrategia de análisis de datos

Las producciones del estudiantado fueron estudiadas a partir de análisis de contenido, ya que se pretendía identificar algunos elementos en ellas para clasificarlas y explicar fenómenos (Fernández, 2002), en este caso los cambios en los modelos conceptuales. Este análisis se llevó a cabo considerando las dos perspectivas mencionadas en el marco de referencia. Desde la perspectiva “discreta”, se plantearon cinco categorías de modelos sobre Fuerza, obtenidas a partir de la modificación de categorías preexistentes en la literatura (Harres, 2002; Peduzzi y Zylbersztajn, 1997). Estas modificaciones responden a dos requisitos: que las categorías sean aplicables en la educación escolar chilena - originalmente se desarrollaron para estudiantes universitarios considerando un punto de vista histórico - y a los instrumentos de recolección de información previamente diseñados y validados.

Así, se le asignó a cada respuesta un código asociado a su categoría. Posteriormente se validó la codificación con ayuda de una par evaluadora para contar con un juicio de experto, analizando a un subgrupo de estudio de la muestra. En caso de discrepancia en la codificación, se discutió hasta consensuar una categoría. Igualmente, se realizó una re-codificación posterior para asegurar la fiabilidad de las categorizaciones. Una vez terminada esta etapa, se asignó para cada estudiante en cada instrumento un modelo predominante: el de mayor frecuencia por unidad de observación. En caso de que existiera una predominancia compartida entre dos modelos, se tomó la más alta como representativa del modelo mental del estudiante. Conforme al procedimiento metodológico adoptado por Soto et al. (2019), se optó por asignar un nivel 0 a aquellas respuestas no codificables.

En la siguiente página, se presentan estas cinco categorías, con ejemplos reales de codificación para la pregunta 4b del citado instrumento, en el cual se solicita explicar la detención de una pelota lanzada inicialmente sobre una superficie con mucho roce.

Modelo Aristotélico (M1): El reposo es considerado como el estado natural de los cuerpos. Sin que se aplique constantemente una fuerza, no se puede mantener el movimiento. Se usa la noción de estado natural o de la gravedad para justificar el cese de movimiento. Por ejemplo: “la fuerza de la gravedad le ganó a la fuerza de la pelota haciendo que se detenga en el punto C” (sujeto B1).

Modelo de fuerza impresa autoextinguible (M2): La fuerza impresa es “almacenada” en el cuerpo, manteniendo el movimiento y disminuyendo naturalmente. Los cuerpos que se mueven en contacto con otros se detienen porque naturalmente se agota la fuerza que se aplicó. No se considera el roce. Se usa la noción de fuerza para justificar el cese de movimiento, cuando esta se agota. Por ejemplo: “porque la fuerza de la pelota va disminuyendo hasta que se detiene” (sujeto D1); “se detuvo porque no tuvo la fuerza necesaria para llegar muy lejos” (sujeto C6); “se detuvo [...] porque perdió la fuerza que al principio la impulsaba” (sujeto C3).

Modelo de fuerza impresa independiente del roce (M3): La fuerza impresa es “almacenada” en el cuerpo, a la vez que el roce actúa sobre el mismo, sin que estas fuerzas se influyan mutuamente. Un objeto en movimiento se detiene porque la fuerza impresa disminuye, considerando la existencia de la fuerza de roce, pudiendo este variar, pero sin que estas se afecten mutuamente. Se usa la noción de fuerza para justificar el cese de movimiento. Por ejemplo: “La pelota en el punto C se detiene porque el impulso al tirarla va disminuyendo al igual que la fuerza roce” (sujeto B1).

