

Integrando predicción y diseño: engranajes con impresión 3D en la enseñanza del movimiento circular uniforme

Sebastián Cifuentes Olivares

Colegio Internado Alemán, Villa Alemana

sebastian.cifuentes.o@mail.pucv.cl

Resumen

La física ha contribuido significativamente al avance tecnológico, y con su marco se han desarrollado herramientas tan indispensables como las máquinas mecánicas, que han avanzado drásticamente durante los últimos siglos. Sin embargo, su complejidad suele dificultar el entendimiento de esta. Este desafío ha llevado a avances en la enseñanza de la ciencia, incluyendo el uso de secuencias didácticas adaptables a diferentes niveles y enfoques. Una respuesta a este desafío es lo que se propone en la presente secuencia de enseñanza y aprendizaje, basada en el marco de la indagación científica, y a través del diseño de actividades bajo un ciclo de predicciones reiterativas creado para la secuencia, con enfoque en la habilidad de la predicción científica. Se busca crear una conexión entre la bajada realista de un contenido abstracto como el movimiento circular uniforme, a través de materiales educativos fabricados en impresión 3D, con una habilidad fundamental para el conocimiento científico como lo es predecir. El objetivo principal del desarrollo e implementación de esta secuencia didáctica fue analizar el nivel de predicción científica entre la primera y última actividad de una secuencia de enseñanza y aprendizaje con foco indagatorio sobre el contenido de movimiento circular uniforme utilizando engranajes impresos en 3D en un 3°M electivo de Física de un colegio de Villa Alemana. Los resultados indican una mejora general en las capacidades de predicción científica, y entregan información sobre algunas características del ciclo propuesto para la secuencia referentes a su complejidad cognitiva y a la formulación de relaciones matemáticas emergentes.

Palabras clave: Predicción Científica, Movimiento Circular Uniforme, Secuencia Didáctica, Impresión 3D, Engranajes

Introducción

El movimiento Circular Uniforme

El movimiento circular uniforme (MCU) es definido como aquel en que un objeto se mueve alrededor de un punto fijo, recorriendo distancias angulares iguales en lapsos idénticos, haciendo que cada punto del cuerpo describa una trayectoria circular en torno al centro. En estos escenarios, la velocidad que lleva el cuerpo (velocidad lineal en adelante) se mantiene constante, mientras su dirección cambia continuamente para mantenerlo en una trayectoria circular.

Algunas de las manifestaciones físicas más conocidas del MCU son los

movimientos de órbita planetarios, el movimiento de las ruedas de un automóvil, el movimiento de las hélices de los aviones e incluso el movimiento de las partículas cargadas en un campo magnético uniforme. Esta última aplicación es de particular importancia para la física moderna, ya que se utiliza para movilizar partículas subatómicas dentro de los aceleradores de partículas.

Algunos ejemplos más cercanos a la aplicación industrial que quedan enmarcados en la noción de MCU son las máquinas de procesamiento de alimentos, que utilizan sistemas mecánicos con un gran torque para mezclar o amasar alimentos, o dentro de las cajas de cambio de los automóviles, que utilizan principios del movimiento circular para variar la magnitud de la velocidad del automóvil, y a su vez la fuerza que es capaz de ejercer sobre el suelo. Otra aplicación ampliamente extendida es la de las cajas de reducción de los motores, que utilizan una serie de engranajes para variar el torque que es capaz de realizar dicho motor.

Una base detrás de los estos ejemplos es que utilizan sistemas de múltiples movimientos circulares que interactúan entre sí, específicamente a través de engranajes, lo que representan una de las aplicaciones mecánicas más conocidas y extendidas dentro de la industria, y son en toda norma, inseparables de la noción de MCU. En resumen, los engranajes son componentes esenciales en una amplia variedad de sistemas mecánicos, desde vehículos hasta maquinaria industrial. Su capacidad para comunicar varias piezas que describen un MCU y así controlar el movimiento es fundamental para el funcionamiento eficiente y preciso de estos sistemas.

Aun con lo mencionado previamente, dentro de los libros de texto, es extraño el caso en que se mencionen las aplicaciones industriales del MCU, siendo usualmente enfocada esta noción solamente desde la visión física-teórica, y en el estudio de sistemas que no generan interacciones entre movimientos circulares.

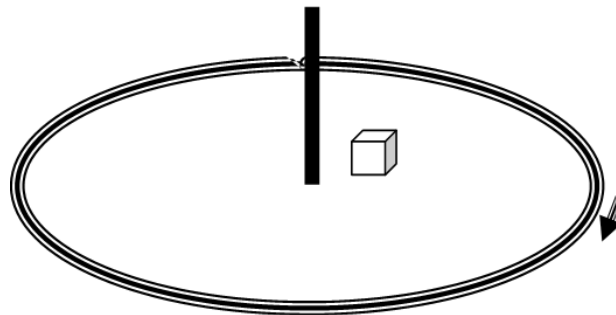


Figura 1. Ejemplo de Uso de Casos para el Movimiento Circular. *Nota.* Reproducida desde el pretest de 18 preguntas de Canlas (2015). The Use of Case Analysis in Teaching Circular Motion. *International Journal of Education and Research*, 391 – 400.

Un desarrollo más avanzado del análisis de algunos libros de texto será presentado más adelante. Además, dentro de la investigación académica del tópico (Canlas, 2015, 2016; McCloskey et al., 1980), este patrón se repite, siendo mayoritario el estudio didáctico del MCU teórico, que el dedicado a la interacción entre movimientos circulares (Lehrer & Schauble, 1998; Metz, 1985).

Esta falta de visión de la física aplicada en la industria va en contraposición del increíble poder práctico que lleva esta misma (Feynman, 1963), y, aunque no es el foco de este estudio explicar en esto, a juicio personal es una crítica que debemos hacernos todos aquellos que implementamos dichos libros.

La importancia de enseñar MCU a través de engranajes

Ya se ha planteado la relevancia de los engranajes en los sistemas mecánicos, y el cómo la interacción de varias piezas que describen un MCU genera posibilidades industriales inmensas, presentes en muchas de las máquinas que utilizamos hoy (Lehrer & Schauble, 1998). Sin embargo, vale la pena argumentar por qué incluir estas formas de enseñar el tópico son realmente indispensables.

Uno de los motivos es que la modernización tecnológica viene de la mano del desarrollo industrial, en una gran y pequeña escala. Este objetivo es tratado dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) presentados por las Naciones Unidas, con foco en la educación, específicamente dentro del objetivo número 4.4, que indica que se busca “de aquí a 2030, aumentar considerablemente el número de jóvenes y adultos que tienen las competencias necesarias, en particular técnicas y profesionales, para acceder al empleo, el trabajo decente y el emprendimiento” (Naciones Unidas, 2018)

La capacidad de lidiar con problemas tecnológicos relacionados a máquinas de engranajes queda, lógicamente, de la mano con comprender *como* funcionan dichos engranajes, y esto a su vez entrega las herramientas para poder lidiar con ellas, y utilizarlas dentro del emprendimiento y el avance socioeconómico que esto significa (Feynman, 1963)

A su vez, la comprensión del funcionamiento de los engranajes como herramienta mecánica permite una mayor modernización tecnológica, que coincide con lo esperado por el objetivo 8.2 de los ODS, que busca “lograr niveles más elevados de productividad económica mediante la diversificación, la modernización tecnológica y la innovación, entre otras cosas centrándose en los sectores con gran valor añadido y un uso intensivo de la mano de obra” (Naciones Unidas, 2018)

Por todo lo anterior, se consideró que es en extremo relevante la inclusión de engranajes en la enseñanza del contenido de MCU, ya que esto podría permitir una mejor alfabetización tecnológica por parte de los ciudadanos (Ortega, 2009) y encaminar a la sociedad que estos construyan a una ruta más sostenible y con mejores condiciones.

Con respecto al contenido a nivel nacional, el fenómeno planteado por Canlas (2015) parece repetirse, y tras un breve análisis de los contenidos de Física entregados por la planificación del Ministerio de Educación (Mineduc), en los planes y programas queda clara la poca relevancia entregada al MCU, ni siquiera siendo incluido de forma explícita en el currículo. De hecho, si se hace una comparación entre los libros de texto entregados por Mineduc de los años 2009 hasta el 2021, este contenido fue desapareciendo gradualmente en cantidad de páginas y relevancia en la guía del profesor.

Aun con esto, el objetivo de aprendizaje entregado para el curso por el Ministerio es “analizar el movimiento de cuerpos bajo la acción de una fuerza central en diversas

situaciones cotidianas o fenómenos naturales, con base en conceptos y modelos de la mecánica clásica.” (Mineduc, 2021)

Al hacer referencia a fuerzas centrales, se está conectando con el movimiento rotacional, por lo que es indispensable que dicho contenido tenga una teoría sólida para poder alcanzar el objetivo propuesto.

El movimiento circular queda invisibilizado a simple vista dentro de “aplicación de fuerzas centrales”, siendo que es un modelo mecánico propiamente valioso fuera del contenido explicitado. Además, este fenómeno es observado a escala global, como muestra Searle (1985), o, tal como menciona Canlas (2015), “Se ha demostrado que no es un contenido visto entre los más relevantes por los profesores de física” (p.391)

Sobre este tópico, puede haber diversos motivos por los que la relevancia del contenido sea puesta en duda por los docentes, y no es el objetivo de este trabajo explorar estas razones, con motivo en su amplia investigación por parte de otros autores (Canlas, 2016; Searle, 1985; Gunstone, 1984). A su vez, Canlas (2015) menciona que en años recientes se ha probado que la aplicación de secuencias didácticas parece ser efectiva para la enseñanza de este contenido.

