

Capítulo 14. La enseñanza de la ciencia mediante experimentos mentales

Juan Carlos Vélez R.¹

Cítese como: Vélez, J. C. (2022). La enseñanza de la ciencia mediante experimentos mentales. En A. F. Uscátegui-Narváez y D. A. Rodríguez-Ortiz (comps.), *Retos de la pedagogía, la investigación y la cultura* (pp. 226-245). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.168>. c207

Resumen

El objetivo de este trabajo es el de examinar cómo podría realizarse la enseñanza de la teoría de la evolución por selección natural, mediante los experimentos mentales. El punto de partida es que se puede amplificar, modificar o explicitar las preconcepciones que tienen los estudiantes acerca de las adaptaciones, mediante la implementación de los experimentos mentales. Para ello, el trabajo se basa en la caracterización que hace la filósofa Nancy Nersessian acerca de los experimentos mentales, considerados como razonamientos de modelaje simulatorio. Se aborda entonces, los rasgos más representativos de su teoría cognitivista sobre los experimentos mentales; también, se indaga acerca de la función y, sobre todo, del valor que tienen los experimentos mentales en la enseñanza de la ciencia en general; finalmente, se extrae algunas ideas para la enseñanza de la biología, en particular y, se presenta sintéticamente los principios de la teoría de la evolución darwiniana.

Palabras clave: experimentos mentales; modelos mentales; teorías científicas; ciencias cognitivas; epistemología.

Teaching science through mental experiments

Abstract

The objective of this work is to examine how the teaching of the theory of evolution by natural selection could be carried out through thought experiments. The starting point is that students' preconceptions about adaptations can be amplified, modified, or made explicit by implementing thought experiments. To do this, the work is based on the characterization made by the philosopher Nancy Nersessian about mental experiments, considered simulated modeling reasoning. It is addressed the most representative features of her cognitive

¹Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium. Correo electrónico: jvelez@unicatolica.edu.co

theory on mental experiments; also, it is inquired about the role and, above all, the value of thought experiments in science teaching in general. Finally, some ideas for the teaching of biology, in particular, are extracted and synthetically presented with the principles of the Darwinian theory of evolution.

Keywords: mental experiments; mental models; scientific theories; cognitive sciences; epistemology.

Ensinar ciências por meio de experimentos mentais

Resumo

O objetivo deste trabalho é examinar como o ensino da teoria da evolução por seleção natural poderia ser realizado por meio de experimentos mentais. O ponto de partida é que os preconceitos dos alunos sobre as adaptações podem ser ampliados, modificados ou explicitados pela implementação de experimentos mentais. Para isso, o trabalho se baseia na caracterização feita pela filósofa Nancy Nersessian sobre os experimentos mentais, considerados raciocínios de modelagem simulados. São abordadas as características mais representativas de sua teoria cognitiva sobre experimentos mentais; também, indaga-se sobre o papel e, sobretudo, o valor dos experimentos de pensamento no ensino de ciências em geral. Por fim, algumas ideias para o ensino da biologia, em particular, são extraídas e apresentadas sinteticamente com os princípios da teoria darwiniana da evolução.

Palavras-chave: experimentos mentais; modelos mentais; teorias científicas; ciências cognitivas; epistemologia.

Introducción

La enseñanza de la ciencia, como la filosofía, debe ser crítica. Ya en la época de la *Paideia*, los griegos elaboraban diversos métodos de enseñanza en los que se relacionaba la racionalidad con la virtud. Al pensamiento filosófico se le endilga la responsabilidad de ser el fundamento del rasgo crítico. Por eso, todas las disciplinas recurren a este con el fin de avanzar y cuestionarse a sí mismas. No obstante, ¿en qué consiste el método en filosofía que la hace tan recurrente en diversos campos como la Sociología o la Pedagogía, si es que hay alguno?

De acuerdo con Timothy Williamson (2016), el pensamiento es un nivel de análisis más fundamental que el lenguaje; en efecto, se viene hablando de un desplazamiento del giro lingüístico al giro conceptual en términos del despliegue de una competencia conceptual, por ello toda pregunta académica es conceptual. Hay una intuición de fondo y es que la filosofía ostenta una metodología *a priori*, mientras que en las ciencias naturales es *a posteriori*. Esta intuición es falsa, ya que, aun cuando existen diferencias entre la filosofía y demás áreas del conocimiento, estas son menos profundas de lo que se supone. Como se verá en el desarrollo de los capítulos, tanto científicos como filósofos trabajan desde el laboratorio de la mente.

No obstante, continúa Williamson, si las formas de pensar filosóficas no son tan diferentes de otras formas de pensamiento, entonces, las preguntas filosóficas no son tan diferentes de otras preguntas, ahora, eso no implica que no hay cierto gusto de los filósofos por las verdades abstractas y necesarias. Desde la perspectiva del giro naturalista, entre muchas de sus acepciones, vale inclinarse por destacar el trabajo mancomunado entre filósofos y científicos, como el barco de Neurath, ello se verá reflejado en este trabajo.

Neurath ha comparado la ciencia con un barco, el cual, si hemos de reconstruirlo, deberemos hacerlo plancha por plancha, mientras permanecemos a bordo y a flote. El filósofo y el científico se encuentran en el mismo barco (...). El análisis de cómo se construye una teoría, que es lo que pretendemos, debe hacerse comenzando por el medio. Nuestros principios conceptuales son objetos de tamaño mediano, situados a media distancia, y nuestra introducción a ellos y a cualesquiera otros se produjo a la mitad del camino de la evolución cultural del género humano. Quine (como se citó en Dennett, 1999, p. 13).

Este ensayo trata de uno de los métodos más utilizados por los filósofos y los científicos: los experimentos mentales o experimentos de pensamiento y acerca de cómo se podrían utilizar en la enseñanza de la ciencia. El estudio de los experimentos mentales y, en mayor medida, su aplicación en cuestiones de educación es bastante reciente. Una definición provisional de experimento mental, propuesta por Ornelas (2016), es que son ejercicios del pensamiento mediante los que se imagina, a partir de información empírica, una situación hipotética o escenario contrafáctico, con el fin de deducir consecuencias que consideramos importantes, dependiendo del propósito que se tenga, acerca del mundo real. Pero ¿podría enseñarse ciencia utilizando el recurso del laboratorio de la mente? ¿Tienen utilidad los experimentos mentales en la comprensión de teorías científicas, como la teoría de la evolución por selección natural? Una de las tesis que se va a defender en este trabajo es que se razona mejor si se utiliza experimentos mentales para modificar los modelos mentales que se tienen del mundo.