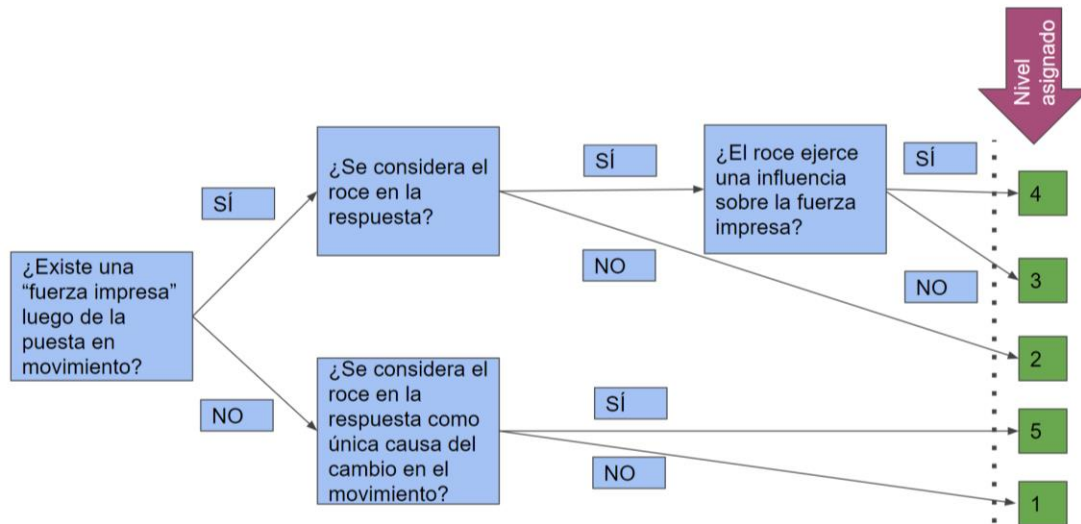
Modelo de fuerza impresa extinguida por el roce (M4): La fuerza impresa es “almacenada” en el cuerpo, siendo extinguida por el roce. Se usa la noción de roce como “extintor” de la fuerza almacenada para justificar el cese de movimiento. Por ejemplo: “porque el empuje le hizo ir a la derecha pero la del roce le <<empujó>> a la izquierda y se detuvo porque se <<disolvió>> la fuerza a la derecha” (sujeto B4).

Modelo Científico Escolar - Newtoniano (M5): Los cuerpos mantienen su estado de movimiento salvo que una fuerza neta no nula cause un cambio en este. Se usa la actuación de una fuerza no equilibrada para explicar el cambio en el movimiento, en este caso, la fuerza de roce. La pelota se detiene exclusivamente por la actuación de esta fuerza en sentido contrario. Por ejemplo: “Por que debido al roce con el camino el balón pierde su velocidad y por eso se detuvo” (sujeto B5).

Como ayuda para codificar, se diseñó a partir de Harres (2002) un algoritmo que asigna una categoría de modelo a cada respuesta, el que se representa como diagrama de flujo en la Figura 2. El uso del diagrama de flujo se ejemplifica a continuación con una producción gráfica (Figura 4) y una textual (Figura 5).

Figura 2:

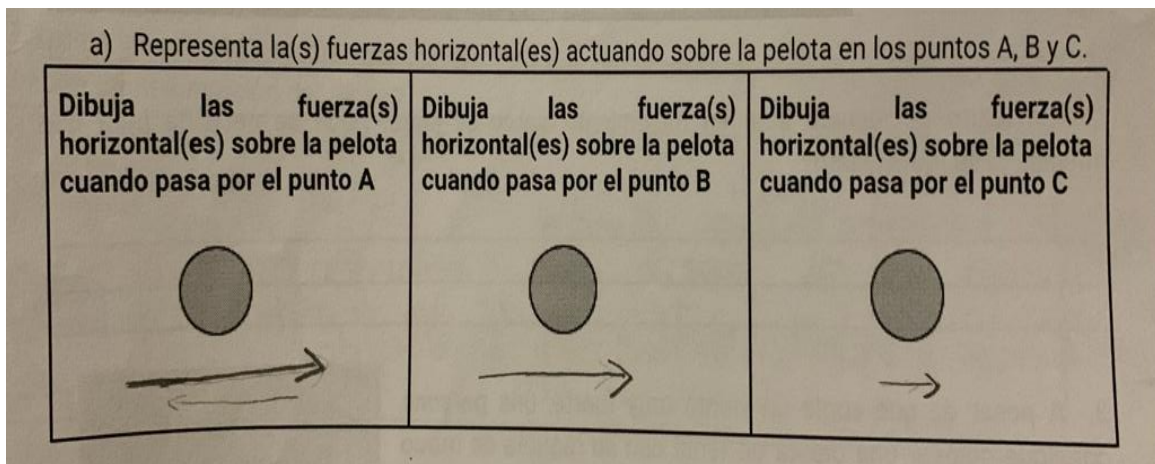
Diagrama de flujo usado para codificar respuestas, construido a partir de Harres, 2002.



Ejemplo 1: Producción gráfica.

Figura 3:

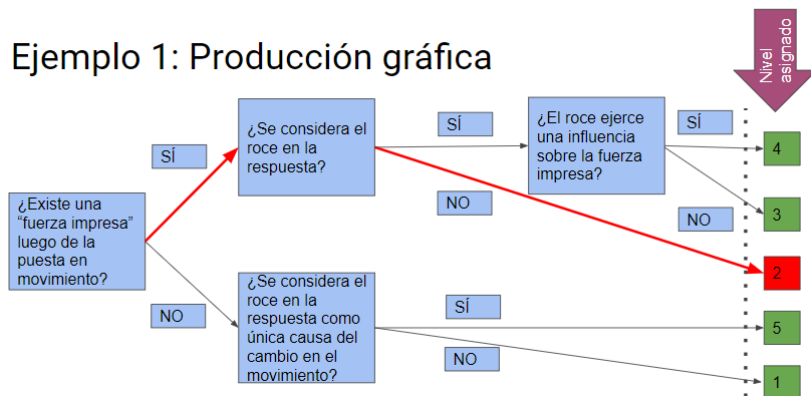
Ejemplo de producción gráfica a categorizar.