Las Secuencias Didácticas y los Ciclos de Aprendizaje

Las secuencias didácticas, o de enseñanza y aprendizaje (SEA), son definidas como una serie de actividades ordenadas (Bingham & Davis, 2012; Lawson, 1994), de forma tal que su estructura entregue una alternativa a la forma habitual (usualmente expositiva) de enseñar el tópico en cuestión, y así obtener un resultado superior en el aprendizaje de cierto contenido (Astudillo, Rivarosa, & Ortiz, 2011)

Al ser una estructuración de contenidos, es complejo definir un origen histórico para las SEA, ya que posiblemente, la necesidad de compartir nuestro conocimiento con otros exista desde que se generaron nuestras capacidades cognitivas. Aun así, hay una gran cantidad de las SEA que se basan en las ideas desprendidas del constructivismo, corriente pedagógica que indica que el aprendizaje se adquiere por parte de los estudiantes a través de la construcción paulatina de este (Coloma y Tafur, 1999), por lo que es lógico pensar que una correcta planificación y secuenciación, enfocada en el objetivo que se desea, debe estar a la mano del aprendizaje de dicho contenido.

Al ser una temática con un objetivo específico, el trabajo arduo de los didactas ha permitido que dichas estructuraciones sean cada vez más efectivas, generando así pautas a seguir, que entregan directrices claras sobre el cómo lograr diferentes dimensiones del aprendizaje de cierto contenido. A estas directrices, altamente justificadas en la teoría y la práctica, se les ha llegado a llamar ciclos de aprendizaje, los cuales responden a su vez, a diferentes focos didácticos a seguir.

El origen de los ciclos de aprendizaje viene de la mano de Robert Karplus, que postula que, para explorar un contenido, este debe ordenar en las fases de exploración, problematización y aplicación (Fuller, 2003; Lawson, 1994). Es en este origen que nacen

los demás tipos de ciclos de aprendizaje, y por ello, en mayor o menor medida, se asemejan bastante a la estructura de Karplus.

Lawson (1994), haciendo un análisis histórico del trabajo de Karplus et al. (1968), define las secuencias de enseñanza entre aquellas descriptivas, empírico abductivas e hipotético deductivas, cada una apuntando a un aprendizaje homónimo. No es parte de este trabajo el definir cada una, sin embargo, es útil mencionar lo anterior debido a la relevancia que posee la predicción de situaciones en todas las formas mencionadas.

De acuerdo con el autor, es en los ciclos de aprendizaje que apuntan a un aprendizaje de tipo hipotético deductivo donde la carga del estudiante recae en mayor medida en la deducción de consecuencias a través de predicciones, lo que da un gran peso a las capacidades de pensamiento del estudiante (Lawson, Abraham, & Renner, 1989), y por lo mismo, será esa la forma que se intentará alcanzar con la presente secuencia.

Teniendo esto en mente, el reto teórico y metodológico del presente trabajo radica en visualizar lo siguiente: ¿Podría crearse un ciclo para enseñar a predecir *científicamente*? ¿Cómo podría un docente evaluar una habilidad tan abstracta como la predicción científica? Y por último, ¿Puede llevarse a la práctica de la enseñanza algo tan abstracto como la predicción científica en un tema tan complejo como el movimiento circular uniforme?

Marco de referencia

El aprendizaje científico y la importancia de la predicción

Volviendo a los ciclos de aprendizaje, hay que destacar su semejanza en la forma de generación de conocimiento científico, siendo el caso de los aprendizajes de tipo empírico inductivo e hipotético deductivo, que solo difieren de forma causal, tal como puede comprenderse desde la visión de construcción de los saberes científicos (Giere, 1991; Lawson, 1989).

Para Lawson (1989), el pensamiento científico de tipo hipotético deductivo comienza desde el modelo primitivo, no científico, generado de forma inductiva, y tras la predicción y evaluación de la evidencia, genera nuevos conocimientos, que servirán de fuente para futuras predicciones, con un carácter más científico que las anteriores, siendo así fundamentales para la construcción de modelos de saberes futuros. Esto guarda gran similitud con el modelo planteado por Giere (1991), el que además agrega dos puntos externos al diagrama básico, que hacen referencia a la evaluación del modelo construido por supuestos, y la confirmación o negación de estos.

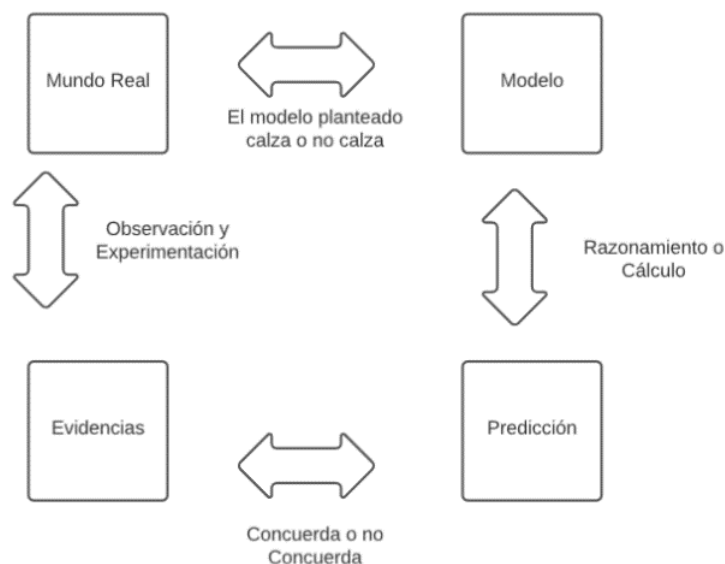


Figura 2. Diagrama de Creación del conocimiento científico. Nota. Traducción propia adaptada desde Giere, R. N. (1991)

Tal como se mencionó, el acto de predecir siempre debe venir desde un modelo planteado por el sujeto, que, en el caso de la ciencia, debe ser fundamentado en saberes confirmados previamente. Dicho de otra forma, este modelo de saberes debe estar basado en una serie de *supuestos lógicos*, que actúan de piedra angular en la predicción (Lawson, 1994), y son evaluados (confirmados o refutados) tras la debida experimentación.

Dentro del trabajo de las secuencias que buscan un aprendizaje hipotético deductivo, Lawson (1994) menciona que se precisa de herramientas que muchas veces pueden ser difíciles de conseguir, y también expresa que una posible dificultad es la carga mental que supone para el estudiante la contrastación de predicciones y supuestos.

El Foco Indagatorio y una Propuesta de Ciclo de Predicciones Reiterativas (CPR).

Respecto al diseño de la secuencia, y teniendo en cuenta lo anterior, se consideró fundamental que el estudiante sea capaz de realizar la experiencia de contraste entre las predicciones y la realidad, tal como lo indica la forma de secuenciación hipotético-deductiva, ya que esto permite generar un aprendizaje por descubrimiento, tal como lo define Ausubel (Coloma y Tafur, 1999).

A su vez, en orden de poder evaluar la validez de sus predicciones, y por ende de sus supuestos, el estudiante construyó los significados basándose en a la congruencia existente entre las comprobaciones previas con las actuales, lo que se espera que haya generado un aprendizaje de tipo significativo. Estos dos puntos son fundamentales, debido a la relación clara que tienen con la forma en que se construye la ciencia, siendo definidos también por Ausubel como aquellos aprendizajes que generan la investigación científica (Coloma y Tafur, 1999)

Esta necesidad de abordar la forma de investigación científica nacida desde el constructivismo dio paso al foco de enseñanza basado en la indagación científica (Inquiry based learning), que puede ser definida como aquella en que los estudiantes son capaces de

generar aprendizaje a través de la exploración personal o guiada de experiencias científicas (Lipman, 2003).

Para el diseño de esta secuencia, se le dio una particular importancia al acto de la predicción científica, con motivo de su relevancia en todos los tipos de aprendizaje mencionados previamente.

Además, en un nivel más cercano a la naturaleza de la ciencia, se consideró que el acto de predicción es fundamental para la disciplina de una forma tan particular, que la diferencia de cualquier otra rama del conocimiento, y le confiere una capacidad única de modificar acontecimientos aun no ocurridos (Bunge, 1959). El mismo autor le entrega además el rol de ser perfectible, siendo para el más importante esta cualidad que la certeza de la predicción, lo que a su vez conecta con la forma de ciclo repetitivo en su evaluación de las predicciones, pauta que será guía en la confección del CPR creado como parte de esta secuencia.

Ahondando en dicho ciclo, fue la predilección hacia la habilidad de predecir que condicionó el diseño de la secuencia didáctica actual hasta el ciclo de aprendizaje POE, al cual se le realizaron algunas modificaciones en orden de robustecer aspectos poco tratados en el mismo, y así entregarle mayor énfasis en la habilidad de la predicción, agregando una fase de identificación de supuestos y una de evaluación de estos, que serviría para generar nuevos principios abductivos (Lawson, Abraham, & Renner, 1989) y que actuarían de pilares en los modelos futuros, forzando en el estudiante la necesidad de congruencia entre la concatenación de actividades a realizarse. Este principio fue desprendido desde los ejemplos entregados por Giere (1991).

Además, se modificó la fase de explicación, ya que, tanto en los modelos de Lawson (1994) como de Giere (1991) del conocimiento científico, como en el modelo de ciclo indagatorio presentado por Pedaste (2015), se hace referencia a los cálculos como una forma alternativa del razonamiento, sin embargo, no se explora mayormente dicha diferencia.

Es por esto por lo que, dentro del ciclo, se incluyó una fase de relacionar variables, considerando esta una parte fundamental de la creación de modelos matemáticos (Saglam-Arslan y Arslan, 2010). que a su vez son fundamentales para el aprendizaje de la física (Feynman, 1963), y por ello se consideró relevante el separar la fase de conclusión de la fase de relación, tal que la formación simbólica del modelo matemático quedase explicitada de mejor manera. Cabe destacar que la inclusión de estas fases también alude a una posible falencia de los ciclos indagatorios planteados por la literatura, especialmente a aquellos que plantean gran relevancia del espacio de hipotetización (White y Frederiksen, 1998), que parecen plantear dicha componente de forma implícita. Cada una de estas fases está definida con mayor énfasis en la tabla 1.

