

Intuición e imaginación en los experimentos mentales para la enseñanza de las ciencias



Intuition and imagination in mental experiments for teaching sciences

Vélez Rengifo, Juan Carlos

 Juan Carlos Vélez Rengifo (*)
juan.carlos.velez@correounivalle.edu.co
Universidad del Valle, Colombia

Revista de Investigaciones de la Universidad Católica de Manizales

Universidad Católica de Manizales, Colombia
ISSN: 2539-5122
ISSN-e: 0121-067X
Periodicidad: Semestral
vol. 21, núm. 38, 2021
revistaeducacion@ucm.edu.co

Recepción: 21/09/2021
Aprobación: 22/10/2021

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/498/4983963006/>

Resumen: En este artículo voy a presentar dos rasgos fundamentales de los experimentos mentales¹, a saber: la intuición y la imaginación, los cuales permitirán delimitar los criterios para determinar cuándo un EM es una bomba de intuición justificada y cuándo no lo es. Se expondrán para este objetivo las tesis de Elke Brendel (2003) y las de Jorge Ornelas (2016), principalmente. Sin embargo, se realizará una breve reseña por las principales posiciones acerca de los EMs. Finalmente, argumento que los EMs dentro del campo de la teoría de la enseñanza de la ciencia constituyen la mejor herramienta de pensamiento que tenemos, ya que se ejecutan sobre modelos mentales y, por tanto, constituyen elementos fundamentales para promover la enseñanza de la ciencia.

Palabras clave: Experimentos mentales, bombas de intuición, enseñanza de la ciencia, intuición, imaginación, filosofía de la ciencia.

Abstract: In this article I will present two fundamental features of mental experiments, namely intuition and imagination, which will allow to delimit the criteria to determine when an EM is a justified intuition pump and when it is not. The theses of Elke Brendel (2003) and Jorge Ornelas (2016), mainly, will be exposed for this purpose. However, a brief review will be made by the main positions about EMs. Finally, I argue that EMs within the field of science teaching theory constitute the best thinking tool we have, since they run on mental models, and, therefore, they constitute fundamental elements to promote science teaching.

Keywords: Thought experiments, intuition bombs, science education, intuition, imagination, philosophy of science.

NOTAS DE AUTOR

(*) Juan Carlos Vélez Rengifo. Doctor en Educación, Magíster y Licenciado en Filosofía por la Universidad del Valle.

INTRODUCCIÓN

¿Cómo pueden definirse los experimentos mentales?

Para Daniel Dennett (2015) pensar, pero, sobre todo, pensar sobre el pensar es bastante difícil, sin embargo, no lo es tanto si se aprenden a usar herramientas para el pensamiento. Las herramientas de pensamiento son prótesis o andamiajes mentales, y, usualmente, comprenden las metáforas, las analogías y los EMs, así como las etiquetas y los ejemplos. Su objetivo es ayudarnos a pensar acerca de preguntas de gran complejidad, y pueden utilizarse para desestabilizar ideas tradicionales que, usualmente, acorralan o encasillan nuestra manera de interpretar la realidad.

Los EMs no son experimentos en el sentido empírico del término; son deducciones ingeniosas que responden a preguntas igualmente ingeniosas en las cuales la imaginación y la intuición cumplen un papel fundamental. Algunos EMs son llamados bombas de intuición y consisten en “pequeñas historias ideadas para provocar una intuición sincera que haga golpear la mesa (¡Si, por supuesto, tiene que ser así!)” (Dennett, 2015, p. 18); ejemplos de ello es la caverna de Platón, el pacto social de Hobbes, el genio maligno de Descartes o la habitación china de Searle.

El EM es la representación intencional de circunstancias o eventos utilizados para probar, profundizar y contrastar explicaciones teóricas. Se construyen creando situaciones hipotéticas en las que se crean supuestos y posibles consecuencias artificiales. Los EMs se pueden utilizar para ir más allá de los experimentos prácticos y, desde un punto de vista didáctico, facilitar la comprensión al explicar e interpretar un estado de cosas abstracto. La capacidad de manipular y controlar los cambios en los EMs los hace flexibles porque pueden ser repensados para generar diferentes versiones de un mismo escenario y forjar nuevos postulados (Aguilar & Romero, 2011). Por esta razón, Lukas Bielik, profesor de la Universidad de Bratislava, cree que los EMs son evidencias que son susceptibles de confirmar o refutar ciertas teorías o argumentos filosóficos y científicos (Bielik, 2011).

Con los EMs se pueden concebir mundos posibles, y en este sentido, se da valor tanto a la experiencia adquirida, como a la función narrativa del lenguaje, ya que esta se utiliza para hacer la presentación pública del EM.

Si se usa un EM como explicación, habría que preguntarse sobre: ¿qué características y funciones tendrá? ¿Se debe ahondar en la teoría o reemplazarse por la capacidad de experimentar, interpretar y explicar el funcionamiento de la conciencia? ¿Qué tipos de teorías son susceptibles de evaluación? ¿Cuánto conocimiento intuitivo debe utilizarse? ¿Qué tantas contradicciones entre teorías se pueden desenmascarar? Y ¿los EMs respaldan o no las teorías? (Vélez Rengifo, 2022).