En la representación de las fuerzas, se muestra una fuerza apuntando en la dirección de movimiento, compatible con la noción de fuerza impresa, la que decae naturalmente en forma progresiva, sin considerar al roce en la descripción del movimiento de la pelota y las fuerzas involucradas en él. Por lo tanto, la sucesión de respuestas SÍ-NO asignaría esta producción al nivel 2. A continuación, se representa este proceso en el diagrama de la figura 4.

Figura 4:

Diagrama de flujo aplicado al ejemplo de la Figura 3.

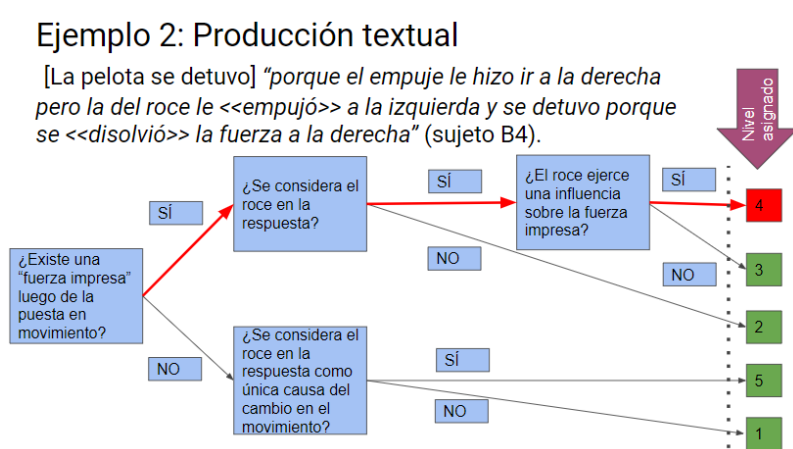


Ejemplo 2: Producción textual.

Producción textual: [La pelota se detuvo] "porque el empuje le hizo ir a la derecha pero la del roce le <<empujó>> a la izquierda y se detuvo porque se <<disolvió>> la fuerza a la derecha" (sujeto B4).".

En este caso, el estudiante menciona una fuerza que se pierde, compatible con la noción de fuerza impresa, por lo que la primera respuesta sería SÍ. Como se menciona explícitamente la acción del roce en la extinción o "disolución" de la fuerza "de empuje" segunda y terceras respuestas son SÍ. Así, la sucesión de respuestas SÍ-SÍ-SÍ asigna a esta producción el nivel 4. A continuación, se representa este proceso en la figura 5.

Figura 5: Diagrama de flujo aplicado a una producción textual.



Por otra parte, desde la perspectiva continua, se utilizó el enfoque "continuo" de Thagard, para describir en detalle los cambios entre los modelos inferidos inicial y finalmente. Este análisis complementa el anterior, categorizando los cambios evidenciados en cada ítem para un estudiante representativo de cada patrón de aprendizaje según las categorías de Thagard (Rothman Institute of Philosophy, 2016). Así, se identificaron las preguntas del instrumento de recolección de datos cuyas respuestas cambiaron antes y después de la intervención.

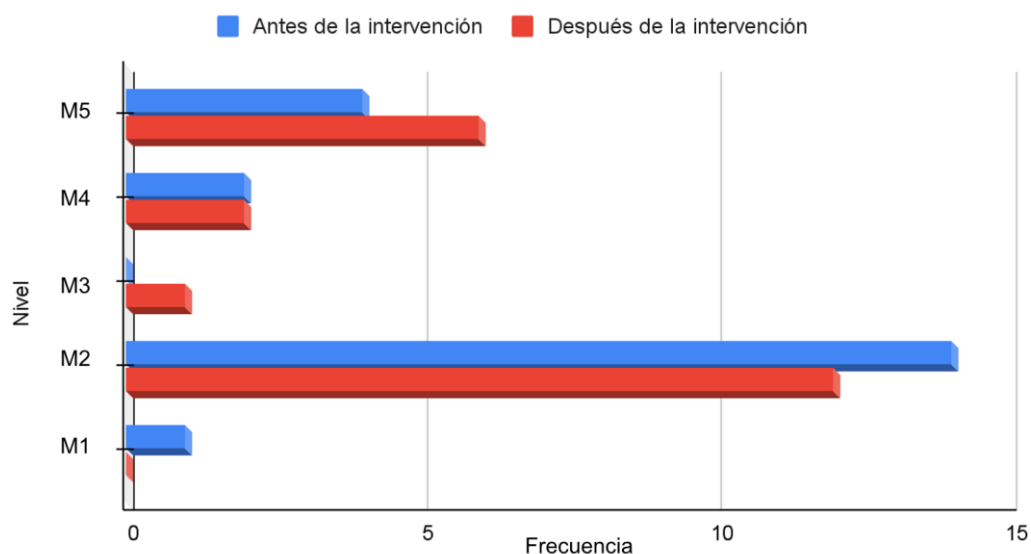
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Caracterización grupal de los modelos mentales iniciales y finales del estudiantado sobre el concepto de Fuerza.