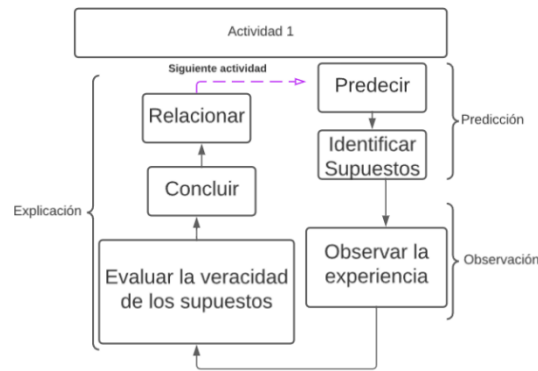


Figura 3. Diagramas del Ciclo de Predicciones Reiterativas comparado con el ciclo POE tradicional.

Una propiedad interesante del ciclo planteado es su carácter de espiral ascendente, en el que difiere con las ideas planteadas como ciclo indagatorio por Bybee (2006), cuyo ciclo termina en una fase de evaluación, en vez de una nueva fase predictiva, lo que genera una posible falta de aprendizaje abductivo. De igual manera, esta forma reiterativa del ciclo guarda similitud con la idea de planteamientos futuros expuesta en el ciclo de Pedaste (2015) o el ciclo indagatorio planteado por White y Frederiksen (1998).

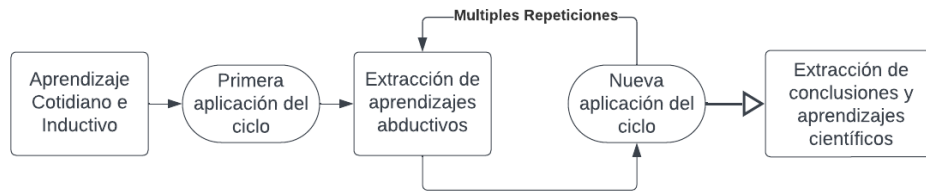


Figura 4. Diagrama de aplicación del Ciclo de Predicciones Reiterativas

Tabla 1. Fases del Ciclo de Predicciones Reiterativas.

Fase del ciclo	Explicación
Predicción	En esta fase se espera que los estudiantes sean capaces de realizar una predicción previa a la experiencia. Se emplea el uso de dibujos como forma de explicitar las características físicas del movimiento descrito. Puede incorporarse una fase de discusión de las predicciones, pero este punto queda pendiente a una iteración futura de la secuencia.
Identificación de supuestos	Se espera que los estudiantes sean capaces de identificar que supuestos utilizaron para llegar a la predicción anterior. Esto con motivo de separar la predicción científica de una adivinanza. Se espera que estos supuestos sean los que guíen la extracción de conclusiones y relaciones futuras. Cabe mencionar que los supuestos difieren de las justificaciones, ya que los primeros guían a la predicción, mientras que los segundos poseen un carácter explicativo.

Evaluación de los supuestos	Se evalúa la veracidad de los supuestos realizados en función al nivel de acierto que posean en la predicción realizada. Los estudiantes deben concluir que supuestos justifican su predicción en caso de cumplirse a cabalidad, y cuales justifican el incumplimiento de esta.
Conclusiones	Los estudiantes realizan la síntesis de lo extraído tras la evaluación de los supuestos, indicando aquellos que consideran son válidos, y por ende serán útiles para la aplicación de la siguiente predicción dentro de la actividad que viene.
Relaciones matemáticas	En esta fase los estudiantes se aventuran a realizar una relación matemática entre las variables expresadas. No hay necesidad de que dicha relación sea expresada simbólicamente, sin embargo, si es preciso que se les indique que se espera algún tipo de proporcionalidad.

La estructura de espiral del ciclo dio paso a la formación de macroactividades, con sus respectivos materiales educativos, donde cada una cuenta con al menos 3 actividades, que varían en nivel de dificultad, y están pensadas en que cada conclusión extraída por actividad sea un supuesto necesario en la actividad consecutiva. A su vez, cada macroactividad es fundamental para la aplicación de la siguiente.

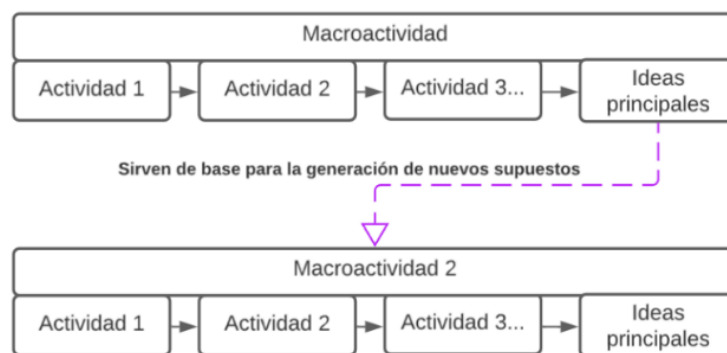


Figura 5. Diagrama de la estructuración de las actividades dentro de la secuencia didáctica.

Análisis curricular de los textos

Previamente ya se ha hablado sobre la disposición de algunos libros de texto con respecto a la temática del MCU. Es preciso abordar la visión ministerial del mismo, que fue mayormente abordada por lo entregado a través del libro de texto de Física para III y IV Medio del año 2014. El texto fue elegido ya que es el último texto para el estudiante que incorpora los contenidos de movimiento circular explícitamente, y por esto resulta más explicativo en este tópico que el libro guía actual (Mineduc, 2021).

Para ahondar aún más en la concepción curricular del tema, a continuación, se presentan los resultados del análisis realizado a algunos textos educativos. Se incluye al texto anterior, y se agregarán además el libro para el docente actual entregado por el ministerio (Mineduc, 2021), y el libro de Física Conceptual de Hewitt (2007).

La elección texto del 2021 radica en su pertinencia, y es una decisión lógica debido a su rol en el modelo nacional moderno de enseñanza de la física.

En cuanto al texto de Hewitt (2007), se incorporó debido a que está fuertemente inclinado hacia una línea editorial de tipo conceptual antes que simbólica, lo que representa un punto de vista diverso.

Los textos serán analizados en función de las páginas en que se incorpora la noción científica a tratarse, y en base a los fenómenos presentados para la explicación y las imágenes utilizadas en la secuenciación de contenidos.

Tabla 2. *Libros para análisis de la noción científica.*

ID	Autores	Editorial	Páginas
L1	Física Conceptual de Paul G. Hewitt (2007)	Pearson Educación	131- 133
L2	Física para III y IV Medio. Jimmy Muñoz Rodríguez. Elaborado para Mineduc (2014)	Zig-Zag. Elaborado para Mineduc	11- 27
L3	Programa de Estudio Física 3° o 4° medio (2021)	Ministerio de Educación	65- 75

Análisis de los fenómenos que se sugieren para el estudio del MCU presentes en los textos

L1: El texto utiliza en su totalidad fenómenos macroscópicos para expresar los conceptos, como lo son por ejemplo los discos girando con caricaturas de insectos sobre ellos, o el giro de un vaso plástico formado por dos circunferencias de radios diferentes. Sobre este ejemplo es preciso destacar que se incluyen conceptos básicos de circunferencias de forma implícita, ya que el giro del vaso ocurre por su diferencia en los radios de las circunferencias que lo forman, lo que a su vez genera una conexión con su distancia de arco, y a su vez esto genera un MCU.

A modo de crítica, el libro no presenta relaciones simbólicas en forma de ecuación, y aun cuando se explicita la proporcionalidad, personalmente no considero que se haga el suficiente hincapié en esta dimensión. Además, pese a mencionarse la direccionalidad de forma implícita en experiencias como la del corte de hilo en un objeto giratorio, no se aplica mayor énfasis en la parte vectorial de la mecánica circular.

La cantidad de espacio dedicada al tema de MCU que hay en el texto es bastante reducida, no contando con un capítulo propiamente tal, ya que es visto como un caso particular de la mecánica rectilínea.

L2: El texto guía mencionado denota un esfuerzo en incluir fenómenos macroscópicos de movimientos circulares para dejar implícitas algunas características, como el radio de giro o la rapidez tangencial. Un ejemplo de esto es la caída de objetos cilíndricos por un plano, o el uso de objetos amarrados por un hilo que se hacen girar con rapidez angular constante.

Dentro del tema de la rapidez angular, el texto usa fenómenos relativamente realistas, como lo es el caso del neumático con una piedra que sale disparada (que explicita la direccionalidad de la velocidad lineal), los satélites que orbitan la tierra, que entregan rapidez angulares bastante altas, o el caso de un reloj, que actúa como extremo del caso anterior.

Una particularidad del libro es que presenta un escenario de transmisión entre movimientos giratorios, para comparar rapidez angular y lineal. Sin embargo, no ahonda

mucho más en este tema, y solo lo presenta como un concepto desconocido por el estudiante, y no como un escenario con múltiples fenómenos posibles como se espera trabajar en la SEA.

L3: El libro del docente del año 2021 posee un foco metodológico radicalmente diferente a los anteriormente descritos. Al ser una guía para el docente, la secuencia de presentación de los temas es mucho menos explícita. Sin embargo, en la presentación de fenómenos explicativos, entre mayormente escenarios realistas, como los juegos tagadá, los autos al entrar en una curva o la tierra misma como escenario de rotación circular uniforme. Estos fenómenos son acompañados de preguntas, que en casi todos los casos buscan que el docente las aplique para determinar el valor de alguna variable.

Un fenómeno en particular que es digno de análisis es el de la rotación de las mareas en los océanos, que entrega un escenario de múltiples cuasi rotaciones, sin embargo, solo se presenta y no entrega mayores guías sobre el cómo aprovecharlo en la explicación de un fenómeno.

Análisis del uso de imágenes en los textos

Respecto al uso de imágenes referenciales presentes en los textos, se realizó un breve análisis sobre los textos mencionados previamente, de acuerdo con el criterio de su función en la SEA en que aparecen (Perales y Jiménez, 2002).