El primero que reflexionó sobre los EMs fue Ernst Mach, quien hacia 1896 publicó un texto seminal, titulado *Sobre los experimentos mentales* en el que adopta una posición claramente empirista. Desde su punto de vista, la experiencia cotidiana que resulta del trato con el mundo y del instinto de curiosidad propio del ser humano le otorga el título de experimentador nato. Hay, según su perspectiva, un continuo que va desde la experimentación fáctica hasta la experimentación mental, a la que él atribuye un nivel intelectual más alto.

Los EMs no son privativos de los filósofos o los científicos, pues también los poetas y los creadores de utopías lo hacen al concebir determinadas circunstancias, y asociar ideas, elaborar expectativas o suponer ciertas consecuencias. No obstante, afirma que las ideas son más accesibles que los hechos físicos, por lo tanto éstas preparan el camino a los experimentos reales.

Las ideas que constituyen los EMs, inicialmente, provienen de la información almacenada en la memoria, y, por supuesto, del lenguaje. Una característica común a los EMs y los ERs consiste en la variación, esto significa que,

Al variar las circunstancias (continuamente, si es posible) el rango de validez de una idea (expectación relacionada a esas circunstancias), se incrementa. A través de la modificación y la especialización de las circunstancias, la idea es modificable y especializada y estos procedimientos varían. (Mach, 2018, p. 30).

La conjetura, según Mach, tiene un alto valor epistémico, pues marca el inicio de posibles resultados. En este sentido, es probable que Galileo teorizara antes de ponerse a experimentar, pues pudo haber comprendido que la velocidad de los cuerpos se incrementa mediante la reflexión (Mach, 2018). En efecto, la experimentación mental es previa y necesaria para que se lleve a cabo la experimentación física; todo inventor debe tener en la cabeza su dispositivo antes de realizarlo materialmente, (Mach, 2018) parece que está hablando del hecho de tener un *modelo mental*, al menos, referido a una ontología básica para, luego, manipularla en la mente mediante relaciones. Continúa diciendo que es solo cuando el hombre tiene ya una rica experiencia que la imaginación puede entrar en juego para, luego, decidir las asociaciones que efectivamente van a producirse. La variación, entonces, es una modificación en las variables al interior de la imaginación que se puede explicar utilizando las leyes de la asociación, al mejor estilo del empirismo clásico. En consideración a lo anterior, las preguntas que habría que hacerse, según Mach (2018), son: ¿qué circunstancias determinan ciertos resultados? Y, ¿qué circunstancias son dependientes o no dependientes más de otras? En muchos casos, la experimentación física complementa y necesita de los EMs; en otras ocasiones, los EMs son tan decisivos que hacen parecer inútil a la experimentación física.

Aunque la naturaleza de los EMs no necesita de su expresión empírica, es decir, de ser ejecutados en el mundo real, otros autores como Elke Brendel (2003) afirman que tienen que cumplir con ciertas exigencias teóricas compartidas con los ERs. Una de estas sería el estudio de la dependencia funcional de las variables que lo constituyen, con la finalidad de planear y controlar cambios de datos. Uno de los rasgos más importantes es que los EMs, al igual que los ERs, dependen de suposiciones y de teorías de trasfondo.

Una característica fundamental de los experimentos mentales es que los objetivos del experimentador mental se pueden lograr sin la necesidad de realizar el ER. Esto demuestra que, aunque no son perceptibles, se pueden saber sus resultados por medio de cierta *captación intuitiva*.

El rasgo contrafáctico e idealizado de algunos de los EMs, como los demonios de Maxwell, el observador de Einstein, que viaja montado en un rayo de luz, o los cuerpos de Galileo, que caen sin la resistencia del aire, es que son ejemplos de EMs que no pueden llevarse a cabo. Sin embargo, habría otros EMs susceptibles de ser desarrollados, como el cubo de Newton y el tren de Einstein, en los cuales se imagina una situación posible o real. Al respecto, Brendel (2003), señala que, los EMs tienen como función: refutar enunciados básicos que constituyen narraciones acerca de mundos posibles. En ese sentido, los EMs tendrían como finalidad localizar contradicciones ocultas al construir escenarios hipotéticos que problematizan estructuras conceptuales tradicionales. Esto reviste importancia porque el progreso científico depende, en gran parte, de la detección de inconsistencias en las teorías científicas.

No obstante, existe otro propósito más constructivo, como el hecho de proporcionar evidencia a favor de una teoría que ha sido cuestionada, así, por ejemplo, el experimento del balde de Newton, que se construyó para demostrar el carácter absoluto del espacio. En ese sentido positivo, los EMs también pueden asumir una función pedagógica, que es la que me interesa. Esta función implica la comprensión de teorías muy técnicas debido a su alto grado de abstracción. El ejemplo que presenta Brendel (2003) es el de *El príncipe y el zapatero*, de John Locke, con el fin de explicar la necesidad de continuidad psicológica para pensar la identidad personal como mismidad racional.

En resumen, los EMs alcanzan su propósito sin necesidad de ejecución fáctica. Sin embargo, comparten con los ERs la posibilidad de modificar datos, al mostrar la dependencia funcional entre variables en un escenario construido. Algunas veces, prueban que ciertos conceptos son contradictorios; en otros casos, lo que hacen es proporcionar evidencia o respaldo a una teoría. Pedagógicamente, ilustran una posición abstracta o compleja, y, finalmente, detectan vaguedades conceptuales.