Al comparar los modelos mentales del estudiantado antes y después de la intervención, desde el punto de vista “discreto” del análisis de los cambios conceptuales, la diferencia grupal entre los modelos iniciales y finales es moderada, como se observa en la Figura 6.

Figura 6

Comparación grupal total entre modelos iniciales y finales



3/

Nota: En el eje vertical se representan las categorías de los modelos mentales desde el nivel más lejano hasta el más cercano al MCE (M1 y M5, respectivamente).

Tanto en la prueba final como inicial, predomina el modelo M2, acumulando más de un 55% de los casos totales en todo momento. Así, la mayoría de los estudiantes conciben la fuerza como algo que se “almacena” en un cuerpo y que se extingue de forma natural, usando el término en un sentido amplio y distinto al científicamente acordado, ya que en realidad están refiriéndose a lo que entendemos actualmente como velocidad, impulso, o energía. Estas ideas tienden a coincidir con las reportadas en la revisión de antecedentes y son consecuencia de no considerar el roce como fuerza que afecta el movimiento de los cuerpos, posiblemente por no aplicar el concepto de fuerza neta o hacerlo incorrectamente. En consecuencia, el cambio desde este modelo a uno más cercano a M5 necesita que el estudiantado enfrente situaciones donde se haga evidente el efecto del roce, como comparar dos coeficientes de roce distintos sobre un mismo cuerpo bajo las mismas condiciones. Por otra parte, el cambio de M4 a M5 necesita que se considere el roce como constante, así como la delección de la noción de fuerza impresa. Para ello, sería conveniente involucrar al estudiante en situaciones donde se mida en forma dinámica la fuerza de roce entre dos superficies, de manera que cuenten con evidencias de que este se mantiene

constante. Para provocar un conflicto con el uso de la noción de fuerza impresa, es necesario abordar las fuerzas desde la noción de interacción, por lo que se hace necesario diferenciar a nivel macroscópico las interacciones de contacto y a distancia. En la sección de las conclusiones se recogen estas y otras consideraciones, que surgen de estos resultados, los que sugiero tomar en cuenta al momento de diseñar secuencias de enseñanza y aprendizaje orientadas a la modelización sobre Fuerzas y movimiento.

5.2 Cambios a nivel individual entre las pruebas.

Analizando los modelos mentales predominantes individualmente en las pruebas inicial y final de la intervención, se agrupó la evolución de los modelos de cada estudiante en 5 *patrones*:

- A) Estudiantes que mantuvieron su nivel de modelo en M2 antes y después de la intervención.
- B) Estudiantes que mantuvieron su nivel de modelo en M4 antes y después de la intervención.
- C) Estudiantes que mantuvieron su nivel de modelo en M5 antes y después de la intervención.
- D) Estudiantes que transitaron de un nivel inferior a uno superior, pero sin llegar a M5: M2 a M3 y M3 a M4.
- E) Estudiantes que transitaron desde el M2 al modelo M5.

Si bien el sexo originalmente no era una variable de interés, una vez realizada la categorización, se constató que la categoría E solamente está constituida únicamente por personas de sexo femenino, por lo que se decidió agregar esta variable a la descripción de datos individuales. Los resultados se presentan en la Tabla 5. Cabe destacar que, en general, hubo una tendencia a dejar de lado explicaciones tautológicas (“se detuvo porque perdió su velocidad”, sujeto B7) para usar conceptos científicos, independiente de si este uso era correcto o no.

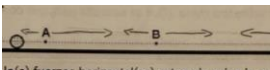
Tabla 5:

Patrones de aprendizaje separados según sexo.

SEXO	A	B	C	D	E
M	7	2	3	1	0
F	4	0	1	1	2
TOTAL	11	2	4	2	2

Una vez tomada en cuenta la variable sexo, destaca que de los cuatro participantes que transitaron de un nivel inferior a uno superior (patrones D y E), la mayoría son de sexo femenino, lo que será retomado en las conclusiones. Estos datos parecen confirmar lo propuesto por Yadak (2020) relativo a la reducción de la brecha de género. En la Tabla 6, se ejemplifican respuestas codificadas para un estudiante representativo de cada patrón, analizando sus cambios desde la perspectiva “discreta” (columnas 2 y 3) y “continua” (columna 4).