Una teoría representacional de la mente renovada ofrece bases sólidas para resignificar la enseñanza de la ciencia, es decir, retomar la teoría de los modelos pero darle un giro a través de los experimentos mentales, que son una forma especial de modelo conceptual o teórico, pero que requiere de la narrativa implícita en los modelos mentales tanto para razonar como para ser comunicados. En tanto los modelos y los experimentos mentales son idealizaciones, su mayor logro cognitivo no es la verdad, sino la comprensión.

La teoría científica que va a servir de pretexto para hablar de estos temas de la aplicación de los experimentos mentales aplicados en la enseñanza de la ciencia será la teoría darwiniana de la evolución, ya que se considera, junto con Dennett, que esta teoría es el ácido que todo lo corroe, es decir, que las implicaciones de las tesis de Darwin van más allá del interés académico y permean toda la cultura y la sociedad.

Metodología

Como dice Dawkins (2017): "(...) es posible que valga la pena leer un libro teórico, incluso aunque no nos anticipe hipótesis demostrables, si en vez de eso procura hacernos cambiar el modo en que miramos" (p. 25). Esta investigación es precisamente eso: una reflexión sobre lo posible para comprender lo real; es teórica, en el sentido en que no recogerá datos e información provenientes de grupos de estudiantes o profesores. La metodología que se propone para desarrollar esta investigación es teórica, conceptual, basada en el análisis e interpretación de textos. Se sabe que la práctica educativa no es algo instintivo, mecanizado, automatizado, etc., sino que necesariamente involucra la caracterización e interiorización de ésta, el análisis reflexivo de esa práctica y, en general, diversidad de creencias. La relación entre teoría y práctica es dialéctica, ninguna está subordinada a la otra. En la enseñanza de la ciencia siempre se hace énfasis en el papel de la experimentación *per se*, o bien, se destaca el rol que cumple la historia y la sociología de la ciencia, lo cual es muy importante. La perspectiva que se propone, al recoger experimentos mentales darwinianos, incluye la dimensión historicista. No obstante, el enfoque es naturalista, filosóficamente hablando, en la medida en que es una actitud que involucra la relación estrecha entre ciencia y filosofía, principalmente. No se entrará en detalles acerca de la amplia discusión acerca de las diferentes nociones del naturalismo, baste decir que, metodológicamente cierra la brecha entre la cultura de las humanidades y la cultura de las ciencias empíricas.

Resultados y discusión

La teoría de los experimentos mentales según Nancy Nersessian. A manera de introducción.

Los experimentos de pensamiento son una parte natural de la cognición humana. Se hace un experimento de pensamiento cuando se imagina lo que se haría si se ganara el baloto o cuando se trata de imaginar cómo se les diría a los miembros de la iglesia a la que se asiste que se ha perdido la fe. Un experimento mental ocurre cada vez que se crea una proyección mental de algún evento que en realidad no se puede observar en ese momento. Estas proyecciones no son estáticas, sino que implican la manipulación consciente de imágenes (Marzano, 2011). En otro nivel, los experimentos mentales son una forma de razonamiento de modelaje simulatorio, mediante el que los científicos cambian sus estructuras conceptuales (Nersessian, 2018), tal como se verá un poco más adelante.

Los experimentos mentales pueden ser aplicados a muchos ámbitos de conocimiento si son bien dirigidos por el profesor para el caso de la enseñanza. Se pueden utilizar con personajes en la literatura (las acciones de un personaje a veces determinan idealmente como sería una persona si fuese déspota o magnánimo, etc.) en la historia (los eventos históricos están relacionados causalmente o correlativamente con otros eventos, lo que implica que se puede imaginar que sucedería, por ejemplo, si Hitler hubiese ganado la guerra).

La utilización de experimentos mentales se ha venido abriendo paso desde hace algún tiempo, sobre todo de la mano de las tesis de los modelos mentales y los modelos teóricos. En las escalas de tiempo filosóficas, el problema filosófico de los experimentos mentales es bastante reciente. Así, por ejemplo, en la filosofía, los experimentos mentales más famosos son la habitación china de Searle, la Tierra gemela de Putnam (y el cerebro en una cubeta), la posición original de Rawls, la neurocientífica cautiva que no ha visto los colores de Jackson y Dennett, los zombis de Chalmers, el escarabajo de Wittgenstein, la caverna de Platón, el Gavagai de Quine y muchos más. Gran parte de la historia de la filosofía está entrelazada con su propia pedagogía mediante los experimentos mentales (Stuart et al., 2018).

No obstante, los experimentos mentales o de pensamiento son igualmente comunes en la ciencia, por ejemplo, Lucrecio lanzando una lanza al borde del universo, el demonio de Maxwell, el ascensor (y el tren) de Einstein, el gato de Schrödinger, el cubo de Newton (y la bala de cañón), la caída de los cuerpos de Galileo, la cadena de Stevin sobre un prisma. También hay experimentos mentales en la Filosofía Política, en Economía, en Teología, en Ética y Biología. De estos últimos, se tratará la investigación, los cuales se pretende conectar con la educación en ciencias.

Se comienzan a debatir los experimentos mentales a partir de los noventas; la pregunta que se intentó responder fue de corte epistemológico, a saber: ¿Cuál es la naturaleza del conocimiento de los experimentos mentales que permite refutar una teoría o proponer una teoría nueva a partir de ideas surgidas en el laboratorio de la mente? Las primeras preguntas acerca de los experimentos mentales fueron enfocadas hacia la justificación del conocimiento. En ese sentido, James Robert Brown argumentó que los experimentos mentales son atisbos de un mundo platónico, mediante el cual también se captan leyes eternas y universales; por otro lado, John Norton propuso, en contra de Brown, que los experimentos mentales se pueden traducir o reducir a argumentos que, a su vez, están asentados en experiencias previas; Norton ofrece así una visión empirista. Para este autor, solo hay, en los experimentos mentales, las referencias verbales disfrazadas en narrativas vívidas y pintorescas (Roux, 2013). Más adelante se dirá algo más sobre estas concepciones clásicas.

Los experimentos mentales en la ciencia son representaciones intencionales de circunstancias o eventos, cuya finalidad es la validación, profundización y contrastación de explicaciones teóricas, mediante la construcción de escenarios hipotéticos; no obstante, esa no sería su única finalidad, pues también se utilizan en la enseñanza de la ciencia en términos de la modelización en el aprendizaje de la ciencia; en ambos casos se presentan o se crean artificialmente conjeturas y posibles consecuencias. Estas conjeturas tienen una plataforma teórica en la que se asignan variables con el fin de manipular y controlar cambios de datos. Usualmente, los experimentos mentales permiten ir más allá de la experimentación en el mundo real y, en términos de la didáctica, facilitan la comprensión, dado que explican y aclaran los estados abstractos de las cosas. La capacidad de

manipulación y control de los cambios en los experimentos mentales otorgan el rasgo de la flexibilidad, pues estos se pueden repensar y así realizar versiones diferentes del mismo escenario y generar postulados posibles (Aguilar y Romero, 2011). Por ejemplo, para Lukás Bielik, profesor de la Universidad de Bratislava, los experimentos mentales aparecen como evidencia a favor o en contra de algunas tesis o teorías filosóficas y científicas.