Robert Brown (2018) afirma que precisar lo que son los EMs es difícil, sin embargo, es posible identificar características generales, estas son: involucran algo similar a la experiencia, realizar cálculos, una teoría o una conjetura. Es decir, la ejecución, la simplicidad y el alcance son los que hacen estéticamente bellos a los EMs. Brown (2018) señala que el hecho de poder realizar el experimento mental en términos de un experimento real es poco importante para comprenderlo. Este punto es importante, pues, Brown (2018) sostiene que el rasgo contrafáctico de los EMs ha sido exagerado. Este rasgo tiene que ver con la idealización, pero lo más relevante es que éstos operan en el plano del pensamiento; no necesariamente en el mundo real.

Si para los ERs sus demostraciones dependen de medidas, magnitudes, instrumentos materiales, así como técnicas y modos de hacer, etc., en los EMs solo se requiere de *principios*. Con todo, las características más importantes son la inmediatez y la replicabilidad. Lo que sí está claro es que los científicos, muchas veces, usan los EMs como sustitutos de ERs o, como dice Mach (2018), como una precondition a los ERs.

Existe, según Brown (2018), un tipo de EMs que ofrecen reconocimiento *a priori* de la naturaleza. En primer lugar, las razones son, por ejemplo, que no hay nuevos datos empíricos al pasar de la teoría aristotélica del movimiento de los cuerpos a la caída de los cuerpos de Galileo; en segundo lugar, no hay verdades lógicas, pues los objetos podrían caer dependiendo del color o del sabor, y esto porque son las características extensivas y, no las intensivas las que importan. En este aspecto, se pregunta Brown (2018), si es posible que los cuerpos tengan trayectorias con velocidades distintas debido a diferencias en su estructura química.

Brown (2018) afirma que: “el poder adicional del patrón generalizado del pensamiento de Galileo claramente no depende, ni es derivable de premisas empíricas; está más allá de cualquier cosa que hayamos experimentado” (p. 44). En consecuencia, Brown afianza la tesis del funcionamiento de intuiciones *a priori*, pero ¿cómo se adquiere el conocimiento *a priori*?

Brown (2018) se basa en la matemática desde el platonismo y se apoya en Kurt Godel, quien afirma que las clases y los conceptos son objetos matemáticos que tienen realidad en la medida en que existen independientemente de las definiciones y constructos. Además, afirma que los axiomas se pueden percibir de manera equiparable a la percepción sensible. El segundo argumento de Brown (2018) es que las leyes de la naturaleza no son consideradas como regularidades de fenómenos, como había postulado el empirismo clásico, sino que, más bien, son relaciones entre entidades abstractas (universales) que existen independientemente del ser humano, y del tiempo y el espacio. En otras palabras, las generalizaciones sobre los particulares, al ser de carácter lógico, tienen la forma de una ley. Desde esta perspectiva realista de las leyes de la naturaleza, estas no son solo accidentales, sino que son independientes de la persona y, en efecto, son usadas para explicar objetivamente algo. Las leyes de la naturaleza y las entidades matemáticas se pueden intuir, y una fuente de acceso la constituyen los EMs. Cabe preguntarse si el análisis de Brown (2018) tiene validez en los EMs de disciplinas del saber distintas a la física, como es el caso de la filosofía o la biología. Dejemos, por ahora, las concepciones clásicas de los EMs, pues ya tenemos elementos de análisis para adentrarnos en las tesis de Brendel (2003) y Ornelas (2016).

DESARROLLO

El conocimiento de trasfondo en los EMs según Brendel (2003)

¿De dónde proviene la información que proporcionan los EMs?: Esta pregunta constituye el problema tradicional de la justificación del conocimiento en los EMs y de ella se desprenden otros dos interrogantes: ¿Cómo es posible aprender algo nuevo a través de los EMs sino hay *inputs* sensoriales de por medio? y ¿tenemos un mecanismo especial de acceso, una facultad intuitiva particular que permita intuir verdades de la naturaleza? Esta última pregunta fue respondida por Brown (2018), cuando afirmó que los experimentos *a priori* no están basados en nuevas evidencias empíricas.

Ahora bien para Brendel (2003), Brendel sugiere que el EM de Galileo que muestra, a partir de la detección de la contradicción en Aristóteles, que todos los cuerpos caen a la misma velocidad sin importar su peso, es tanto destructivo como constructivo, ya que al destruir los principios de la argumentación aristotélica nos instala en la nueva teoría.

Hay que señalar, rápidamente, que lo importante es que para Brown (2018), el paso de la contradicción a la nueva teoría no es un argumento basado en *inputs* empíricos, ni es una deducción lógica a partir de datos viejos. En su lugar, Brown (2018) dirá que mediante una percepción intuitiva *a priori* de las leyes de la naturaleza se capta la ley de la caída de los cuerpos. Estamos ante una concepción realista al estilo Platón de las leyes de la naturaleza. Esta facultad intuitiva se revela mediante los EMs y es totalmente diferente de los métodos empíricos. Al respecto, Brown (2018) llega a decir que las abstracciones en términos cuantitativos son tan reales como los hechos.