Tabla 6:
Ejemplificación de patrones de aprendizaje mediante casos representativos.

Patrón de aprendizaje	Modelo inicial y ejemplo de expresión transcrita para un caso representativo del patrón.	Modelo final y ejemplo de expresión transcrita para un caso representativo del patrón.	Ejemplos de cambio en los modelos según ítem del instrumento, aplicadas a un caso representativo del patrón.
A	M2: “[La pelota se detiene en el punto C] <i>porque puede ser que no tenga más impulso como para seguir más adelante</i> ”	M2: “[La pelota se detiene en el punto C] porque se puede haber quedado sin fuerza la pelota”.	Delección del concepto de impulso y adición del concepto de fuerza (P4b)
B	M4: Representación gráfica de las fuerzas en la pregunta 4a. 	M4: “[La pelota se detiene en el punto C] debido a la fuerza que ejerció al inicio [...] ejerció mucha fuerza de roce [...] debido a esto la pelota se detuvo [...] hasta llegar al punto C”	Recategorización del movimiento como “algo que se ejerce” a “un estado”. (P1) Adición del concepto de fuerza de roce (P2) y de una relación entre el roce y el movimiento (P4b)
C	M5: “[La pelota se detiene en el punto C porque] no tiene otra fuerza que haga que su velocidad aumente o se mantenga igual, por lo que disminuye por el roce (fricción)”	M5: “[La pelota se detiene en el punto C porque] la fuerza de roce hace que la pelota pierda su velocidad poco a poco”	Adición de los conceptos de fuerza neta (P1) y fuerza de roce (P3 y P4b). Reclasificación de la fuerza del viento como fuerza de roce. (P3) Reclasificación de la fuerza como causa de cambios en el movimiento en vez de algo almacenado en el cuerpo que lo mantiene y se extingue naturalmente (P3).

Patrón de aprendizaje	Modelo inicial y ejemplo de expresión transcrita para un caso representativo del patrón.	Modelo final y ejemplo de expresión transcrita para un caso representativo del patrón.	Ejemplos de cambio en los modelos según ítem del instrumento, aplicadas a un caso representativo del patrón.
D	M2: “[La pelota se detiene en el punto C] porque al momento de patear la pelota hace un movimiento mucho más brusco, en el B disminuye y en el C para completamente.”	M3: “[La pelota se detiene en el punto C] porque el impulso al tirarlo va disminuyendo al igual que la fuerza de roce.”	Delección del concepto de “brusquedad” (del movimiento). Adición del concepto “fuerza de roce” y del concepto “impulso” (P4b)
E	M2: “[La pelota se detiene en el punto C] porque ya se había acabado el impulso de la fuerza que estaba actuando sobre ella”	M5: “[La pelota se detiene en el punto C] gracias a la fuerza de roce, ya que esta siempre va a actuar en contra del movimiento del cuerpo”	Recategorización de Fuerza como “algo que se tiene” a “una acción”. Adición del concepto “fuerza de roce”. (P4b) y eliminación de la noción de “impulso de la fuerza”.

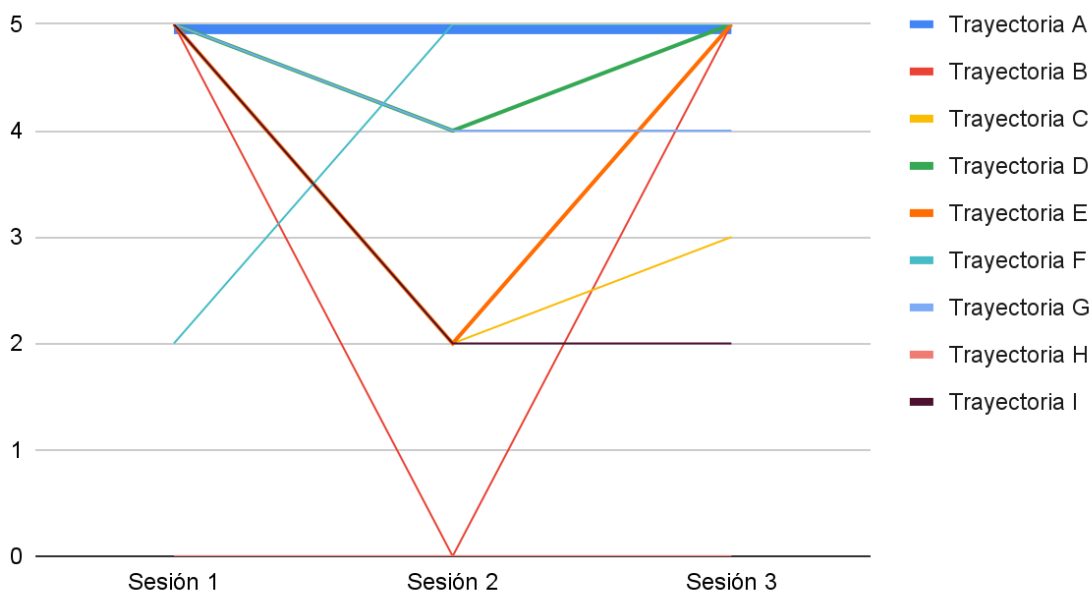
De la tabla se desprende que en algunos casos, a pesar de no haber presentado cambios “discretos” de modelo, existen cambios “continuos” en ellos a través de adición y eliminación de conceptos y recategorización de los mismos, entre otras formas de las propuestas por Thagard (Rothman Institute of Philosophy, 2014).