Tabla 3. Observaciones respecto al uso de imágenes de los textos

Libro	Observaciones
L1	El texto presenta una tendencia hacia la descripción, definición e interpretación, de forma casi consecutiva. Un detalle en particular es que pese a ser un texto conceptual, no se presentan imágenes por evocación
L2	Se denota una tendencia hacia la descripción utilizada en ecuaciones y a la definición para contextualizar problemas de planteo. Esto es un rasgo altamente criticado en la literatura, que denota el carácter mecanicista de la física bajo la mirada clásica de su enseñanza (Tobón & Perea, 2016; Pesantez et al., 2017).
L3	El texto está destinado al profesor, por lo que se esperaba que su uso de imágenes fuera tendiente a la problematización, sin embargo, hay una clara tendencia hacia la aplicación, con solo una imagen destinada a problematizar, y una a evocar una situación conocida.

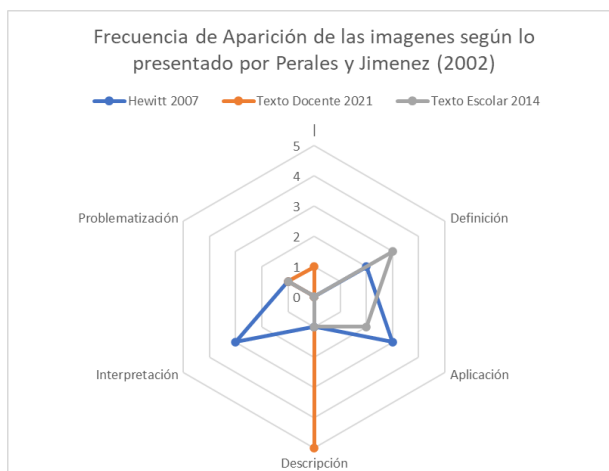


Figura 6. Gráfica de la tendencia de uso de imágenes en los textos elegidos sobre la noción científica de MCU. Nota. Clasificación en función del uso de los fenómenos según lo expuesto por Perales y Jiménez (2002).

Revisión de las concepciones alternativas

A continuación, se presenta un breve listado generado tras la revisión bibliográfica de publicaciones dedicadas a la búsqueda de concepciones alternativas en estudiantes, específicamente sobre el contenido de MCU.

Se consideró relevante la inclusión de este contenido debido a la importancia que se le da en la literatura especializada a la resistencia cognitiva producida por estos (Hamza, 2008).

La incorporación de estas ideas en el diseño de las actividades será discutida como parte del análisis de actividades propuestas, sin embargo, es destacable que gran parte de ellas escapa a los contenidos curriculares que se consideran para esta versión inicial de la SEA. En futuras actualizaciones se espera incorporar en mayor medida diferentes tópicos avanzados junto a sus concepciones alternativas, como ocurre con rapidez tangencial, torque o fuerzas centrales.

Tabla 4. Revisión de las concepciones alternativas más frecuentes respecto al MCU.

Texto académico sobre la noción científica	Concepciones asociadas
<i>University Students' Alternative Conceptions on Circular Motion.</i> (Canlas, 2016)	<ol style="list-style-type: none"> 1. La rapidez tangencial es inversamente proporcional al radio del objeto. 2. Fusión de los contenidos de Rapidez Angular y Rapidez Tangencial. 3. Fusión de los contenidos de Rapidez y Velocidad.

<i>Circular Motion Concepts of First Year Engineering Students</i> (Searle, 1985)	<ol style="list-style-type: none"> 1. El giro con rapidez angular constante implica que no existe una fuerza central. 2. Fuerzas Centrales y Velocidades Lineales pueden ser sumadas entre sí. 3. Existe una fuerza lineal que apunta en la misma dirección de la rapidez lineal.
<i>Circular Motion: Some Post-Instructional Alternative Frameworks</i> (Gardner, 1984)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los objetos tienden a seguir una trayectoria curvilínea tras salir del MCU 2. Fuerzas Centrales y Velocidades Lineales pueden ser sumadas entre sí, debido a una fusión entre ambos conceptos.
<i>Circular Motion: Some Pre-Instruction Alternative Frameworks</i> (Gunstone, 1984)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Existe una fuerza lineal que apunta en la misma dirección de la rapidez lineal. 2. Los objetos tienden a seguir una trayectoria curvilínea tras salir del MCU
<i>Curvilinear motion in the absence of external forces: Naive beliefs about the motion of objects. Science</i> (McCloskey et al., 1980)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los objetos tienden a seguir una trayectoria curvilínea tras salir del MCU. 2. Mientras más curvada sea la pista (entre más giros presente, por ejemplo) más tendiente al centro será la curva realizada por el objeto tras salir del MCU.

Estos análisis llevaron a la toma de algunas decisiones referentes al marco teórico que guiará al diseño de la secuencia didáctica. Una de ellas fue la división de la noción científica a enseñarse en varias subpartes, que abarcan diferentes macroguías, como son presentadas a continuación:

1. La transformación de unidades de angulares, siendo representada por las macroguías de actividades 1 y 2.
2. La relación de la distancia de arco o distancia lineal, la posición angular y el radio de giro, siendo representado por la macroguía número 3. Esto es fundamental, ya que la distancia lineal es fundamental para el concepto de rapidez lineal, que a su vez es parte de varios de los preconceptos presentados.
3. La regla de transmisión de los engranajes, que es representada en la macroguía 4, siendo así la subparte de la noción científica que apunta al mayor nivel de complejidad cognitiva por parte de los estudiantes.

A su vez, se seleccionaron algunas concepciones alternativas que podrían llegar a ser trabajadas durante la aplicación de la secuencia, siendo específicamente las relacionadas con la rapidez lineal y la direccionalidad del giro (Gunstone, 1984; Gardner, 1984; Canlas, 2016).

Los objetivos esperados y sus respectivos indicadores de evaluación quedan graficados en el mapa de progreso esperado para la aplicación de la secuencia (Figura 7)

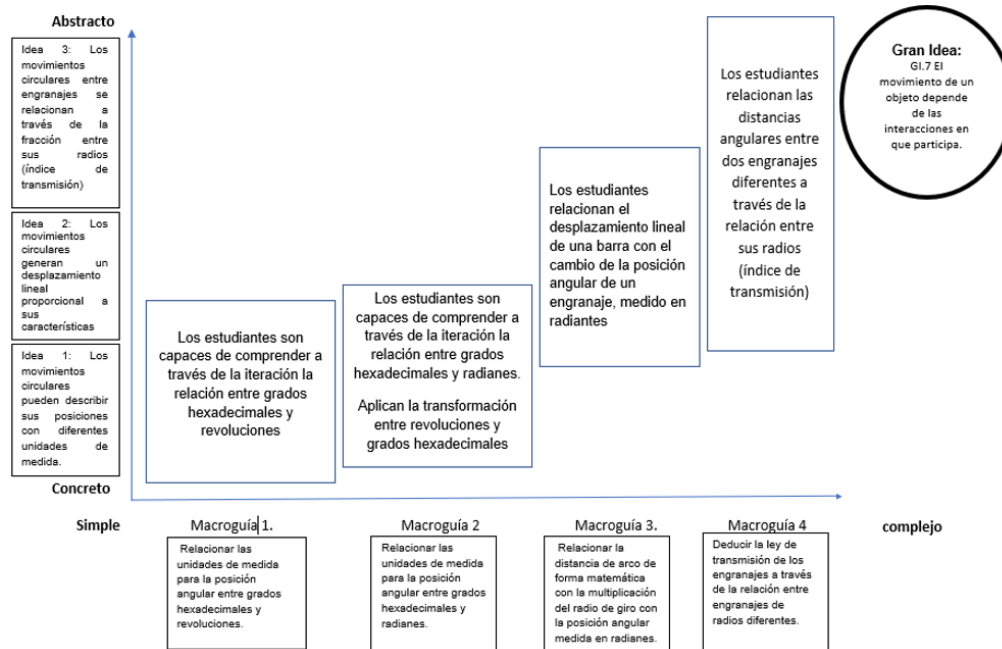


Figura 7. Mapa de progreso general de la Secuencia Didáctica. Nota. En el eje vertical se aprecian las subdivisiones de la noción científica, y en el eje horizontal los objetivos de cada macroguía. Los indicadores de progreso están ordenados por avance de actividad para llegar a la gran idea de la ciencia número 7 según lo propuesto por Mineduc (2021).

Metodología

Caracterización de la investigación

La presente secuencia fue diseñada bajo el enfoque metodológico de una investigación basada en el diseño (IBD). La metodología en cuestión se caracteriza por ser de tipo iterativa, en constante mejora, y con un foco en la resolución constante de problemas. Con respecto a la IBD, resulta relevante lo planteado por De Benito y Salinas (2016), que indican que “la investigación basada en diseño se ocupa de problemas reales que son identificados por los profesionales en la práctica” (p.45)

Sobre el diseño de la secuencia, se tuvo en consideración los pasos planteados por los autores ya mencionados, que indican la recursividad de la metodología, planteados de la forma mostrada en la figura 8.

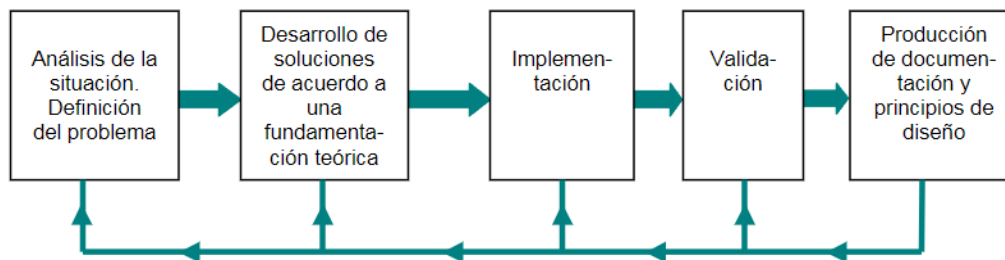


Figura 8. Proceso de la IBD. Nota. Reproducido desde de Benito y Salinas (2016).