Por tanto, el experimento mental debe considerarse como una acción del pensamiento en el que se valoriza experiencias recordadas y el lenguaje, en tanto cumple la función narrativa de presentación pública del mismo; así, desde la imaginación, se pueden crear o visualizar mundos posibles. En el caso de la explicación de alguna teoría o concepto mediante un experimento mental, habría que preguntarse: ¿Qué tipo de característica y función tendría?, es decir, ¿profundizar en la teoría, sustituir la posibilidad de experimentar fácticamente, explicar y aclarar la actividad de la conciencia?, ¿qué tipo de teorías e hipótesis se pueden evaluar, qué tanto conocimiento intuitivo se utiliza, cuantas contradicciones entre teorías se ponen en evidencia?, o bien, ¿el experimento mental respalda la teoría o no lo hace?

Algunas de las características básicas de los experimentos mentales es que los propósitos que tiene el experimentador mental se pueden conseguir sin necesidad de realizar el experimento real. Es decir, sus resultados, aunque no sean perceptibles, pueden “verse” mediante cierta *captación intuitiva*.

¿Qué aportan los experimentos mentales a la enseñanza de la teoría de la evolución por selección natural, bajo la perspectiva de Nerssesian?

En este apartado, se dejará de lado las preocupaciones epistemológicas, que se han enfocado particularmente en la fiabilidad de los experimentos mentales más que en el seguimiento de ciertas instrucciones, para centrarse en el experimento mental como herramienta cognitiva de los estudiantes.

La enseñanza de la ciencia, en su sentido más general, está basada en la transformación de la mente de los estudiantes, en la reconstrucción de las teorías y, en general, de los procesos culturales para que éstos sean apropiados de manera efectiva. Esta idea es tomada de Pozo (2013), niega que la enseñanza de la ciencia se reduzca a la acumulación y repetición de conocimientos o datos. La ciencia no es un proceso de descubrimiento de las leyes encubiertas por la realidad percibida; en palabras de Pozo y Gómez (2009), “el conocimiento científico no se extrae nunca de la realidad, sino que procede de la mente de los científicos que elaboran modelos y teorías en el intento de dar sentido a la realidad” (p. 24). En consecuencia, si la ciencia se la entiende como construcción de modelos, habría que adoptar un enfoque de la enseñanza de la ciencia basado en la construcción de modelos y en su contrastación con otros modelos. Según Chamizo (2010), lo que hacen los científicos es contrastar modelos con la evidencia disponible, cuya finalidad es indicar cuál representa la explicación más adecuada y coherente de aquello que se quiere comprender. Chamizo asume que modelar es construir modelos y como la actividad científica no comienza con

hechos, sino con preguntas, y las preguntas suponen un marco teórico, entonces, los experimentos mentales son la manera idónea de enseñar a modelar, pues, la pregunta comienza con el uso de contrafácticos del tipo ¿qué pasaría si P?, dado que P es una variable en una situación hipotética, o bien preguntas del tipo ¿cómo explicar esto?

Para Chamizo, como se constató anteriormente, en la construcción de un modelo, desde la perspectiva de la enseñanza de la ciencia, es hacer una pregunta con base en el conocimiento que se puede tener de un aspecto o porción del mundo, de acuerdo con el ámbito de conocimiento desde el que se presente. Acto seguido, interviene la imaginación y la creatividad para diseñar el modelo de acuerdo con el objetivo en mente, que en este caso sería la adaptación o la función o el origen de un órgano determinado; luego, del modelo mental hay que pasar al modelo material, es decir, preguntarse qué tipo de propiedades vale la pena resaltar y de cuáles se puede desdeñar. Aquí se plantean las siguientes preguntas: ¿Qué pasaría si...? ¿Cómo explicar esto? Se asume que, en este punto es donde el uso de contrafácticos en los experimentos mentales se desarrollan mayoritariamente, pues la imaginación advierte de posibles rutas a seguir, al escoger una donde se crea el escenario hipotético que sirve como andamio de la racionalidad. La fase final, para Chamizo, aleja del objetivo y naturaleza de los experimentos mentales, pues, se pone a prueba el modelo material a través de un experimento real; se supone que hay cierto encaje entre el modelo y el mundo que puede ser una idea, objeto o fenómeno. El encaje con el mundo tiene que ver con la explicación y la predicción expuesta desde el modelo.

La enseñanza de la ciencia debe apuntar a que los estudiantes estén capacitados para “crear, expresar y comprobar sus propios modelos, es decir, modelar” (Chamizo, p. 35); es hacer experimentos mentales. Sin embargo, para el caso de los experimentos mentales, la comprobación y contrastación o encaje con el mundo real no es posible, al menos tan rápidamente, dado su carácter altamente contrafáctico. El experimento mental en ese caso utiliza la narrativa como medio para crear y razonar sobre el modelo, en la medida en que incorpora ideas científicas revestidas en un lenguaje cotidiano.

Como se dijo al comienzo, los experimentos mentales son ejercicios del pensamiento en el cual se imaginan, partiendo de cierta información empírica disponible o situaciones concretas, familiares, un escenario imaginario, usualmente contrafáctico, cuyo propósito es el de extraer consecuencias, que vale la pena destacar desde el horizonte de un problema particular, siempre guardando cierta relación con el mundo real.

Así, los fines de la educación científica son, para este autor, los siguientes: el aprendizaje de conceptos y la construcción de modelos, el propender por habilidades de razonamiento científico y epistémico; así mismo, la capacidad de resolver problemas, también están las actitudes y valores en los estudiantes como la honestidad intelectual y la curiosidad, finalmente, la construcción de una imagen de la ciencia alejada de la perspectiva positivista y más acorde con los sesgos cognitivistas. En este sentido, una manera de enseñar, traducir conceptos

o teorías abstractas, rebatir teorías o razonar como científicos es a través de los modelos, específicamente mediante los experimentos mentales.

Los experimentos mentales son modelos móviles que se usan en la comunicación de las ideas científicas, así como en la enseñanza de la ciencia. Estos han venido cobrando cada vez mayor importancia en la reflexión sobre la naturaleza de la ciencia.

El aporte de la epistemología de los experimentos mentales a la enseñanza de la biología consiste en indicar que los experimentos mentales, entendidos como modelos y cuya característica básica es la forma narrativa, pueden modificar el conocimiento intuitivo que tienen los estudiantes. El punto de partida es la aceptación de que los estudiantes, y en general las personas, razonan con modelos y no tanto con proposiciones. En el caso de los estudiantes, esto permite mejorar la comprensión de las teorías científicas. Otra razón importante es que, a través de los experimentos mentales, siempre parten de un objetivo o intención, esto se hace mediante el planteamiento de preguntas.