En contra de las ideas de Brown, Brendel (2003) se alinea con Norton (2018), para quien los EMs se reconstruyen con argumentos y haciendo irrelevante postular la captación inmediata de las leyes naturales. Brendel (2003) asume que el error de Brown consiste en partir, implícitamente, de un conocimiento científico y empíricamente actual. Esta concepción llena el vacío epistemológico acerca de la idea de que la caída de los cuerpos no era pensable, empíricamente en la época de Galileo. El hecho de que los cuerpos caigan a la misma velocidad si se neutraliza la resistencia del aire no puede considerarse una captación *inmediata compartida*, pues el debate en torno a ello así lo demuestra. Además, para llegar a ese tipo de conocimiento se requiere de otras disposiciones tales como: la posibilidad de ignorar ciertas características de los cuerpos que caen, por ejemplo, su forma o la materia de la que se componen y la creencia de que solo el peso es el responsable de la velocidad.

Adicional a lo anterior, la perspectiva que el autor defiende involucra, necesariamente, criterios para identificar si los EMs son correctos o incorrectos. Así, Brendel (2003) sostiene que la justificación de las premisas implicadas y los pasos inferenciales son fundamentales para declararlos argumentos correctamente reconstruidos; sin embargo, hace falta algo: conocimiento previo, también denominado *conocimiento de trasfondo*.

El nuevo conocimiento obtenido en los EMs proviene del reacomodamiento y de la reorganización novedosa de información empírica ya conocida, así como de las inferencias hechas a partir de esto, o bien, de mirar las cosas desde otra perspectiva. De este modo, en el caso del EM de Galileo la reorganización de la experiencia se basó en la combinación de objetos que tuviesen peso diferente. Esta combinación mental llevaría a una contradicción en la tesis aristotélica, y, por *reducción al absurdo*, se infiere que todos los cuerpos en el vacío caen a la misma velocidad y, lo que es más importante, sin necesidad de postular un reino platónico inefable.

Brendel (2003) se distancia de Norton en la medida en que este último entiende que los experimentos mentales son, únicamente, argumentos referido a conocimiento explícito. Para Norton (2018), los EMs consisten en imaginar “lo que el mundo podrá hacer si lo manipuláramos de una u otra manera” (p. 65). Sin embargo, la paradoja se encuentra en que el elemento esencial de la experimentación es el mundo natural. La magia epistémica, según Norton (2018), consiste en utilizar el pensamiento para indagar acerca del mundo. Entonces, ¿de dónde proviene el conocimiento proporcionado por los EMs?

Para Norton (2018), los EMs son argumentos ordinarios disfrazados de formas pictóricas o narrativas. Como empirista confeso auto declarado sostiene que la materia bruta de los EMs es el conocimiento, explícito o tácito, que ya tenemos del mundo. En ese sentido, el límite de los EMs parece coincidir con el de la argumentación. En consecuencia, un punto clave en la postura de Norton (2018) es que los EMs están determinados por reglas lógicas, bien sean inductivas o deductivas.

Según esto, el pensamiento lo que hace es transformar aquello que se sabe, de manera que se preserve alguna verdad preexistente y la dicha transformación es posible cuando se aplica la argumentación. Este es, según Norton (2018), el motivo por el cual algunas veces los EMs producen conocimiento, es decir, porque son

argumentos disfrazados de retórica pintoresca. Al respecto, sostiene Norton (2018) que “de acuerdo con el empirismo, los EMs solo pueden hacer eso si se les suministra conocimiento del mundo natural, esto es, si este conocimiento comprende una porción de las premisas con las que el argumento se desarrolla” (p. 73).

Norton (2018) se decanta por dos formas de entender su tesis: primero, si los EMs son argumentos, ¿es la argumentación lo único que hacen los EMs cuando justifican sus argumentaciones? Y, ¿la ejecución real de un EM es solo la ejecución de un argumento? Norton (2018) afirma, entonces, que los EMs pueden ser reconstruidos como argumentos basados en un conocimiento que puede ser de trasfondo o explícito, y la conclusión será verdadera en virtud de su justificación. En consecuencia, hasta ahora, según Norton (2018), ningún EM ha resistido el hecho de poder ser reconstruido mediante premisas. Segundo, ejecutar un argumento es la esencia misma de la ejecución del EM, aun cuando se presente de manera simplificada. Dice al respecto que “los EMs no difieren de las lecturas de la más amplia literatura en cuanto a escritura convincente” (p. 75). En ese sentido, las lecturas son aquello de lo que más estamos familiarizados y la característica de los textos es inducirnos a “llevar a cabo argumentos tácitamente y se insiste en que reconstruir los argumentos de manera explícita es una poderosa herramienta de diagnóstico” (p. 75). Ante esto, Norton (2018) simplemente, sugiere que se les dé el mismo tratamiento a los EMs y a los argumentos. Todos los EMs implican una conexión entre argumentos y esquemas, lo cual quiere decir que no se los puede tratar, exclusivamente, como modelización mental. Hasta aquí, las tesis de Norton (2018). Veamos la crítica de Brendel (2003).

La tesis de Brendel (2003) es que en los EMs hay un tipo de conocimiento implícito o de trasfondo que no funciona, precisamente, como un argumento. Este conocimiento de trasfondo está compuesto, realmente, de intuiciones que funcionan como *pensamientos generales* o *ámbitos de conocimiento intuitivo* (físico, matemático, etc.), es decir, regularidades generales acompañadas de un sentimiento de certeza; además, este conocimiento de trasfondo también opera inconscientemente a la hora de hacer interpretaciones.