El presente estudio fue planteado como un estudio de casos de tipo transversal, de carácter cuasiexperimental, obteniendo mediciones cuantitativas como parte de cada actividad final presente en las macroguías 1 y 4, sin embargo, debido a las características del estudio, no se descartó el uso de una metodología longitudinal para analizar los casos particulares.

Objetivos de la Investigación

El objetivo general de esta investigación es analizar el nivel de predicción científica entre la primera y última actividad de una secuencia de enseñanza y aprendizaje con foco indagatorio sobre el contenido de movimiento circular uniforme utilizando engranajes impresos en 3D en un 3°M electivo de Física de un colegio de Villa Alemana.

El supuesto planteado tras la implementación fue que habría cierta mejora en la habilidad de predecir científicamente por parte de los estudiantes, tomando el caso de la guía inicial en comparación a la final.

- 1.- Aplicar una secuencia de enseñanza y aprendizaje con foco indagatorio sobre el contenido de movimiento circular uniforme utilizando engranajes impresos en 3D.
- 2.- Comparar el nivel de las predicciones alcanzados por los estudiantes la implementación de la secuencia didáctica.
- 3.- Analizar la eficacia del modelo CPR propuesto para la secuencia en la mejora del nivel de predicción científica de los estudiantes.

Caracterización de la muestra

La unidad didáctica fue abordada en un 3° año medio, como parte del curso de Física Electiva. El curso contó con 25 estudiantes mixtos, que eligieron estar en el curso, teniendo como opción un curso electivo de Química. El contenido fue abordado en segundo semestre, contrario al orden sugerido por los libros de texto escolares en que aún se indicaba explícitamente el orden de contenidos (Mineduc, 2014), ya que se adaptó el currículo para poder implementar la secuencia.

Los estudiantes habían pasado ya por un curso de cinemática y dinámica lineal, por lo que se esperaba que conceptos como rapidez, o el uso de tasas de cambio en el tiempo no presentasen tanta resistencia como lo sería en el caso de no haber existido este antecedente.

Es destacable que el colegio al que pertenecen los estudiantes es de carácter privado, ubicado en la comuna de Villa Alemana, caracterizándose por un alto nivel socioeconómico y educativo por parte de sus apoderados.

VARIABLES DEL ESTUDIO

La variable independiente del trabajo fue la intervención didáctica sobre el contenido de MCU, la cual fue operacionalizada a través de una SEA diseñada bajo un enfoque indagatorio, con el CPR propuesto previamente, optimizado para la habilidad de predicción. El diseño de las guías fue creado para que cada actividad coincidiera con la estructura planteada por el ciclo, que es repetida en múltiples ocasiones para generar un

aprendizaje indagatorio y abductivo, donde se espera que las conclusiones previas puedan ser el sustento para las predicciones realizadas a continuación

En cuanto a la variable dependiente, esta fue tomada como el nivel de predicción científica alcanzado por los estudiantes tras la implementación de las actividades, considerando cada macroguía como un espiral del ciclo propuesto.

Se espera que la aplicación y los resultados extraídos de la presente secuencia sirvan de ejemplo para la recreación de esta, así como para su extrapolación a contenidos de cinemática y dinámica rotacional de mayor dificultad.

Pregunta de Investigación

A su vez, se planteó responder la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es la relación existente entre la aplicación de una secuencia de enseñanza y aprendizaje con foco indagatorio sobre el contenido de movimiento circular uniforme utilizando engranajes impresos en 3D y el nivel de las predicciones realizadas por los estudiantes de un 3°M electivo de Física de un colegio de Villa Alemana?

Diseño del material educativo

En lo concerniente al material, este fue creado para ser concordante con el ciclo propuesto, por lo que todas las guías son similares en estructura. Para mayor ejemplificación, a continuación, se indica la estructura del ciclo presente en cada actividad, a través de la guía de la AA2.3. Se adjuntan a su vez las subdivisiones que fueron hechas en su diseño, que a su vez serán tomadas como unidad de análisis al realizar la cuantificación de estas a través de la rúbrica de análisis.

Radianes y Grados Hexadecimales

Partiendo como se ve en la figura, gira la flecha exactamente 3 radianes.




<p> ¿En qué posición angular, medida en grados hexadecimales, crees que quedará la flecha tras quitar la tapa? Dibuja la posición angular predicha por ti.</p>	<p>SITUACION ACTUAL</p> 	<p>SITUACION PREDICHA</p> 	<p>Unidad de Análisis 1:</p> <p>En esta sección se realiza la predicción, usualmente en forma de dibujo. Corresponde al primer criterio de la rúbrica.</p>
<p>¿Que supuestos guiaron tu predicción?</p>			<p>Unidad de Análisis 2:</p> <p>En esta sección se describen los supuestos. Corresponde al segundo criterio de la rúbrica.</p>
<p>¡REALIZA LA ACTIVIDAD! Ahora haz girar la flecha y luego remueve la tapa para observar su nueva posición angular.</p>			
<p>Tras realizar la actividad... ¿Se cumplió tu predicción?</p> <p>Si. Confirмо los siguientes supuestos:</p>			<p>Unidad de Análisis 3 y 4:</p> <p>En esta sección se extraen las conclusiones y relaciones matemáticas. Se utiliza para el criterio 3 de la rúbrica para la AA final. Este mismo es el espacio para la penúltima actividad, que sirve para el criterio 4 de la rúbrica.</p>
<p>CONCLUSIONES</p>		<p>POSIBLE RELACION MATEMÁTICA</p>	

Figura 9. Ejemplo de ficha de trabajo

En lo que respecta a la medición y cuantificación de datos, se utilizó una rúbrica diseñada exclusivamente para la aplicación de este ciclo, presentada más adelante, la cual fue validada a través de la metodología CVR (Nikolopoulou, 2002), obteniendo un nivel de validez alto (esencial) en las categorías de análisis 1 y 4, mientras que obtuvo valores medios (útil, pero no esencial) en las categorías 2 y 3. Posteriormente se incorporó la retroalimentación presentada por los revisores en las iteraciones hechas a la rúbrica.

Para la cuantificación de los datos se contó con la ayuda de un par experto, y estos fueron analizados de forma posterior a la implementación. Para ello se adaptó el contenido de la rúbrica con el objetivo de abarcar correctamente las respuestas de los estudiantes dentro de sus criterios, y se reiteró el proceso utilizando la AA1, hasta que los criterios de ambos revisores coincidieron en un nivel suficiente, obteniendo un índice de Kappa moderado o alto en cada uno de los criterios.

A continuación, se adjuntan la rúbrica de evaluación (Figura 10), y algunas justificaciones de consignación de dato-código (Figura 11 y 12), similar a lo presentado por (Docktor et al., 2016)

Criterio de Evaluación	Nivel Bajo (1)	Nivel Medio (2)	Nivel Medio (3)	Nivel Alto (4)	Explicación
Criterio de Predicción: Se realiza una predicción coherente con los supuestos que la formularon.	La predicción realizada no es coherente con los supuestos descritos.	La predicción realizada es coherente con algunos de los supuestos descritos.	La predicción realizada es coherente con los supuestos descritos, pero estos no resultan suficientes para explicarla.	La predicción realizada es coherente con los supuestos descritos, y estos resultan suficientes para explicarla.	Se espera que los supuestos descritos sean suficientes para comprender en su totalidad la predicción realizada por el estudiante. En caso de estar sustentada en una justificación, se considerará válida como guía de la predicción.
Criterio de Suposición: Describe cuales fueron los supuestos que guiaron su predicción	No describe los supuestos detrás de su predicción.	Los supuestos identificados son descritos de forma incompleta, o se presentan en forma de justificación en vez de supuesto.	Todos los supuestos quedan descritos, pero algunos de ellos se explican sin mayor profundidad	Todos los supuestos quedan claramente descritos.	La descripción de supuestos está pensada para explicitar mejor estos, por lo que su detalle de debe ser suficiente para ser comprendido claramente, independiente del largo o uso del lenguaje que presenten. Las justificaciones son catalogadas de incompleto, debido a que no son supuestos como tales.
Criterio de Conclusión: El estudiante extrae conclusiones y relaciones lógicas coherentes con lo observado al realizar la experiencia.	El estudiante no extrae conclusiones o relaciones tras realizar la experiencia.	Se extraen conclusiones o relaciones, pero estas carecen de coherencia con lo observado en la experiencia, o no extraen información relevante de la experiencia.	Se extraen conclusiones y relaciones relevantes y coherentes con la experiencia, pero sin concordancia entre sí. Las conclusiones no resultan redundantes entre ellas.	Las conclusiones extraídas son completamente coherentes con la experiencia realizada y con la relación planteada, sin resultar redundantes entre sí.	La fase final del ciclo se centra en la extracción de conclusiones y relaciones lógicas entre variables. Estas últimas no necesariamente deben ser escritas en su carácter simbólico. En caso de no presentarse una relación o de presentarse conclusiones redundantes, se catalogará de incompleto.
Criterio de Incorporación: Las conclusiones extraídas por los estudiantes en la actividad anterior son incorporadas coherentemente como supuestos al plantear la nueva predicción	Las nuevas predicciones no incorporan las conclusiones anteriores como nuevos supuestos.	Algunas conclusiones anteriores son incorporadas como supuestos en la predicción, o estas se intuyen de forma implícita o poco clara	Las conclusiones anteriores son incorporadas casi en su totalidad como supuestos, de forma explícita y coherente con la predicción realizada.	Las conclusiones anteriores son incorporadas en su totalidad como supuestos, de forma explícita y coherente con la predicción realizada.	Debido a la naturaleza repetitiva del ciclo planteado, se espera que las conclusiones extraídas de la segunda actividad de cada macroguía sirvan como supuesto abductivo para la actividad final de esta.