Como bien se acepta, las preguntas son uno de los fines en la enseñanza del razonamiento científico, puesto que implica el aspecto motivacional. En las preguntas se encuentra el aspecto de los contrafácticos, “que pasaría si”, como ocurre con el experimento mental de los lobos que utilizó Darwin en *El Origen*, el cual tenía como finalidad aumentar la capacidad explicativa de la teoría en la comprensión del principio de selección natural, dado que era más árido y complejo definir el principio de variación de manera abstracta. El uso de los experimentos mentales en la enseñanza de la física es quizás una práctica más difundida, por ello, se hará un contraste entre éstos y la enseñanza de en biología, además, sugerir su uso en su enseñanza de manera efectiva.

La enseñanza de las ciencias ha tenido múltiples enfoques, la gran mayoría caracterizados por sus rasgos teóricos y epistemológicos, así como de corte experimental, cuya finalidad es la comprensión de alguna teoría; sin embargo, la atención de quienes reflexionan sobre este tópico se ha focalizado muy poco en los profesores, pero sobre todo en los libros de texto. No obstante, investigaciones recientes (García et al., 2017) ponen en evidencia que los libros de texto reproducen la naturaleza de la ciencia con algunos rasgos positivistas como el problema de la verdad y la actitud verificacionista, en ausencia de la práctica experimental, la historia de la ciencia y en general de la problematización propia del racionalismo crítico.

El análisis del libro de texto *Desafíos científicos*, de la última edición de Santillana para el grado noveno, arrojó resultados alarmantes, pues la retórica de este libro, considerado como fundamental en los colegios de la ciudad de Cali, es incipiente y sesgada, no hay una gama amplia de prácticas experimentales y comprensión conceptual, puesto que la información, en muchos casos, demanda capacidades de memoria; además, hay desconexión en algunos casos de los contextos. A continuación, se comentará brevemente las falencias de este libro, con el cual se enseña en ciencias naturales. Por ejemplo, la función descriptiva

del lenguaje utilizado en el texto es, al parecer, la más destacada, pero no se utiliza para formular preguntas que estimulen el pensamiento crítico; comprende la utilización de mapas conceptuales, fotografías o esquemas que actúan como modelos.

Cabe resaltar la idea de que la naturaleza de la ciencia, implícita en este texto, es la de un conocimiento acumulativo, muy propio de una noción de ciencia no reflexionada; así mismo, esta versión acumulacionista de la ciencia deriva necesariamente en cierto enciclopedismo. La consecuencia de esto es que el tipo de proceso cognitivo necesario es el uso de la memoria; en consecuencia, responder a los talleres convierte a la enseñanza de la ciencia en mero instrucionismo.

La unidad dos titulada “La biología evolutiva y la sistemática” está escrita en un lenguaje descriptivo informacional, en el que no se encuentra ningún experimento mental como recurso metodológico. La unidad comienza con una breve sinopsis acerca de la historia de la biología y, en menos de media página, sintetiza los aportes de Steno, Buffon, Hutton, Lamarck, Cuvier, Agassiz, Lyell, Darwin; más adelante, se dedica un poco más a las tesis de Darwin y Wallace.

También hay, en la unidad, algunas imágenes de estos autores, así como de diversas especies de ranas. Llama la atención que se encuentra el tan discutido ejemplo de Lamarck, acerca de la herencia de caracteres adquiridos, las jirafas estirando el cuello para alcanzar las ramas más altas; también hay otro modelo con fines didácticos, la variedad de los picos de los pinzones que Darwin observó en su viaje en el Beagle.

Por otra parte, en la unidad hay un subtítulo en forma de pregunta: “¿Cómo actúa la selección natural?”, en donde se describen los postulados de la selección natural: el principio de variación, de la herencia, de aptitud diferencial y el de selección. A continuación hay otro subtítulo: “Las evidencias de la evolución”, donde se menciona el ejemplo de la polilla de Manchester como evidencia directa de la selección. La polilla moteada del Abedul, según el texto, al ser descrita en el siglo XIX, presentaba una coloración clara, lo que le permitía posarse sobre los árboles cubiertos de líquenes y pasar desapercibida por los depredadores. Años después, debido a la industrialización en Manchester, las partículas de humo de las fábricas, al matar líquenes y dejar los troncos desnudos, dejaron a la vista a las polillas, entonces, comenzaron a crecer polillas de coloración oscura. En el texto puede leerse:

El color negro fue el resultado de una mutación y existió durante varias generaciones en pequeñas proporciones pero, con la desaparición de los líquenes empezó a ser un carácter ventajoso para las polillas en los troncos oscurecidos por el hollín y para la década de 1950 las poblaciones de polillas con coloraciones claras habían desaparecido casi por completo en las zonas urbanas. (p. 58).

El estilo del lenguaje es descriptivo, pero carece de una explicación de la aplicación de los principios mencionados anteriormente. Se usa solo como

ejemplificación de la selección natural. En la unidad no se presentan los aspectos epistemológicos ni debates históricos ni, mucho menos, un experimento mental. Del ejemplo anterior podría plantearse preguntas del tipo: ¿Cómo el mundo moderno actúa como selección natural en una especie? El ejemplo podría explotarse moviendo variables a partir de contrafácticos del siguiente tipo: ¿“qué pasaría si” hubiese cambios en la temperatura, nuevos depredadores o cambios químicos, etc.?

Lo más parecido a un experimento mental darwiniano se encuentra cuando se hace referencia a la variación intraespecífica. Se cita aquí un argumento lamarckiano:

El pájaro al que la necesidad atrae al agua para encontrar allí la presa que le permite vivir, separa los dedos de las patas cuando quiere batir el agua y moverse por su superficie. La piel que une esos dedos por la base adquiere, por ello, el hábito de extenderse. Así, con el tiempo, se forman, tal como vemos, las grandes membranas que unen los dedos de los patos. (p. 70)

A continuación, como parte de un seguimiento del aprendizaje, se le pide al estudiante que exponga cómo describiría Darwin este hecho mediante la teoría de la selección natural, es decir, se pide que el estudiante relacione las dos teorías; sin embargo, no se contextualiza la continuidad y los problemas que intentaron resolver Lamarck y Darwin ni sus diferencias conceptuales, pues eran modelos diferentes. El aspecto que valdría la pena destacar en este ejemplo es el propósito o teleología implícita en la tesis de Lamarck, al que la selección se opone cuando se postula causas naturales y aleatoriedad en la variación.