Este conocimiento de trasfondo es compartido en la medida en que pertenecemos a la misma especie y a comunidades científicas y culturales con rasgos conceptuales en común. No obstante, estas intuiciones no son estables, ya que están, constantemente, permeadas por la experiencia y el conocimiento que vamos acumulando. Estas ideas son la clave, pues le proporcionan a Brendel (2003) el argumento para plantear que el motivo por el cual, en el experimento de Galileo, la conclusión que todos los cuerpos caen con igual velocidad, es clara a la luz de lo que sabemos científicamente en la actualidad, mientras que en su propia época no era tan obvio.

Brendel (2003) concluye afirmando que no es necesario postular un reino platónico en el que existan leyes naturales, ni creer que realizamos procesos argumentativos explícitos de razonamiento. El autor enfatiza en el papel que cumple el conocimiento adquirido *a posteriori*, el cual funciona como una red de trasfondo que influye a la hora de evaluar un experimento mental. De lo que se trata, según esta tesis, es de hacer explícito este conocimiento de trasfondo y reconstruir el EM como un argumento para que puedan salir a flote falsas premisas o falsas inferencias. Desde luego, el resultado es una reflexión crítica acerca de las intuiciones presentadas en los experimentos mentales. En el modelo de Brendel (2003), las intuiciones juegan un papel importante, dado que son una fuente de conocimiento que puede ser falible y poco confiable, por ello el punto es saber distinguir las buenas intuiciones de las falsas.

Imaginación y contrafáctico: justificación epistémica según Ornelas

Habíamos mencionado, anteriormente, el papel que desempeña la imaginación en los contrafácticos. La imaginación siempre se la ha asociado a un estado irrestricto de posibilidades arbitrarias. Razonar de la forma: “si dedicara más horas a mi investigación, tendría mi título más rápido” resulta muy útil en términos de las predicciones. El paso desde el antecedente contrafáctico hasta las conclusiones lógicas del enunciado está, en gran parte, determinado por la imaginación.

Las tesis que Ornelas (2016) va a defender, basándose en Williamson (2016), se refieren a que los razonamientos contrafácticos son fiables, dado que descansan en la capacidad *fáctica* de la imaginación, y que la versión naturalista de la imaginación tiene tintes adaptativos. Se pregunta, entonces, si la imaginación es la ausencia de cualquier restricción fáctica, es decir, si en los EMs es posible imaginar cualquier cosa. Afirma, en efecto, que imaginar algo es predecir con pretensión de validez. En esta medida, Ornelas (2016) considera que, desde Williamson (2016), la imaginación es la capacidad cognitiva que permite hacerse representaciones mentales de carácter predictivo a partir de *información previa*, usualmente, proveniente de datos empíricos. En consecuencia, la imaginación viene a ser un subproducto de la percepción, lo que en términos evolutivos significa que tiene valor adaptativo, es decir, contribuye a predecir qué movimientos o acciones se van a realizar en un entorno que puede ser útil o peligroso para un individuo.

La imaginación, entendida así, garantiza epistemológicamente el razonamiento contrafáctico:

Suponemos el antecedente y desarrollamos la suposición, añadimos otros juicios dentro de la suposición a través del razonamiento (mecanismos predictivos *offline*) y otros juicios *offline*. La imaginación puede ser perceptiva pero no necesita serlo. Todo el conocimiento y las creencias de trasfondo están disponibles dentro del alcance de la suposición como una descripción de las circunstancias reales en que se encuentra el agente, para los propósitos de comparación con las circunstancias contrafácticas. (Williamson, 2007, como se cita en Ornelas, 2016, p. 211).

Entonces, la aceptación del consecuente es el resultado del desarrollo del condicional contrafáctico. Como las posibilidades lógicas del consecuente están constreñidas por el antecedente y la experiencia previa, la imaginación es la que selecciona dicho consecuente al lograr captar las notas lógicas *relevantes del antecedente*. Así, por ejemplo, si intento subir a un árbol, es irrelevante imaginar el diseño arquitectónico de la biblioteca departamental. Esa sería una creencia muy poco útil, pues no ayuda nada en el éxito de mi cometido. Es por esto por lo que el carácter fáctico de la imaginación reside en su aplicación a problemas concretos, como el de trazar una ruta para recorrer los museos de la ciudad. Entonces, lo que determina la acción es el conocimiento, no las creencias en el sentido de la especulación o la conjetura.

Surge aquí una pregunta: ¿es el razonamiento contrafáctico, al partir en gran medida de la experiencia previa, un mero razonamiento inductivo? Al parecer, el carácter fáctico de la imaginación choca de frente con su manera de operar *offline*, dado que su dimensión fáctica consiste en recoger experiencias previas que fungan como justificación. Al respecto Williamson (2016) plantea que al argumentar que el único papel que cumple la experiencia previa es constreñir, ajustar o filtrar el abanico de posibilidades relevantes con el fin de precisar el consecuente fáctico.