Figura 10. Rúbrica de evaluación

Figura 11. Ficha de trabajo

Figura 12. Ficha de trabajo

Material de Impresión 3D

Una de las críticas presentadas en la literatura a las actividades indagatorias es su dependencia de recursos para la implementación, que no siempre son de fácil acceso. En respuesta a esto, se utilizó la impresión 3D como herramienta educativa, que permitió la fabricación y el uso de máquinas de engranajes simples, con movimientos fácilmente visibles y repetibles, lo que cumplió un factor motivante para los estudiantes.

Además, la incorporación de esta herramienta tecnológica respondió a un fin de modernización, tal como podemos observar según el modelo de SAMR para el conocimiento pedagógico del contenido tecnológico (Hamilton et al., 2016). Lo anterior ya que, en esta serie de actividades, la tecnología educativa mencionada realizó una total modificación de lo que usualmente se usaría para enseñar el contenido, como se puede desprender del análisis de textos que será presentado más adelante.

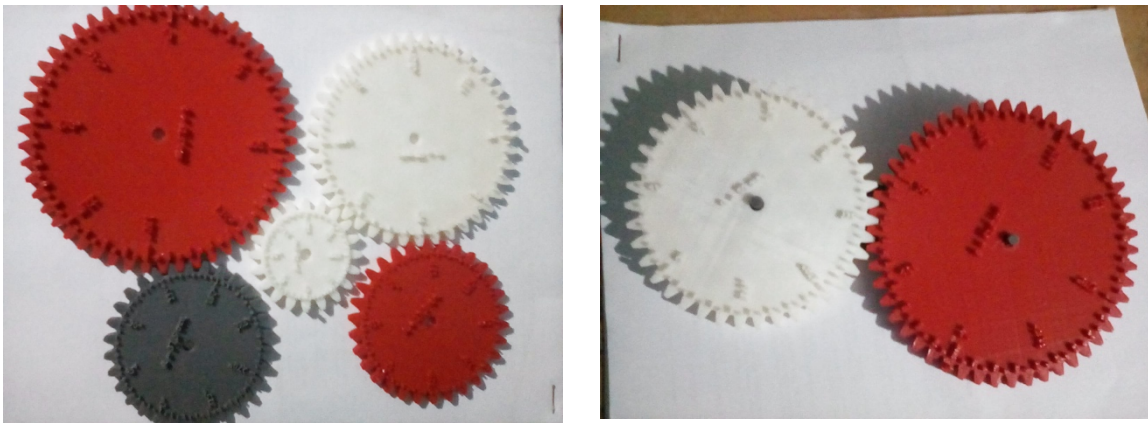


Figura 13. Engranajes utilizados para las macroactividades 3, 4 y 5. Diseño propio. Nota: Se presenta la totalidad de engranajes, de modulo 2,5, desde 20 a 50 dientes (izquierda). Además, se muestra un ensamble de 40 y 50 dientes (derecha).

En cuanto al diseño e impresión del material utilizado en las fases experimentales, este fue pensado e impreso en su totalidad por el autor, utilizando una variedad de softwares de diseño 3D. Cada una de las piezas puede ser encontrada bajo licencia creative commons CC BY-NC-SA, en el perfil de www.thingiverse.com del autor, o bajo el anexo 1.

La totalidad de las piezas fueron impresas en máquinas Ender 3 V2 y V2 Neo, con extrusor de 0,4 mm., utilizando Ultimaker Cura como software Slicer, sin soportes y con adherencia de borde en 4 mm. A su vez, la calidad entregada fue de 0,16 mm. de altura de capa, y solo se entregó mayor calidad a los soportes de la actividad número 1 y 2.

La versatilidad de la tecnología 3D permitió la creación de engranajes de cada tamaño y forma posibles, utilizando engranajes rectos de módulos de 1 a 2,5 por engranaje, decantando finalmente por los últimos, que fueron fabricados de 25, 37,5 y 50 mm.

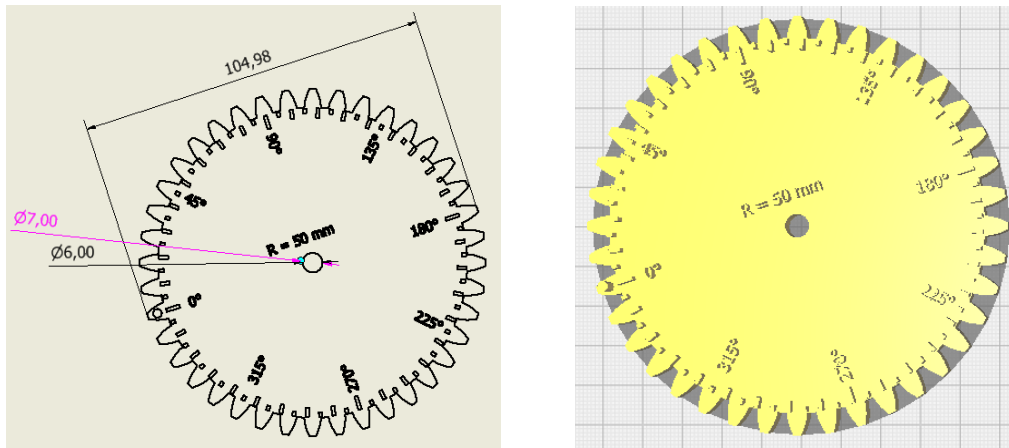


Figura 14. Plano técnico resumido de un engranaje de 40 dientes (izquierda) y su modelo en el Slicer Ultimaker Cura © (derecha)

Validaciones

La primera validación presentada para la secuencia corresponde a la validación por pares, que fue realizada en concordancia a los criterios propuestos por Galicia et al. (2017) para las investigaciones con metodología basadas en el diseño. De acuerdo a estos criterios se les pidió su colaboración a dos evaluadores pares, ambos docentes de Física de nivel escolar, cada uno con al menos 3 años de experiencia.

Los resultados presentados por cada uno de los evaluadores fueron planteados en función de cada una de las macroguías presentadas previamente. Todos los comentarios hechos por los revisores pueden ser encontrados en el anexo 2, y fueron analizados en busca de concordancia, utilizando la herramienta de Kappa de Cohen. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 5:

Tabla 5. Kappa de Cohen

	Criterio de Suficiencia	Criterio de Claridad	Criterio de Coherencia	Criterio de Relevancia
Kappa de Cohen	0,76	0,76	0,76	1

Todos los criterios presentados indicaron una concordancia buena o superior. A su vez, todos los comentarios obtenidos por parte de los evaluadores fueron tomados en cuenta para las mejoras del diseño de los materiales educativos y de las piezas mecánicas.

Implementación

A través de la implementación, se evidenciaron nuevas posibles mejoras posibles para la secuencia, tanto en las dimensiones de los materiales en 3D como de los diseños de las guías, con lo que se realizó una iteración que queda retratada a través de una validación de secuencia bajo el modelo de Elliot (2000). Algunos de los problemas encontrados en el material son mostrados en la tabla 6.

Tabla 6. Síntesis de actividades

Actividad	Correcciones realizadas
AA1	Corrección del enunciado de la AA1.3 para indicar la posición angular anterior. La novedad del ciclo dificultó el proceso. Se incluyó una AA0 que sirve de piloto para las siguientes.
AA2	La base de la pieza fue cambiada para mejorar el giro. No se indicaba el tamaño del radio en la base, por lo que fue incorporado.
AA3	El radio de giro estaba en milímetros y el de desplazamiento en centímetros, lo que causó confusión. Se corrigió la unidad en el radio. La complejidad cognitiva fue demasiado alta para ser la actividad número 3, lo que generó confusión entre conceptos de distancia angular y distancia lineal. Se intercambió con la actividad 4 en orden de aplicación
AA4	La relación matemática fue poco probada, por lo que se agregó una actividad más dentro de la macroguía.

Además, para entregarle mayor rigurosidad, se consideró necesario incluir una validación a través de la metodología de Stakes (Fonseca, 2007). Ambas validaciones pueden ser encontradas en el anexo 2

Resultados y Discusión

Para el análisis de los datos se consideró a aquellos estudiantes que hubieran entregado resultados en cada una de las actividades ($n=7$), que fueron cuantificados luego de tener la versión validada de la rúbrica. A continuación, se presenta un análisis específico de algunos estudiantes, enfocado especialmente en aquellos representativos de los tramos inferiores (Figura 15) y superiores (Figura 16) de logro de la AA1, y se incorporan algunos aspectos macroscópicos de la realización de las actividades.

Los resultados dentro de la AA1 fueron marcados por un bajo nivel en las respuestas entregadas, siendo estas mayormente acotadas y carentes de profundidad. Estos aspectos fueron notoriamente mejorados a lo largo de las experiencias, y posiblemente se deba al aumento de la exigencia cognitiva que supusieron las actividades AA3 y AA4, que les forzó a aumentar el nivel de detalle en sus respuestas, y a reflexionar de forma profunda sobre la completitud de sus supuestos para explicar su predicción. Ambos aspectos son reflejados en los aumentos de hasta 2 puntos presentados por los estudiantes en los criterios de predicción y suposición, llegando así ambos a un nivel logrado o mejorable.

En lo relativo al criterio de conclusión, ambos casos presentaron conclusiones poco relevantes en un inicio, y solo el caso de E15 mostró un avance en este aspecto tras haber pasado por la última experiencia, lo que puede coincidir con un problema planteado dentro del proceso iterativo de la secuencia, debido al desconocimiento de los estudiantes sobre como concluir sin redundar en la información.