Así las cosas, se puede afirmar que los experimentos mentales son una manera idónea de generar comprensión de la teoría, por cuanto el estudiante no solo deduce, sino que imagina y pone en movimiento el pensar a través de la narrativa que constituyen las secuencias de los eventos y permiten traducir conceptos o principios abstractos. En ambos ejemplos comentados, éstos no se usan para introducir algún concepto o ni siquiera para dudar de la tesis de Lamarck, solo se usan como ejemplos. Los experimentos mentales no juegan un papel determinante en la enseñanza de la evolución.

Si se utilizaran experimentos mentales en la enseñanza de la teoría, estos deberían considerarse asociados al desarrollo de teorías o los principios explicativos mencionados en el capítulo anterior. Ello redundaría en la comprensión por parte de los estudiantes. La eficacia de los experimentos mentales radica en que permiten traducir conceptos abstractos en algo tangible. Para Sobanski (2014), los experimentos mentales son una manera para que los científicos y los estudiantes se hagan preguntas y expliquen, así mismos y a los demás, los fenómenos; es la manera idónea para que los estudiantes comprendan una teoría a partir de preguntas dentro del marco de un modelo representacional.

Klassen (2006) se alinea con Nerssesian cuando resalta que es el aspecto narrativo de los experimentos mentales lo más importante cuando se persiguen

finés educativos. El objetivo de los experimentos mentales es el de recrear el pensamiento científico mediante relatos que sintetizan la historia idealizada de los experimentos reales. Este autor afirma que los estudiantes construyen en su mente las situaciones cuando se ven enfrentados a la resolución de un problema académico; coincide con Sobanski cuando dice que los experimentos mentales contribuyen a mejorar la claridad conceptual.

Además, los experimentos mentales pueden estimular a los estudiantes a acceder a intuiciones tácitas, al conocimiento implícito y a estrategias de derivación lógica, todo ello integrado en un pensamiento de trabajo. En el modelo de aprendizaje por experimentos mentales, el estudiante crea una situación en la mente y luego deja que las secuencias de imágenes corran, después observa las consecuencias. Estas consecuencias deben ser coherentes con los principios acerca de la naturaleza, cuyo comportamiento se ha estipulado desde el principio. En ese sentido, el experimento mental puede considerarse como una manera de confirmar o considerar la plausibilidad de una teoría. Si el experimento mental es concluyente, la teoría es exitosa. Para Klassen la recreación de la teoría, a través del experimento mental, es fundamental en el proceso de comprensión y explicación.

La pedagogía de los experimentos mentales consiste en cómo las representaciones mentales de los procesos naturales, como la variación, aclaran o traducen conceptos o modelos teóricos, o bien dan respuestas a las preguntas de los estudiantes. Los estudiantes imaginan el comportamiento de tales procesos con la ayuda de estos dispositivos cognitivos. Cabe subrayar que los experimentos mentales no se limitan a recrear procesos naturales, sino que sirven para responder preguntas o producir aclaraciones, gracias a su particularidad de aislar o abstraer características al desplazar mentalmente las variables en juego.

El profesor Rodrigo González afirma que hay tres requisitos para que un experimento mental se plantee, a saber: en primer lugar, que se parta de un trasfondo teórico, el cual debe aportar suficiente información, y formular de ahí una pregunta. En segundo lugar, se considera la situación imaginaria, es decir, un mundo posible, pero plausible en algunos aspectos. En tercer lugar, está la realización del procedimiento concreto, es decir, se pone en movimiento las variables para establecer un resultado. El experimento puede fallar si el experimentador, en este caso el estudiante, no lo ejecuta o llega a un resultado o interpretación incorrecta o contradictoria, o bien, el procedimiento puede ser irrelevante para generar comprensión.

La idea es que el profesor enseñe a representar un escenario hipotético o mundo posible, a partir de unas condiciones o estipulaciones iniciales que generalmente son de naturaleza contrafáctica. Luego, se le pedirá que manipule mentalmente las variables, con el fin de comprender a través de las consecuencias inferidas. Los experimentos mentales, en este enfoque representado principalmente por Nersessian, son intentos de construir modelos de mundos posibles, entendiendo por modelo: una representación dinámica de una situación, que generará así un análogo estructural del mundo, muchas veces es un contrafáctico.

Se ha señalado que las imágenes y las proposiciones en una narrativa son la materia bruta de los modelos. El punto de partida para construirlos son las preguntas del tipo “qué pasaría si”: que pasaría si hubiese fricción, qué pasaría si no hubiese Estado, que pasaría si los lobos nacieran con patas más largas, etc. El estudiante, al intentar responder a estas preguntas, estaría construyendo un modelo de las implicaciones relevantes en términos de su consistencia y coherencia con la situación imaginada y las condiciones iniciales.

Pero ese responder preguntas “qué pasaría si” depende de un conocimiento previo de los conceptos teóricos y del conocimiento de hechos empíricos.

Según Rodríguez, los estudiantes pueden construir un modelo interno y mostrar que tal situación podría ser el caso o no serlo; es por ello que los experimentos mentales en el aula de clase permiten construir modelos basados en las implicaciones relevantes de una teoría o un concepto científico o hecho empírico. Responder a preguntas “que pasaría si” lleva al estudiante directamente a seguir las implicaciones relevantes y luego ver qué pasa en el laboratorio de la mente.

Consideraciones finales

Sugerencia de implementación de experimentos mentales en la clase de biología

Desde la perspectiva pedagógica, se sabe que el aspecto científico está encarnado en la narrativa. Los experimentos mentales se pueden expresar bien sea como argumentos o como narraciones. Un aspecto importante es que el científico experimentado infiere soluciones ante la ausencia de la narrativa, mientras que el estudiante sí lo requiere para lograr una buena comprensión de la solución presentada. ¿Cómo pueden, los profesores, presentar experimentos mentales a los estudiantes? La mejor manera es mediante la narrativa, pues, desde ahí, es donde se genera un modelo mental sobre el que se va a razonar y todo ello permite fomentar la participación activa del estudiante.

Entonces, la narrativa hace accesible la práctica de razonar sobre la base de modelos mentales y así producir la emergencia de un experimento mental, por ejemplo, el experimento mental de Richard Dawkins, mencionado arriba, a saber:

Un ingeniero, al que se le diera carta blanca en la mesa de dibujo podría diseñar un ala ‘ideal’ para un pájaro, pero pediría saber cuales son las restricciones con las que tiene que trabajar. ¿Está limitado a usar plumas y huesos o podría diseñar el esqueleto en una aleación de titanio?, ¿cuánto se le permite gastar en las alas y cuánta de la inversión económica disponible se puede dedicar, por ejemplo, a la inversión de huevos? En la práctica un ingeniero tendrá dadas unas especificaciones de unos rendimientos mínimos tales como: el puente debe soportar una sobrecarga de 10 toneladas [...] las alas del avión no se deben romper si recibe una presión que sea el triple de lo esperado en el peor caso de unas condiciones de turbulencia; ahora ponte a trabajar y constrúyelo lo más barato que puedas. (Dawkins, 2017, p. 92)

Aquí, se parafraseará las propocisiones de Marzano (2011), por lo tanto, se ofrecerá una analogía con el experimento mental de Richard Dawkins para lograr el efecto deseado en la biología. Es decir, en este punto, el profesor, después de sondear las concepciones alternativas, puede pasar a plantear el problema. Notese, además, como la propuesta de Nersessian brinda mayor apoyo en el objetivo: la individuación, lo que se quiere resaltar en el siguiente ejercicio.