¿Es esta la naturaleza del método inductivo? Siguiendo el ejemplo anterior, solo tras varias experiencias de subir a los árboles puedo imaginar si tendré éxito o no. No obstante, para Williamson (2016) no se trata de *reducir* el razonamiento contrafáctico a meros recuerdos de experiencias previas, sino de la *habilidad* del sujeto en la imaginación de consecuencias. Por su parte, Ornelas (2016), se pregunta si este giro garantiza, de alguna manera, una ventaja epistémica al elegir una opción frente a las demás.

Finalmente, señala Ornelas (2016), que los condicionales contrafácticos no solo tienen que ver con el futuro, sino que hay condicionales sobre hechos del pasado que no ocurrieron; así, por ejemplo, cabe preguntarse por la existencia de los dinosaurios si un asteroide no hubiese caído en Centroamérica hace sesenta y cinco millones de años. Este tipo de contrafácticos son *retrodicciones* o inferencias que extrapolan las circunstancias presentes o pasadas a hechos del pasado.

El valor didáctico de los EMs consiste en amplificar la imaginación y la creatividad mediante la modelización mental de la narrativa, con el fin de, destacar rasgos importantes y fundamentales en el razonamiento científico. Sus funciones serían, según Aguilar y Romero (2011), identificar contradicciones conceptuales, respaldar una teoría, hacer accesible una teorización abstracta y, detectar la imprecisión y la falta de aplicación de un concepto.

El problema de la legitimidad de los EMs

Si los EMs se pueden considerar como argumentos, entonces pueden ser válidos o no, justificables o no. Sin embargo, el problema de la justificación, quizá, no es tan importante como el hecho acerca de la función que cumplen en la enseñanza de la ciencia. Los EMs, al utilizar escenarios imaginarios sugestivos, hacen uso de intuiciones que se moldean de diversas maneras, lo que da lugar a múltiples conclusiones bajo la peligrosa idea de que no es necesario examinarlos críticamente. Uno de los autores que más ha llamado la atención sobre el papel que cumplen los experimentos mentales ha sido Daniel Dennett, quien los denomina *bombas de intuición*, y las caracteriza como “imaginativas reflexiones en el lector que, en última instancia, no llevan a una conclusión formal sino a un dictado de la intuición” (como se cita en Brendel, 2003, p. 12).

A los EMs se le exigen requisitos teóricos, pues al inventarse un escenario imaginario los datos que lo constituyen son manipulados arbitrariamente, sin embargo, como dice Brendel (2003), los efectos de esas manipulaciones deben estar bajo control, es decir, comprender su impacto en otras suposiciones implícitas, esto implica pensar si los efectos de esas manipulaciones logran justificar la conclusión. Hay que preguntarse, entonces: ¿son realmente claras las premisas relevantes en el EM? La idea es que la conclusión del EM debe estar debidamente soportada por las premisas que la constituyen. El escenario imaginario no debería estar subdeterminado en aspectos relevantes, puesto que ello conduciría a una conclusión no justificada por las premisas.

Un ejemplo de lo anterior sería el EM de la tierra gemela de Putnam. Este EM no cumple con el requisito del cambio controlado de datos porque hay allí una *premisa no justificada*: que los estados mentales de los seres humanos y los de sus copias de la tierra gemela sean idénticas, aunque la composición química de ambos sea diferente; lo que se hace es, simplemente, estipular que los cambios significativos en la microestructura no implican efectos en la macroestructura, lo cual es incorrecto. Esta sería una *bomba de intuición* ilegítima. Incluso, Putnam no explica por qué la tierra gemela es tan radicalmente distinta de la nuestra. Habría que preguntarse, según Brendel (2003), si un experimento mental análogo estructuralmente tiene la misma plausibilidad intuitiva y lleva a las mismas consecuencias. Muchos EMs, en ese sentido, dan por sentada la cuestión que quieren resolver.

Una de las fallas más usuales de los EMs, según Brendel (2003), consiste en que parece intuitivamente implausible pasar del nivel de subsistema a una explicación de las propiedades globales del mismo. Esto ocurre, usualmente, cuando el fenómeno es complejo y abstracto, o no ha sido abordado completamente por la ciencia.

Otro fallo usual o salto ilegítimo en los EMs son las *suposiciones contrafácticas*, las cuales son válidas solo si se utilizan heurísticamente y desde que no vayan en contra de la meta del experimento. En términos de Brendel (2003), las suposiciones contrafácticas no deben ser relevantes, pero para llegar a esta conclusión debe analizarse el trasfondo implícito en el EM.

Así, por ejemplo, desde la filosofía de la mente el clásico problema de la identidad ha sido uno de los temas más recurrentes en la inspiración de EMs. Algunos de estos han sido muy discutidos, por ejemplo, la teletransportación, el proceso de fisión, los trasplantes cerebrales, y variedad de casos de ciencia ficción en los que se apela a intuiciones. Sin embargo, al no tener claro los criterios fundamentales para establecer qué significa la *identidad personal*, se da por sentada la cuestión y las intuiciones generadas son inútiles o excesivamente creíbles. En estos casos, no hay descubrimientos, sino estipulaciones previas; se asume, además, que existe solo una definición de *identidad personal*, lo cual no es cierto, pues hay diferentes nociones que pueden rivalizar entre sí.