5.3 Cambios a nivel individual durante las clases.

Al representar visualmente los modelos mentales del estudiantado *durante* la participación en una SEA orientada a la modelización, emergen nueve “*trayectorias*” de aprendizaje, las cuales se representan por líneas cuyo grosor denota la frecuencia con que los participantes siguieron esa trayectoria (Figura 7).

Figura 7:

Representación de las trayectorias de aprendizaje durante las sesiones.



En esta representación, llaman la atención dos aspectos, que se discuten a continuación:

- Predominancia del modelo M5 en las sesiones 1 y 3: En la mayoría de las trayectorias, se inició y se terminó con el modelo científico escolar promovido. Incluso cerca del 30% de los participantes logró mantenerse en el nivel M5. Cabe destacar que esta descripción no se condice con las respuestas obtenidas en las pruebas individuales -recordando que allí predomina el modelo M2-, lo que se podría atribuir a la diferencia entre trabajo individual y grupal, así como a la disponibilidad de apuntes teóricos en la misma guía de trabajo, como se puede revisar en los documentos anexos. De esta forma, se podría usar la noción vigotskiana de *zona de desarrollo próximo* para explicar la diferencia entre las respuestas individuales y las grupales, ya que con apoyo de terceras personas (ya sea de pares más competentes o del profesor) logran resolver problemas que no podrían alcanzar en forma independiente. Es decir, en este caso las habilidades de modelización y de puesta a prueba de modelos estarían en proceso de maduración (Vigotsky, 1978).

- Disminución del nivel del modelo predominante en la sesión 2: Por otra parte, la mayoría de las trayectorias muestra una disminución en la coherencia entre el modelo promovido (M5) y el que predominaba en esa sesión. Aquí proponemos que lo anterior puede deberse a que una de las actividades de esta guía demandaba la confrontación directa entre los modelos mentales del estudiantado y los modelos históricos propuestos por Isaac Newton y Galileo Galilei, los que al abordar casos generales y no siempre concretos, requieren un nivel de abstracción que en algunos casos quedaría fuera del alcance del estudiantado participante. También se aborda, por primera vez durante la SEA, el movimiento de un cuerpo en condiciones de fuerza neta nula. Posiblemente, ante la insatisfacción con los modelos científicos históricos, los participantes tendieron a recurrir a modelos personales anteriores y más lejanos a aquellos promovidos.

6.CONCLUSIONES.

Las conclusiones a las que llega este trabajo incluyen los aportes al área, la verificación del nivel de logro por objetivo y las proyecciones para futuras investigaciones.

En cuanto a los aportes al área, constituye una de las primeras investigaciones acerca de los modelos mentales sobre Fuerza en estudiantes de enseñanza media y sus características. Esto permitirá orientar de mejor manera el diseño de actividades apropiadas para su desarrollo. Las sugerencias incluyen proponer actividades donde el estudiantado ponga a prueba la idea de que las fuerzas de contacto se almacenan o mantienen en el cuerpo luego de finalizada la interacción, y otras donde se mida o reconozca la fuerza de roce como influencia en el movimiento de los cuerpos -dada la predominancia del modelo M2. Es importante que tanto estas situaciones problemáticas como las conclusiones que se obtengan de ellas sean recordable, para no perderlas de vista al momento de generalizarlas. De esta manera, se promueve el cambio de modelos mentales hacia otros más cercanos al modelo científico escolar.

En cuanto a los objetivos de la investigación, los objetivos específicos 1 y 3 se consideran completamente logrados, ya que se llevó a cabo a la descripción y análisis de los modelos mentales del estudiantado respecto de fuerza y movimiento antes, durante y después de la participación en la SEA, así como los cambios que evidenciaron. Como producto, se desarrollaron instrumentos teóricamente sustentados que permitieron realizar las observaciones requeridas, los cuales podrían servir como punto de partida para futuras investigaciones. Adicionalmente, las/os profesores de enseñanza media pueden usar estos instrumentos para detectar los modelos iniciales de sus estudiantes con el fin de planificar la enseñanza de acuerdo a sus resultados.