Desde la perspectiva de la enseñanza de la ciencia, los experimentos mentales podría esquematizarse de la siguiente manera: planteamiento del problema e hipótesis, la creación de un mundo imaginario, el diseño del experimento mental y desencadenamiento del experimento mental y, finalmente, la realización de observaciones y presentación de resultados. El diagnóstico del problema suele ser, según Tortop (2016), uno de los puntos de mayor finura, pues allí es donde la creatividad se manifiesta en su máximo esplendor, por eso el problema puede sufrir modificaciones. De igual forma, al discutir el experimento mental bajo los parámetros de la argumentación, se desarrollan habilidades de pensamiento crítico.

¿En qué consiste la variabilidad de la vida?

- La selección natural es la preservación de las diferencias y variaciones individuales favorables y la destrucción de las que son perjudiciales (Darwin, 1999).

- Selección K, se refiere a:

Selección de cualidades necesarias para tener éxito en ambientes estables y predecibles, donde es muy posible que haya una fuerte competencia por los recursos limitados entre individuos que están bien equipados para competir (...). La selección K favorece una serie de atributos, incluyendo el tener un tamaño mayor, una vida más larga y un menor número de descendientes de los que cuidar intensamente. (Dawkins, 2017, p. 440)

- Cuando se realiza o evalúa un proyecto, se determina las opciones que proveen la mejor forma para conseguir beneficios, lo cual minimiza los costos. Todo rasgo en biología se evalúa como costos y beneficios.

- Cualquier rasgo morfológico o conductual que incrementa la supervivencia o el éxito reproductivo es una adaptación.

- Todo rasgo morfológico o conductual es la expresión del genotipo.

Este tipo de conocimiento se denomina conocimiento de trasfondo y le permite, al estudiante, tener un panorama significativo e informacional para que el modelaje del experimento mental funcione. Se debe aclarar que para autores como Searle (1996), la noción de trasfondo no es representacional y hace parte de las creencias; es un tipo de conocimiento de sentido común, pero que aún se halla lejos de las concepciones alternativas. El conocimiento de trasfondo al que se hace referencia en este trabajo va en la vía de Brendel (2003), entendidos como presupuestos informacionales básicos de corte científico que actúan

como principios. En este punto inicial, el profesor puede preguntar sobre las concepciones alternativas o intuitivas acerca del cuello de la jirafa, para utilizar el ejemplar lamarckiano, lo cual le puede servir para integrarlo a los conceptos teóricos darwinistas. Este conocimiento previo se puede sintetizar de múltiples formas:

En una población de animales se presentan modificaciones observables en su cuerpo o en su comportamiento. Como los animales se encuentran en un cierto entorno, sea el desierto, los ríos o las monañas, tendrán diferente éxito para sobrevivir y reproducirse. Las modificaciones en sus cuerpos o en su comportamiento que hicieron que sobrevivieran se pueden pasar de padres a hijos.

Fase 1: Imaginación

Una vez se haya establecido suficiente conocimiento previo, el profesor puede inducir a los estudiantes a la creación de imágenes mentales o modelos mentales. El profesor puede sugerir, por ejemplo, que los estudiantes imaginen un escenario en el que el cual son ingenieros y tienen como objetivo diseñar un animal. Enfocar la atención en detalles concretos como el tamaño de un pez (análogo al vuelo de un pájaro del experimento mental de Dawkins), la velocidad de desplazamiento, los depredadores que puedan ponerle en riesgo, las formas de camuflaje o de herramientas para la lucha, el poner huevos o desovar, etc., imaginar, diseñar el tamaño de las aletas, el tamaño de los ojos, la dureza de las escamas y observar cómo se lleva a cabo la lucha por la vida.

Fase 2: Explorar

En esta fase del experimento, el profesor introduce un nuevo elemento en las imágenes de los alumnos. El profesor puede pedir a los alumnos que amplíen su imagen mental para incluir un posible competidor por los recursos. El maestro podría hacer referencia a la idea de que el alimento del pez depende de fases de migración, de las estaciones del año, de fenómenos naturales como maremotos, alteraciones del clima, etc. Como dice Marzano (2011), acertadamente, el instinto del profesor bien puede llevarle a solicitar a sus estudiantes que manipulen, en el laboratorio de sus mentes, la imagen contrafáctica acerca de las consecuencias del cambio de alguna característica o rasgo observable del pez como su conducta o su morfología, teniendo en cuenta los cambios como resultado de la contaminación, de la salinidad de los mares, de su ciclo de reproducción, etc. Aquí, los estudiantes pueden apoyarse en modelos icónicos para exteriorizar visualmente el experimento mental, lo que lo saca del paradigma proposicional.

Fase 3: Describir

En esta fase, el profesor organiza la socialización del modelo compartido entre los estudiantes, con el fin de explicar las conclusiones a que se va llegando. Se espera con este ejercicio que los estudiantes comprendan que cada modificación o cambio de un órgano o conducta implica una relación de costo-beneficio, que si una adaptación le favorece en un aspecto puede desfavorecerle en otro, que no

hay ninguna finalidad o propósito en biología porque la selección natural opera en términos del azar y la necesidad, que lo que vale para el pez vale también para las plantas y para el mismo ser humano.

Fase 4: Confirmar

En esta última fase del experimento de pensamiento, el profesor y los estudiantes buscan información en los libros de texto y en Internet para determinar si sus conclusiones son correctas y discuten lo que han aprendido. Pueden consultar uno de los muchos sitios web útiles que describen la evolución darwiniana. Hasta aquí un breve panorama de los experimentos mentales en el aula de clases.

Nótese que el experimento mental se puede reconstruir en un sentido negativo, con la finalidad de desacreditar o refutar el lamarckismo como en el caso del cuello de la jirafa, por ejemplo, o bien se puede presentar un experimento mental más abstracto para sustentar la tesis del fenotipo extendido. No hay que olvidar que los estudiantes presentarán su experimento mental en forma de una narración y se podría apoyar de un modelo material o icónico, es decir, un esquema.