Otro ejemplo propuesto por Brendel (2003) tiene que ver con la claridad conceptual acerca de la naturaleza del conocimiento, el cual se ha entendido desde una concepción internalista o externalista. En la primera, se asume que lo verdaderamente importante es la justificación de la creencia desde la perspectiva del sujeto epistémico. En la segunda, simplemente, se pone el acento en los procesos de la percepción, a partir de la

cual se elabora el conocimiento. Ambos tipos de acercamiento son legítimos y, pueden clarificarse dado que son universalmente válidos. El papel que cumplen los EMs es, entonces, el de trazar los límites de ambas concepciones para depurar las diversas formas de conocimiento.

CONCLUSIONES

Los EMs en la enseñanza y aprendizaje

La paradoja de los EMs consiste en cómo pasar de un EM interno a la convicción de unos resultados esperados. Es contradictoria la idea de que un EM que implique observación sea llevado a cabo internamente, es decir, en la cabeza, pues este no implica, de hecho la observación. ¿Cuál es, entonces, el propósito de los EMs? Para Brown (2018), los EMs sirven a propósitos tanto constructivos como destructivos, por ejemplo, al generar conflictos dentro de una teoría. Para otras personas como, Clement (2009), la transcripción del acto de pensar en voz alta por parte de algunos investigadores ofrece mejores indicios de la manera en que se construyen y evalúan modelos mentales (y teóricos) en la cabeza.

Investigaciones recientes apuntan a que un esquema motor perceptivo genera imágenes dinámicas que se complementan con contribuciones no formales y racionales aportadas por el sistema de razonamiento espacial. Además, no hay que perder de vista la capacidad de combinación de esos esquemas para generar otros nuevos. Es más correcto pensar en intuiciones físicas implícitas desde simulaciones imaginativas, que hablar de proposiciones y de axiomas explícitos. La paradoja anteriormente señalada quedaría resuelta en términos de que el EM podría sentirse empírico, pero, finalmente, podría involucrar una ingente cantidad de razonamiento dentro de la cabeza. Esto quiere decir que, los EMs se ejecutan de manera no propositiva y, no formal; más bien, se realizan de manera imaginativa e intuitiva. Para algunos autores como Reinier, (como se cita en Clement, 2009), los EMs involucran cinco etapas: mundos posibles o hipotéticos, la hipótesis, los experimentos, los resultados y las conclusiones.

En experimentos con estudiantes, Reinier (como se cita en Clement 2009), observó que cuando ellos trabajaban desde un sistema de imágenes interactivas en sus computadoras, las imágenes que producían eran compartidas por todos, lo que implicaba un apoyo en estas para sus procesos de aprendizaje, incluso, hasta el punto de predecir lo que iba a pasar. En este sentido, las imágenes mentales son un elemento indispensable en la elaboración de los EMs, y, por supuesto, para construir los mundos hipotéticos de los EMs.

En algunas investigaciones de este tipo se evidencia que los estudiantes pueden avanzar mucho más fácil hacia ideas científicas al entrelazar modelos imaginarios y físicos. Al parecer, muchos estudiantes son capaces, Cuando hacen uso de esta herramienta, de construir escenarios hipotéticos, evaluar y hacer predicciones.

Por esto, es válido preguntarse ¿qué papel juegan los EMs en la instrucción de ciencias? En muchos experimentos controlados por Clement (2009) se encontró que los estudiantes de grados avanzados utilizaron dibujos de ERs y de EMs para comunicar, efectivamente, sus ideas científicas. Así mismo, han podido constatar que estudiantes de secundaria pueden razonar eficazmente sobre escenarios hipotéticos y, modificar o desconfiar de ideas anteriores. En clase de física, estos EMs pueden estar inspirados en otros escenarios propuestos por compañeros de aula durante una discusión.

La importancia de los EMs en la enseñanza y en el aprendizaje consiste en que, en algunos casos, pueden generar insatisfacción con las concepciones existentes y motivar así a los estudiantes al anhelado cambio conceptual. No obstante, es prudente establecer algunos interrogantes, por ejemplo, ¿Cuál es la relación de los EMs con la analogía?, ¿cómo ayudar a los estudiantes a construir sus propios EMs?, y ¿qué le da la capacidad a un modelo teórico para generar imágenes dinámicas que, posteriormente, puedan ser usadas en la elaboración de un EM? Se ha propuesto que algunas intuiciones fundamentales de la física son susceptibles de ser realizadas, dado que incorporan esquemas motores perceptivos. El modelo hereda esta capacidad para

generar imágenes dinámicas, así la transferencia de ejecutabilidad es utilizada para desarrollar un modelo explicativo. En esta medida, el tipo de razonamiento racionalista, hipotético e imaginativo está en la base de la comprensión del trabajo empírico y algorítmico.

Las preguntas que se hace Clement (2009), y que deja abiertas a fin de futuras investigaciones son las siguientes:

¿Hay evidencia suficiente acerca del uso de EMs por parte de los estudiantes?, ¿Son los EMs utilizados por los estudiantes creaciones originales?, ¿Su uso es esporádico y aislado o tienen un impacto en su interacción con otros estudiantes en el aula de clases?, ¿una vez realizados, son susceptibles de mejoramientos?, ¿El uso de imágenes mentales por parte de los estudiantes son un rasgo definitorio de EMs?