En cuanto al nivel de cumplimiento del segundo objetivo de la investigación depende del posicionamiento metodológico que se adopte. Desde una concepción más “polarizada” o “discreta”, que plantea niveles altos y bajos del desarrollo de los modelos, la SEA promovió

moderadamente el acercamiento entre los modelos mentales y el MCE construido. En este punto, surge la pregunta de ¿cómo se puede explicar las diferencias en las tendencias por sexo?, la que podría dirigir una futura investigación usando los mismos datos. Una perspectiva más detallada, considerando los sistemas conceptuales y sus cambios, permitió enriquecer este estudio, encontrando que la SEA sí favorece, en todos los casos, cambios conceptuales que acortan la brecha entre los modelos mentales y el MCE. Así, al menos para efectos de esta investigación, parece ser más conveniente este último enfoque.

Es importante mencionar algunas limitaciones de este estudio, propias de su alcance exploratorio. La primera refiere a los tiempos asignados para la intervención en comparación a los estudios citados previamente, de Soto (2019) y Canedo-Ibarra et al. (2012), quienes dedicaron más del doble de horas a las intervenciones didácticas antes de analizar los cambios. Coincidimos con este último, en que la construcción de modelos en la enseñanza de las ciencias requeriría de un “alto nivel cognitivo” (p. 698) y su uso de esfuerzos focalizados, de larga duración. No descartamos que, para intervenciones de mayor duración, pueda emplearse un enfoque “discreto” o también mixto del cambio en los modelos conceptuales.

Sobre los instrumentos utilizados para estudiar los modelos mentales del estudiantado y la SEA empleada para promover cambios en ellos, se proyecta una investigación basada en el diseño, donde a través de iteraciones de procesos de diseño, implementación y evaluación de la SEA, se promueva una mejora en los resultados de aprendizaje (Velazco, et. al, 2021), acortando así “la brecha entre las prácticas en las aulas y los resultados de investigación” (p. 629). Dado el carácter exploratorio del estudio, lo anterior no pudo concretarse debido a las restricciones de recursos temporales y de tamaño de muestra. Esto ya que cada cohorte de segundo medio estudia la unidad referida a Fuerza una vez al año, limitando la disponibilidad de sujetos elegibles para la participación.

A nivel general, ante la pregunta de cómo son y cómo cambian los modelos sobre Fuerza de estudiantes de segundo medio con la implementación de una secuencia de enseñanza y aprendizaje enfocada en la modelización, se puede concluir que estos modelos son predominantemente incompatibles con el modelo científico escolar, estando fuertemente asociados a la idea de fuerza impresa, y siendo relativamente estables. Estos resultados ratifican a nivel local lo descrito en la literatura internacional.

En síntesis, este trabajo podría resultar un aporte teórico y metodológico a la evaluación y descripción de los modelos mentales de los estudiantes de enseñanza media respecto de Fuerza y movimiento, así como en los cambios conceptuales suscitados por la implementación de esta u otra SEA. Para quienes deseen continuar la línea de investigación, puede ser un punto de partida valioso.

7. BIBLIOGRAFÍA.

- Benegas, J.; Villegas, M.; Pérez de Landazábal, M.; Otero, J. (2009) Conocimiento conceptual de física básica en ingresantes a carreras de ciencias e ingeniería en cinco universidades de España, Argentina y Chile; Federación Iberoamericana de Sociedades de Física; Revista de la Unión Iberoamericana de Sociedad de Física; 5; 1; 5-2009; 35-43
- Caamaño, A. (2011). Enseñar química mediante la contextualización, la indagación y la modelización. *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, 69, 21-34
- Canedo-Ibarra, S., Castelló-Escandell, J., García-Wehrle, P., Gómez-Galindo, A., & Morales-Blake, A. (2012). CAMBIO CONCEPTUAL Y CONSTRUCCIÓN DE MODELOS CIENTÍFICOS PRECURSORES EN EDUCACIÓN INFANTIL. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 17(54), 691-727.
- Coştu, B., Ayas, A. & Niaz, M. (2011). Investigating the effectiveness of a POE-based teaching activity on students' understanding of condensation. *Instructional Science - INSTR SCI*. 40. 10.1007/s11251-011-9169-2.
- Díaz-Delgado, R., y Maringer-Duran, D. (2021). La enseñanza del concepto de fuerza: algunas reflexiones. *Lat. Am. J. Sci. Educ*, 8, 12006.
- 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
- Fadaei, A. y Mora, C. (2015). An Investigation About Misconceptions in Force and Motion in High School. *US-China Education Review*. 5.