¿Presenta alguna ventaja en la enseñanza de la ciencia el hecho de utilizar experimentos mentales como dispositivos cognitivos para representar las teorías científicas? ¿Qué papel desempeña la narrativa como rasgo constitutivo de los experimentos mentales? Entre los variados acercamientos a los experimentos mentales, la propuesta de Nancy Nersessian es la que mejor se ajusta a la enseñanza de la ciencia. La fortaleza de la tesis de Nersessian (2018) consiste en que los experimentos mentales son razonamientos que se hacen sobre modelos mentales y que se presentan a través de narrativas.

Los experimentos mentales son, para Nersessian, “razonamiento de modelaje simulatorio” y su función es la de generar comprensión de una teoría científica. Esta definición es de crucial importancia, pues la noción de enseñanza de la ciencia más adecuada es el enfoque cognitivista, en la que los modelos y particularmente los modelos mentales son el núcleo fundamental. Cuando el profesor enseña una teoría científica lo hace utilizando modelos conceptuales científicos, con el fin de modificar los modelos mentales de los estudiantes, puesto que, desde la perspectiva cognitivista, las personas representan aspectos del mundo mediante modelos mentales o representaciones mentales, y los experimentos mentales precisamente hacen eso, excepto que recurren al uso de la imaginación, la narrativa y la analogía.

En el experimento mental, como se hizo explícito en otro capítulo, es clara la analogía entre un ingeniero y la selección natural, en términos de la especificación de criterios a menor coste. La analogía lo que hace es llamar la atención hacia los criterios que utiliza la selección natural, a saber: riesgos de depredación frente a riesgos de inanición o a los beneficios de apareamiento. Para un pez, los recursos invertidos para potenciar los músculos de las aletas son recursos que pudieron dedicarse a poner huevos. O bien, una mandíbula más grande con una hilera extra de dientes le quitaría espacio al cerebro, lo cual implicaría que

no lograría predicciones de grano fino en el entorno, pero el precio sería realizar pocas discriminaciones en el entorno y llegar a confundir presas vivas con basura artificial, en consecuencia, podría fácilmente ser engañado, y así sucesivamente. La lección de la analogía es que cada adaptación evolutiva debe costar siempre la inversión de recursos que pudieron utilizarse en otras cosas.

Ante la pregunta: ¿existe un método canónico para construir experimentos mentales? La respuesta es que no hay ningún método para construirlos o descubrirlos. No hay recetas disponibles. Solo después de que el experimento mental se construye, el inventor o descubridor, en este caso el profesor, puede sugerir qué es lo que debe imaginar, suponer, inferir o juzgar, con el fin de conseguir el objetivo del experimento mental. El autor plantea que los experimentos mentales no hacen prescripciones acerca de qué situaciones se deben imaginar, sino, más bien, como usuarios del experimento mental solo se construye mentalmente un escenario imaginario, un argumento o una representación icónica.

Los estudiantes pueden fácilmente, en virtud de las definiciones del conocimiento de trasfondo (conocimiento de hechos empíricos, conceptuales o matemáticos, incluso creencias), derivar algunas implicaciones de lo que imaginan o asumen, esto es que acepten lo que se estipula, aquí la narrativa es fundamental.

Los experimentos mentales parten de conceptos abstractos y preguntas bien formuladas, pero la narrativa es lo que los hace accesibles a los estudiantes. En este experimento mental, se visualiza una situación y luego se lleva a cabo una operación, con el fin de ver qué sucede. Hay un paso que va desde el concepto abstracto del principio de selección, la pregunta formulada y luego la traducción a una experiencia sensorial relatable, es decir, la narrativa.

Por lo tanto, la narrativa es una característica fundamental de los experimentos mentales; esto es muy importante desde la perspectiva de la pedagogía. Klassen (2006) expresa que las narraciones de cuentos son más atractivas para los estudiantes que las simples discusiones o la presentación de los argumentos como tal. Incluso, entre las historias-narrativas y los argumentos en forma de premisas, a la Norton, las narrativas apelan al sentido de la identidad humana y los argumentos a la lógica, lo que significa que cuando los experimentos mentales se presentan de manera argumentativa pierden el atractivo humano, que resulta tan valorado por los estudiantes.

Otra forma de entrever los experimentos mentales: cómo podría funcionar la enseñanza de la teoría de la selección natural empleando experimentos mentales, entendidos estos como razonamientos de modelaje simulatorio, es decir, modelos móviles con características imaginativas y narrativas. Para ello, se empleará el experimento mental darwiniano de los lobos.

Darwin pide imaginar una población de lobos en una situación concreta:

(1) Tomemos el caso de un lobo que hace presa en diferentes animales, cogiendo a unos por astucia, a otros por la fuerza y a otros por ligereza, y

supongamos que la presa más ligera, un ciervo, por ejemplo, (2) por algún cambio en el país, hubiese aumentado en número de individuos, (2.1) o que otra presa hubiese disminuido durante la estación del año en que el lobo estuviese más duramente apurado por la comida. (3) En estas circunstancias los lobos más veloces y ágiles tendrían las mayores probabilidades de sobrevivir y de ser así conservados o seleccionados, dado siempre que conservasen fuerza para dominar sus presas en esta época del año, cuando se viesan obligados a apresar a otros animales. (4) No alcanzo a ver que haya más motivo para dudar de que éste sería el resultado, que para dudar de que el hombre sea capaz de perfeccionar la ligereza de sus galgos por selección cuidadosa y metódica, (4.1) o por aquella clase de selección inconsciente que resulta de que todo hombre procura conservar los mejores perros, sin idea alguna de modificar la casta. (Darwin, s.f., pp. 199-200)

Si se aplica algunos de los principios expuestos por Nerssesian para caracterizar los experimentos mentales, se obtendría el siguiente panorama: el uso de la imaginación, la narrativa y la analogía. Para el caso del experimento mental darwiniano, la imaginación tiene que ver con el uso de contrafácticos, es decir, se parte del contrafáctico del tipo ¿Qué pasaría si? Entonces, el ejercicio de la imaginación tiene constricciones como alguna vez lo expuso Ornelas. No se puede imaginar cualquier cosa. Una vez estipulado un escenario hipotético, las escenas deben guardar cierta coherencia entre sí. Así mismo, está presente el uso de la narrativa, como se verá a continuación; no obstante, el uso de la analogía es claro cuando Darwin pide que se compare la selección natural como la selección artificial. A continuación, se presenta algunos rasgos de los experimentos mentales que la filósofa propone:

1. Carácter público y la forma de narrativa del experimento mental, es decir, debe acoger ilustraciones visuales concatenadas mediante una secuencia causal y organizada en el tiempo.

Por ejemplo, el paso de 1 a 2 y de 2 a 3 describe una secuencia causal posible, es decir, no hay ningún salto al vacío, la secuencia es coherente y está determinada por razones, no hay nada pegado con cinta: si hay una población de lobos más veloces entonces tendrán más opciones de sobrevivir.