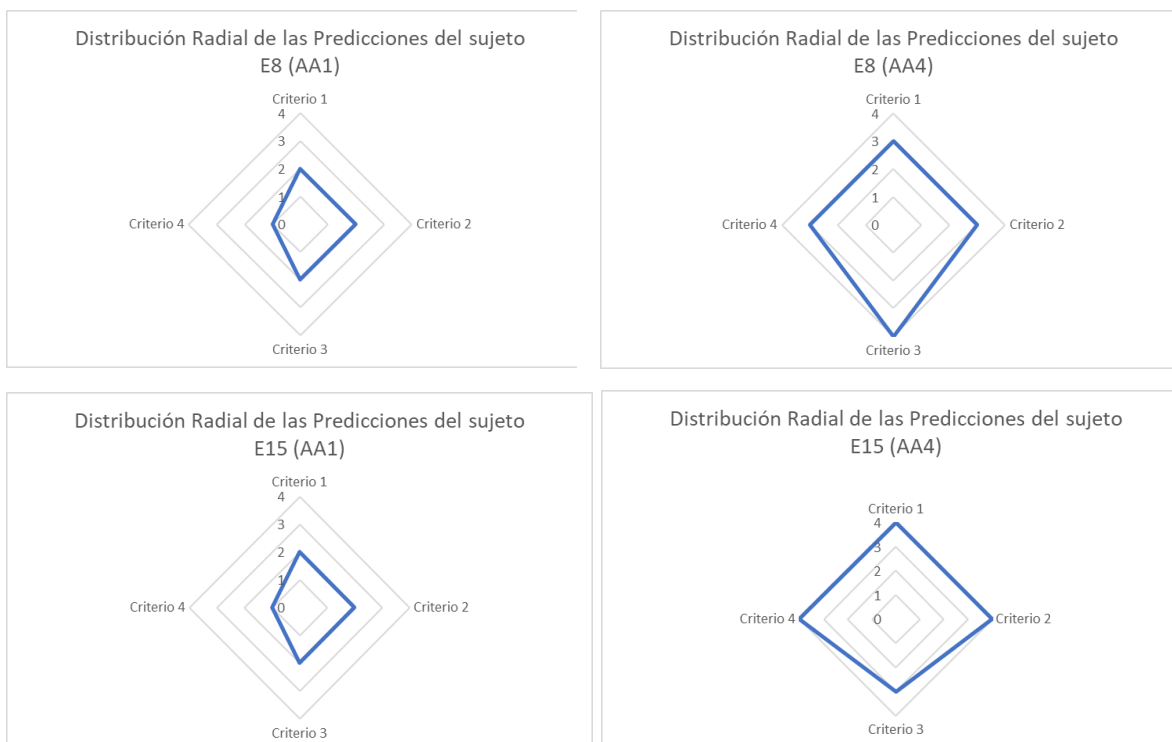


Figura 15. Distribuciones radiales comparativas entre estudiante E8 y E15, en las actividades 1 y 4 respectivamente.

Por último, en el criterio de incorporación se denota un aumento considerable en ambos casos, similar a lo presentado en los primeros criterios, lo que puede ser indicio de la efectividad del ciclo para generar una tendencia abductiva en el aprendizaje de los estudiantes. Este aspecto es fundamental, ya que es una particularidad del ciclo propuesto, y es un pilar dentro de la formación de aprendizaje científico a través de una metodología hipotético-deductiva.

En cuanto a los criterios de predicción, suposición y conclusión, estos fueron constantes para ambos estudiantes entre el inicio y final de las actividades. Con respecto al primero, el estudiante E4 mantuvo su nivel logrado, lo que no carece de significado considerando el nivel de avance en cuanto a exigencia cognitiva entre actividades. Este fenómeno se repite en el caso de E3, que no logró llegar al nivel logrado debido a que omitió un supuesto que cohesionara los demás y sustentara completamente su predicción.

Al hacer la comparación con los casos presentados previamente, en que este aumento de la dificultad no produjo un nivel sostenido, se puede extrapolar la existencia de un punto de inflexión en el nivel general de predicción científica, desde el que parece ser más complejo para un estudiante el realizar un avance considerable al comenzar desde un nivel alto, en comparación a la mejora sustancial presentada por un estudiante que comienza en un nivel inferior.

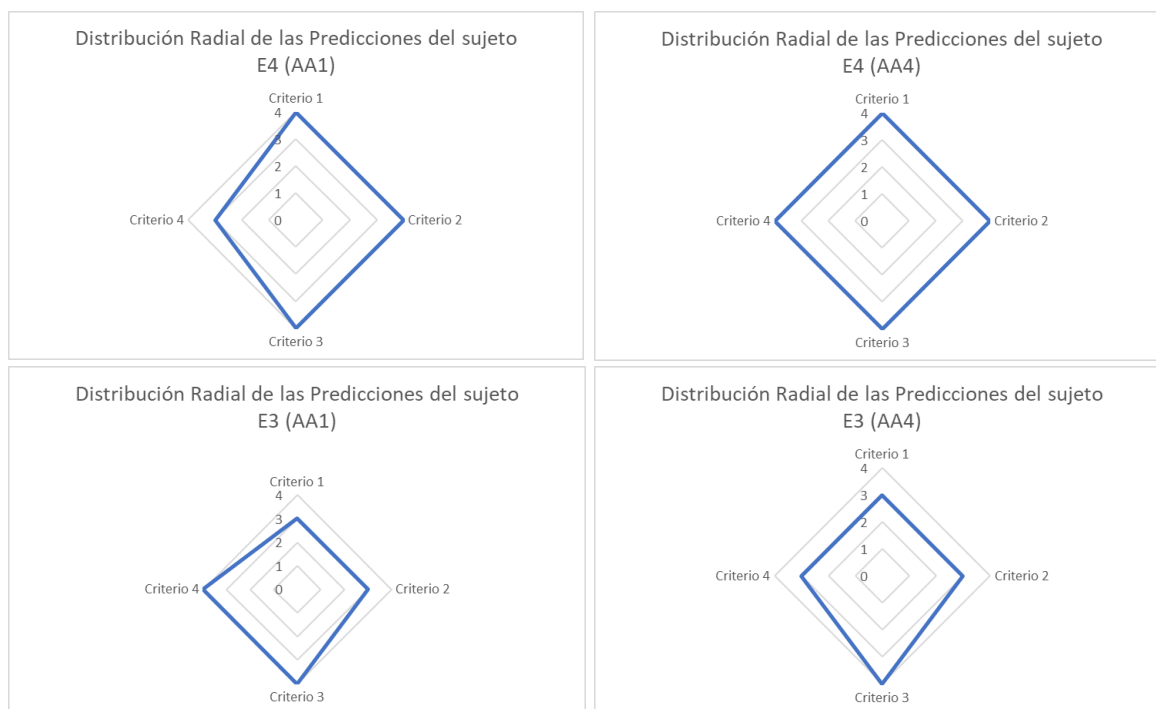


Figura 16. Distribuciones radiales comparativas entre estudiante E3 y E4, en las actividades 1 y 4 respectivamente.

En cuanto al criterio de incorporación, este se mantuvo constante para el estudiante E4, pero presentó un retroceso en el caso de E3, debido a que hizo falta coherencia entre la incorporación de sus conclusiones y la predicción realizada. Esto parece deberse a que la socialización de respuestas entre estudiantes guió su predicción aparte de lo planteado por sus conclusiones anteriores. Dicho aspecto es notable, ya que la socialización de respuestas es fundamental del aprendizaje constructivista al que adhiere la secuencia, y sin embargo, pudo resultar en un detrimento para la medición del nivel de predicción científica del estudiante. Una solución a ello puede radicar en la incorporación de fases de socialización específicas, que pueden ser incorporadas tras alguna de las actividades intermedias. Este aspecto queda planteado como una proyección para futuras aplicaciones del ciclo propuesto.

Un evento curioso e inesperado de la aplicación de la secuencia fue la emergencia de relaciones matemáticas simbólicas ajenas a lo comúnmente planteado en los libros de texto. Por ejemplo, en las relaciones de la AA4 algunos estudiantes agregaron un signo negativo a la posición angular final como una forma de darle direccionalidad al giro antihorario del segundo engranaje, destacando particularmente un caso en que la estudiante restó 180° a la posición angular del segundo engranaje, que dada la naturaleza de esta variable, generó el mismo efecto que el signo negativo.

Además, se presentó un escenario inesperado en el caso de la relación de la AA3, en que sin notar que había una transformación de unidades de medida para aplicar la ecuación esperada, una estudiante planteó una relación similar en que dicha transformación era incluida como una constante que dividía al resto de términos. El caso es particularmente

interesante, ya que, tras socializar sus respuestas, la estudiante consultó al docente por qué su relación era diferente a la de los demás, siendo que tras repetir de forma autónoma múltiples veces la experiencia se seguía confirmando su validez.

La aparición espontánea de estas relaciones matemáticas entrega indicios de una cualidad oculta del CPR, ya que evidenció casos de múltiples modelos funcionales para una misma experiencia, lo que no solo es fundamental en la construcción de conocimiento científico, sino que es una pieza clave dentro de la naturaleza intrínseca de la ciencia.

Conclusiones

Una de las cualidades del ciclo propuesto fue su fuerza en la aplicación de actividades hipotético-deductivas, lo que supuso un reto para algunos estudiantes, pero en forma general, mostró un avance en las habilidades de predicción científica, que pueden ser asociadas a su vez, a su facilidad de visualizar el ciclo propio de la creación de saber científico. Además, y aunque no fue parte del estudio, hay algunos aspectos del ciclo propuesto que muestran cualidades para la habilidad específica de generar relaciones matemáticas, especialmente en las AA3 y AA4, que presentaban relaciones de nivel elevado.

En referencia a la rúbrica, esta experimentó reiteradas modificaciones, partiendo por aquellas recomendadas por los pares revisores, por lo que se espera que su validez ahora sea superior a su versión inicial. Además, se modificó a medida de su implementación, hasta llegar a ser aplicable para la totalidad de los casos revisados. Se espera que esta aproximación de la rúbrica pueda ser extrapolable a actividades sobre predicción científica, o al menos, servir de base para futuros usos en las secuencias didácticas enfocadas en dicha habilidad. Se espera que su carácter sencillo pueda resultar en una herramienta confiable para los docentes de ramas afines.