- Fernández, F. (2002). El análisis de contenido como ayuda metodológica para la investigación. *Revista de Ciencias Sociales (Cr)*, II(96).
- Garrido A. (2016). Modelització i models en la formació inicial de mestres de primària des de la perspectiva de la pràctica científica. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona. https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2016/hdl_10803_399837/age1de1.pdf
- Harlen, W. (2010) Principios y grandes ideas de la educación en ciencias. *Association for Science Education*.
- Harres, J. (2002). Desenvolvimento histórico da dinâmica: referente para a evolução das concepções dos estudantes sobre força e movimento. *Revista Brasileira De Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 2(2).
- Hernández, C. y Tecpan, S. (2018). Correct answers with wrong justifications? Analysis of explanations in classical mechanics with FCI test. *Journal of Physics: Conference Series*. 1043. 012056. 10.1088/1742-6596/1043/1/012056.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (6a. ed.). McGraw-Hill.
- Hestenes, D., Wells, M. y Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*. 30. 141-158. 10.1119/1.2343497.
- Izquierdo-Aymerich, M., & Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological Foundations of School Science. *Science and Education*, 12(1), 27–43. doi:10.1023/a:1022698205904
- Liu, G. & Fang, N. (2019). *Student Misconceptions about Force and Acceleration in Physics and Engineering Mechanics Education*. *International Journal of Engineering Education*. 32. 19-29.

- Millán G., y López, N. (2011) Predecir, observar, explicar e indagar: estrategias efectivas en el aprendizaje de las ciencias. *Educación Química* 9(1), 4-12. DOI: <https://doi.org/10.2436/20.2003.02.63>
- MINEDUC. (2016). Programa de Estudio Ciencias Naturales, Segundo Medio. https://www.curriculumnacional.cl/614/articulos-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>
- Peduzzi, L.; Zylbersztajn, A (1997). La física de la fuerza impresa y sus implicaciones para la enseñanza de la mecánica. *Enseñanza de las ciencias*, V. 15(3). 351-359. DOI 10.5565/rev/ensciencias.4163
- Rothman Institute of Philosophy (2016). 16 de Mayo de 2016. Paul Thagard: Conceptual Change in the Brain Revolution. [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=sZBGvzp-LCo>
- Salas Blas, Edwin. (2013). Diseños preexperimentales en psicología y educación: una revisión conceptual. *Liberabit*, 19(1), 133-141.
- Saquinaula-Brito, J. y Panchez-Hernández, R. Alternative Conceptions in the Study of Newton's Laws through Questionnaire to Students Of the Career of Engineering. *Revista Cubana de Física*, [S.l.], v. 36, n. 2, p. 132-138, dec. 2019. ISSN 2224-7939.
- 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.

- Soto, M.; Couso, D y Pintó, R. (2021). Modeling in Pre-service Secondary School Teacher Education: developing a School Scientific Model of Energy. *Journal of Physics: Conference Series*. 1929. 012087. 10.1088/1742-6596/1929/1/012087.
- Taber, K. (2017). Models and Modelling in Science and Science Education. 10.1007/978-94-6300-749-8_20.
- Thagard, P. (1990). Concepts and Conceptual Change. *Synthese*, 82(2), 255–274. <http://www.jstor.org/stable/20116749>
- Thagard, P. (1992). *Conceptual revolutions*. Princeton University Press.
- Velazco, N., Gandolfo, N. y Buteler, L. (2021) La investigación basada en el diseño: revisión en Argentina. *REVISTA DE ENSEÑANZA DE LA FÍSICA*, Vol. 33, no. extra,
- Vygotsky, L. (1978). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*.
- Windschitl, M, Thompson, J. y Braaten, M. (2018). *Ambitious Science Teaching*.
- 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.. Retrieved from <https://repository.usfca.edu/diss/552>
- Yao, J., & Guo, Y. (2018). Validity evidence for a learning progression of scientific explanation. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(2), 299-317. Doi: 10.1002/tea.21420.

ANEXOS:

Anexo I: Instrumento de recogida de datos inicial y final.³

Bibliografía asociada al anexo I:

Harres, J. (2002). Desenvolvimento histórico da dinâmica: referente para a evolução das concepções dos estudantes sobre força e movimento. *Revista Brasileira De Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 2(2).

Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*. 30. 141-158. 10.1119/1.2343497.

Anexo II: Guías de trabajo para la sesión 1, 2 y 3.

Anexo III: Validación de instrumento por pares.

Anexo IV: Validación de instrumento por expertas.

³ Nótese que el uso del término “objeto” en vez de “cuerpo” fue una decisión deliberada y en base al pilotaje de la prueba en un primer grupo, donde el estudiantado asoció “cuerpo” a seres vivos, desviando las respuestas. Para evitar esto, se optó por la palabra “objeto”.