2. Sensación entre el experimento mental y el experimento real, es decir, los objetos referidos en el experimento mental se deberían comportar tal como ocurren en el mundo real.

Este punto es indiscutible, puesto que el experimento mental está conectado al mundo real, no hay ninguna razón para pensar que el grado de contrafacticidad es tan elevado como para no ser realmente posible. Esto no significa que el requisito de la plausibilidad no encaje con el mundo ni sea un requisito fundamental. Es perfectamente razonable pensar que ello podría pasar realmente, contrario a creer que los lobos pudiesen desarrollar alas o teletransportarse.

3. Los experimentos mentales al presentarse públicamente de forma acabada, el lector puede ejecutarlo incorrectamente o interpretarlo de manera equivocada e indeseada. Los experimentos mentales pueden fallar, por tanto, ser objeto de debates acalorados.

Este punto hace depender los experimentos mentales de cierta carencia de información. Quizás podría imaginarse a un lamarckista aduciendo cierto propósito o teleología en el fitness de los lobos.

4. En los experimentos mentales se seleccionan unas características en detrimento de otras para resaltar los rasgos que son pertinentes para centrar la atención. Así, el color de la roca no afecta su velocidad de caída. O si los lobos que tienen más descendencia en ciertos contextos hipotéticos son de color negro o marrón. En las narrativas, este aspecto es una ventaja para el lector, en tanto la situación presentada es una idealización. Lo cual no significa que eventualmente se incluya una situación pintoresca como cuando Einstein “representa a un físico como si hubiese sido drogado y luego despertado en esta caja” (p. 138), solo para reforzar el hecho de que el observador no pudo darse cuenta de que si “estaba cayendo en el espacio exterior o si estaba sentado en un campo gravitacional” (p. 138).

¿Qué tan cargada de ficción debería estar la narrativa de un experimento mental? ¿Qué lo hace más o menos creíble respecto de otros? El experimento de Darwin presenta una contrafacticidad débil; no hay ninguna violación exuberante a algún principio físico como la causalidad, la ausencia de rozamiento en la caída de los cuerpos, la existencia de tres sexos en la reproducción. La narrativa darwiniana es sencilla, utiliza un conocimiento de trasfondo familiar: el mundo natural.

5. Los experimentos mentales son bastante convincentes, hasta el punto que el lector no considera necesario reproducir el experimento en el mundo real. Por ejemplo, podría enfatizar algo de la experiencia que anteriormente no había sido considerado, lo cual arrojaría nuevos datos.

Dos preguntas muy importantes formula Nersessian: ¿Cómo las narraciones facilitan la construcción de modelos acerca de situaciones experimentales en el pensamiento? y la pregunta epistemológica fundamental: ¿Cómo se pueden llegar a conclusiones conceptuales y empíricas a partir de simulaciones mentales de procesos experimentales?

La estructura narrativa de los experimentos mentales tiene como finalidad ofrecer una guía al lector para que construya un análogo de la situación descrita y, consecuentemente, hacer inferencias simulando las situaciones descritas allí. Los experimentos mentales científicos se diferencian de las narrativas ficticias porque aquello que es simulado es potencialmente traducible al mundo real. Las situaciones en el experimento mental son prototípicas.

Referencias

- Aguilar, R. y Romero, A. (2011). A propósito de los experimentos mentales: una tentativa para la construcción de explicaciones en ciencias. *Revista Científica*, 13(1), 169-174. <https://doi.org/10.14483/23448350.613>
- Brendel, E. (2003). Pompas de intuición y el uso adecuado de los experimentos mentales. *Ideas y Valores*, 52(123), 3-23. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/idval/article/view/14568>
- Chamizo, J. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre la Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(1), 26-41.
- Darwin, C. (1999). *El origen de las especies por medio de la selección natural* (A. Zuleta, Trad.). Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes.
- Darwin, C. (s.f.). *La evolución de las especies*. <http://www.ataun.eus/BIBLIOTECAGRATUITA/CI%C3%A1sicos%20en%20Espa%C3%B1ol/Charles%20Darwin/La%20evoluci%C3%B3n%20de%20las%20especies.pdf>
- Dawkins, R. (2017a). *El fenotipo extendido. El largo alcance del gen* (P. Pachecho, Trad.) Capitán Swing.
- Dennett, D. (1999). *La peligrosa idea de Darwin. Evolucion y significados de la vida*. Círculo de Lectores.
- García, A., Cabrera, H. y Espinosa, E. (2017): *Prácticas experimentales en texto universitarios. Implicaciones en la enseñanza de las ciencias naturales*. Universidad del Valle.
- Klassen, S. (2006). The Science Thought Experiment: How Might it be Used Profitably in the Classroom? *Interchange*, 37, 77-96. <https://doi.org/10.1007/s10780-006-8401-5>
- Marzano, R. (2011). Art and science of teaching / thought experiments in the classroom. *Ascd*. <https://www.ascd.org/el/articles/thought-experiments-in-the-classroom>
- Nersessian, N. (2018): En el laboratorio del teórico: la experimentación mental como construcción de modelos mentales. En J. Ornelas, A. Cíntora y P. Hernández (Eds.), *Trabajando en el laboratorio de la mente: naturaleza y alcance de los experimentos mentales* (pp. 129-148). UASLP Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Ornelas, J. (2016). Metáforas, analogías y experimentos mentales como condicionales contracfácticos. Un estudio metafilosófico de la metodología científica. *Praxis Filosófica*, (43), 201-224.
- Pozo, J. (2003). *Teorías cognitivas del aprendizaje* (5.ª ed.). Morata.

- Pozo, J. y Gómez, M. (2009). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimientos científico* (6.ª ed.). Morata.
- Roux, S. (2013). Introduction: The Emergence of the notion of thought experiments. In K. Ierodiakonou, S. Roux (Eds.), *Thought experiments in historical and methodological contexts* (pp.1-36). Brill.
- Santillana. (s.f.). *Desafíos científicos* 9.
- Sobanski, B. (2014). The Work of Thought Experiments Translating Abstract Concepts into Familiar Situations. *Tooth & Claw*, 11, 67-74. <https://ojs.library.dal.ca/tandc/article/view/4263>
- Stuart, M., Fehige Y., & Brown, J. (2018). Thought Experiments: State of the art. In M. Stuart, Y., Fehige, J. Brown (Eds.), *The Routledge Companion of Thought Experiments* (pp. 1-28). Routledge Taylor & Francis Group.
- Tortop, H. S. (2016). Why Thought Experiments Should Be Used as an Educational Tool to Develop Problem-Solving Skills and creativity of the Gifted Students? *Journal of Gifted Education and Creativity*, 3(3), 35-48. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED572823.pdf>
- Williamson, T. (2016): *La filosofía de la filosofía* (M. Fernández, Trad.). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de investigaciones filosóficas.