Clement (2009), relata que, en una clase de física, a los estudiantes de secundaria se les pidió que respondieran acerca de las causas de la gravedad, lo cual incluía la rotación de la tierra. Uno de los estudiantes dibujó una esfera con la figura de un hombre sobre ella. El estudiante afirmó que la gravedad, quizá, no tenga mucho que ver con la rotación, pero que, sin embargo, esta tira al hombre al mismo tiempo que lo aleja. El punto es que como el estudiante no ha experimentado nunca girar tan rápido como para ser expulsado, así mismo imagina cómo se vería la tierra desde un observador externo e intentando predecir el comportamiento de un sistema.

En cualquier caso, este EM cumple con la función de ayudar a examinar la hipótesis de si es la gravedad la que provoca la rotación de la tierra y permite un modelo. Clement (2009) afirma que existe la distinción muy interesante entre los EMs que son propuestos por el profesor para, luego, ser evaluados por los estudiantes en términos de realizar predicciones sobre estos y los EMs generados por los propios estudiantes.

Los EMs son considerados como tal en sentido amplio cuando solamente implica para un sujeto manipular una imagen mental en vez del objeto físico; no obstante, en su sentido estricto solo califica como EM una situación mucho más compleja en imágenes y con un propósito definido como la presentación de un concepto teórico o una crítica a alguna teoría o concepto científico (o filosófico). La ejecución del EM es un rasgo importante que sirve como criterio de delimitación entre lo que debe ser considerado un EM y qué no lo es. En ese sentido, ¿son los EMs una habilidad avanzada?, y ¿se puede enseñar?

Al parecer, en el aula de clases se estarían recuperando procesos de razonamiento, los cuales podrían ser más importantes que la dimensión empírica clásica. En este contexto, se pueden usar diferentes tipos de EMs para construir o evaluar (desconfiar o confirmar) un modelo. Clement (2009) identificó varios procesos de pensamiento que pueden incorporar y utilizar EMs (definidos en sentido amplio), incluido el uso de analogías, casos extremos y modelos mentales ejecutables.

El trabajo en curso sobre los mecanismos en los EMs más desarrollados apunta a la participación, en muchos de estos, mediante esquemas motores perceptivos, los cuales impulsan simulaciones de la imaginación con la ayuda de procesos de razonamiento espacial.

Finalmente, la simulación de la imaginación puede ser un proceso de toma de sentido muy importante. Si esta simulación es un mecanismo relevante para la creación de sentido, entonces necesitamos encontrar maneras de fomentarlo, ya que es un modo muy diferente de pensar que va, desde recordar hechos memorizados hasta ejecutar algoritmos. Los EMs, en sentido amplio, podrían proporcionar una forma de promover la simulación de la imaginación como un elemento clave de la creación de sentido.

REFERENCIAS

- Aguilar, Y., y Romero, A. (2011). *A propósito de los experimentos mentales: una tentativa para la construcción de explicaciones en ciencias*. En 5º Congreso Nacional de Enseñanza de la Física. Universidad Pedagógica Nacional (U.P.N) Universidad Distrital Francisco José de Caldas (U.D.F.J.C). Bogotá, Colombia. 16 al 20 de mayo 2011.
- Biélik, L. (2011). *Thought Experiments: Their Structure and Function*. http://www.amesh.sk/pdf/Bielik-Thought_Experiments_Their_Structure_and_Function.pdf

- Brendel, E. (2003). Pompas de intuición y el uso adecuado de los experimentos mentales. *Ideas y valores*, 123, 59-74.
- Brown, J. R. (2018). Porqué los experimentos mentales trascienden el empirismo. En C. Ornelas, G. Cíntora, y L. Hernández (Eds.), *Trabajando en el laboratorio de la mente: Naturaleza y alcance de los experimentos mentales* (pp. 75-86). Universidad Autónoma de San Luis de Potosí.
- Clement, J. (2009). The role of imagistic simulation in scientific thought experiments. *Topics in Cognitive Science*, 1, 686-710.
- Dennett, D. (2015). *Bombas de intuición y otras herramientas de pensamiento*. Fondo de Cultura Económica.
- Mach, E. (2018). Sobre los experimentos mentales. En C. Ornelas, L. Cíntora, y E. Hernández (Eds.), *Trabajando en el laboratorio de la mente. Naturaleza y alcance de los experimentos mentales* (pp. 27-34). Universidad Autónoma de San Luis de Potosí.
- Norton, J. (2018). Porque los experimentos mentales no trascienden el empirismo. En C. Ornelas, L. Cíntora, y E. Hernández (Eds.), *Trabajando en el laboratorio de la mente. Naturaleza y alcance de los experimentos mentales* (pp. 35-64). Universidad Autónoma de San Luis de Potosí.
- Ornelas, J. (2016). Metáforas, analogías y experimentos mentales como condicionales contrafácticos: Una aproximación metafilosófica a la metodología científica. *Revista Praxis Filosófica*, 43, 201-224. <https://doi.org/10.25100/pfilosofica.v0i43.3161>
- 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>
- Williamson, T. (2016). Experimentos mentales. En *La filosofía de la filosofía* (pp. 239-274). Universidad Nacional Autónoma de México.

NOTAS

- ¹ En adelante, EM para hacer referencia al término en singular y EMs cuando se trata del término en plural.