Para finalizar, el uso de material realizado con impresión 3D fue fundamental a lo largo de las actividades, y los efectos causados por ello, tanto en un nivel de aprendizaje de contenidos, de habilidades y motivacional, presentaron una enorme ventaja en comparación a otros escenarios. Su carácter moldeable y editable permitió mejoras semana a semana, y su uso de forma reiterativa fue fácil de abordar debido a su bajo costo y su sencillez de fabricación. Es destacable además la enorme posibilidad que presenta la fabricación de engranajes y su excelente calidad de ensamblado para aplicaciones de carácter STEM, o ligadas al emprendimiento, lo que es a su vez una proyección anexa al trabajo actual, y una invitación a todos aquellos que deseen utilizar el material creado.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto Fondecyt 1211092 de ANID, Gobierno de Chile. Agradezco profundamente a mis mentores y colegas por su inmensa experiencia y su interés genuino por transmitirla.

Bibliografía

Astudillo, C., Rivarosa, A., & Ortiz, F. (2011). Formas de pensar la enseñanza en ciencias . Un análisis de secuencias didácticas. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 10.

- 567-586.
- Bingham, C. B., & Davis, J. P. (2012). Learning sequences: Their existence, effect, and evolution. *Academy of Management Journal*, *55*, 611–641. doi:10.5465/amj.2009.0331
- Bunge, M. (1959). ¿Qué es la ciencia? En M. Bunge, *La ciencia. Su método y su filosofía* (pp. 20 - 22). Laetoli.
- Bybee, R. W., a Taylor, J., Gardner, A., Scotter, P. V., Powell, J. C., Westbrook, A., & Landes, N. (2006). The BSCS 5E Instructional Model: Origins, Effectiveness, and Applications. *Bscs*.
- Canlas, I. P. (2015). The use of case analysis in teaching circular motion. *International Journal of Education and Research*, *3*, 391-400.
- Canlas, I. P. (2016). University Students' Alternative Conceptions On Circular Motion. *International Journal Of Scientific & Technology Research*, *5*, 25-33.
- Carrascosa, J. (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (Parte II). El cambio de concepciones alternativas. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias.*, *2*, 388 - 402. doi:10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2005.v2.i3.07
- Coloma, C., & Tafur, R. M. (1999). El constructivismo y sus implicancias en educación. *Educación*, *8(16)*, 217-244.
- Concari, S. B. (2014). Tecnologías emergentes ¿cuáles usamos? *Latin-American Journal of Physics Education*, *8*, 494-503.
- de Benito, B., y Salinas, J. M. (2016). La Investigación Basada en Diseño en Tecnología Educativa. *RiiTE Revista Interuniversitaria de Investigación en Tecnología Educativa*, *0*, 44-59. <https://doi.org/10.6018/riite2016/260631>
- Docktor, J. L., Dornfeld, J., Frodermann, E., Heller, K., Hsu, L., Jackson, K. A., Mason, A., Ryan, Q. X., & Yang, J. (2016). Assessing student written problem solutions: A problem-solving rubric with application to introductory physics. *Physical Review Physics Education Research*, *12(1)*, 010130. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.010130>.
- Elliot, J. (2000). *La investigación-acción en educación* (Vol. 8). Morata, S. L.
- Etkina, E., Brookes, D. T., & Planinsic, G. (2019). *Investigative Science Learning Environment: When learning physics mirrors doing physics*. Morgan and Claypool Publishers. doi:10.1088/2053-2571/ab3ebd
- Feynman, R. (Noviembre de 1963). The problem of teaching science in Latin America. *Engineering and Science*, *27*, 21 - 30.
- Fonseca, J. G. (2007). Modelos cualitativos de evaluación. *Educere*, *11*, 427-432.
- Fuller, R. G. (2003). "Don't Tell Me, I'll Find Out" Robert Karplus—A Science Education Pioneer. *Journal of Science Education and Technology*, *12*, 359–369. doi:10.1023/b:jost.0000006340.89395.e6
- Galicia, L., Balderrama, J., & Edel, R. (2017). Validez de contenido por juicio de expertos: propuesta de una herramienta virtual. *Apertura*, *9*, 42 - 53.
- Gardner, P. (1984). Circular motion: Some post-instructional alternative frameworks. *Research in Science Education*, *14*, 136 - 145. doi:10.1007/BF02356799
- Giere R. N. (1991). Understanding and Evaluating Theoretical Hypotheses. En R. N. Giere, H. Rinehart, & F. Winston, *Understanding Scientific Reasoning* (pp. 13- 38). Cengage Learning.
- Gunstone, R. (1984). Circular motion: Some pre-instruction alternative frameworks. *Research in Science Education*, *14*. doi:10.1007/BF02356798
- Hamilton, E. R., Rosenberg, J. M., & Akcaoglu, M. (2016). The Substitution Augmentation Modification Redefinition (SAMR) Model: a Critical Review and Suggestions for its Use. *TechTrends*, *60*, 433–441. doi:10.1007/s11528-016-0091-y
- Hamza, K. M., & Wickman, P. O. (2008). *Describing and analyzing learning in action: An empirical study of the importance of misconceptions in learning science*. *92*, 141 - 164. doi:10.1002/sce.20233
- Hewitt, P. (2007). *Física Conceptual*. Ed. Decima Edición. Pearson Educación.
- Hong, J. C., Hwang, M. Y., Liu, M. C., Ho, H. Y., & Chen, Y. L. (2014). Using a 'prediction-
- © 2024 Revista Innovación en Enseñanza de las Ciencias | <http://www.reinnec.cl>

- observation-explanation' inquiry model to enhance student interest and intention to continue science learning predicted by their Internet cognitive failure. *Computers and Education*, 72, 110 - 120. doi:10.1016/j.compedu.2013.10.004
- Karplus, R., Thier, H. D., & Walcott, C. (1968). Book And Film Reviews: Science in the Elementary Schools: A New Look at Elementary School Science. *The Physics Teacher*, 6. doi:10.1119/1.2351280
- Lawson, A. E. (1994). Uso de los ciclos de aprendizaje para la enseñanza de destrezas de razonamiento científico y de sistemas conceptuales. *Enseñanza de Las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 12, 165 - 187. doi:10.5565/rev/ensciencias.4439
- Lawson, Anton E., Abraham, M. R., & Renner, J. W. (1989). A theory of instruction: Using the learning cycle to teach science concepts and thinking skills. *National Association for Research in Science Teaching*, 152.
- Lehrer, R., & Schauble, L. (1998). Reasoning about Structure and Function: Children's Conceptions of Gears. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 3 - 25. doi:10.1002/(SICI)1098-2736(199801)35:1<3::AID-TEA2>3.0.CO;2-X
- Lipman, M. (2003). *Thinking in Education*. Cambridge University Press.
- McCloskey, M., Caramazza, A., & Green, B. (1980). Curvilinear motion in the absence of external forces: Naïve beliefs about the motion of objects. *Science*, 210, 1139 - 1141. doi:10.1126/science.210.4474.1139
- Metz, K. E. (1985). The Development of Children's Problem Solving in a Gears Task: A Problem Space Perspective. *Cognitive Science*, 9, 431 - 471. doi:10.1207/s15516709cog0904_4
- Mineduc. (2014). En J. Muñoz Rodrigues (Ed.), *Física para III y IV Medio* (pp. 10 - 72). Zig-Zag.
- Mineduc. (2021). Programa de Estudio de 3° y 4° Medio. En M. d. Educación, Formación Diferenciada: Ciencias (Física) (pp. 65 - 94). Autoedición.
- Mineduc. (2015). Programa de Estudio de Física. En Programa de Estudio Física (pp. 64 - 80). Autoedición.
- Naciones Unidas. (7 de marzo de 2018). Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Nikolopoulou, K. (26 de Agosto de 2002). What Is Content Validity? I Definition & Examples: <https://www.scribbr.com/methodology/contentvalidity/#:~:text=The%20CVI%20is%20the%20average,scores%20of%20the%20seven%20questions>
- Ortega Sánchez, I. (2009). La alfabetización tecnológica. *Revista Electrónica Teoría de la Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, 10(2), 13- 24.
- Perales, F. J. y Jiménez, J. D. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. *Enseñanza de Las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 20, 369 - 386. doi:10.5565/rev/ensciencias.3954
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational research review*, 14, 47-61. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>
- Pesantez, F. F., Ruiz-Veintimilla, K., Pereira-Guanuche, F., & Pereira-Ruiz, F. (2017). Teoría y dificultades en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la física en la antigüedad y actualidad. *Dominio de las Ciencias*, 3(4), 419-430.
- Saglam-Arslan, A., & Arslan, S. (2010). Mathematical models in physics: A study with prospective physics teacher. *Scientific Research and Essays*, 5(7), 634-640.
- Searle, P. (1985). Circular motion concepts of first year engineering students. *Research in Science Education*, 15, 140 - 150. doi:10.1007/BF02356536
- Solbes, J. (2007). El desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia: implicaciones en su enseñanza. *Didáctica de Las Ciencias Experimentales y Sociales*, 21, 91 -117.
- Tobón, R., & Perea, A. (2017). Problemas actuales en la enseñanza de la física. *Revista De Enseñanza De La Física*, 1, 7-18.
- Wells, G. (1997). *From Guessing to Predicting: Progressive Discourse in the Learning and*

- Teaching of Science*. En C. Coll, & D. Edwards (Eds.), *Teaching, learning and classroom discourse: approaches to the study of educational discourse* (1, pp. 67 – 88). doi:10.1017/cbo9780511605895.008
- White, B. Y. & Frederiksen, J. R. (1998). Inquiry, modeling, and metacognition: Making science accessible to all students. *Cognition and Instruction*, 16, 3-118. doi:10.1207/s1532690xci1601_2
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2009). *Física universitaria volumen 1*. Pearson Educación.