

---

Provided for non-commercial research and education use.

Not for reproduction, distribution or commercial use.

---

## Ernst Mach, Karl R. Popper y Thomas S. Kuhn: Aportaciones al Estudio de los Experimentos Mentales

Islas Mondragon, Damian

Pages 133-150

ARTICLE DOI [10.17990/RPF/2018\\_74\\_1\\_0133](https://doi.org/10.17990/RPF/2018_74_1_0133)

Pierre Duhem e Ernst Mach: Ciência e Filosofia

*Pierre Duhem and Ernst Mach: Science and Philosophy*

María de Paz; Antonio Augusto Passos Videira; Álvaro Balsas, SJ (Eds.)

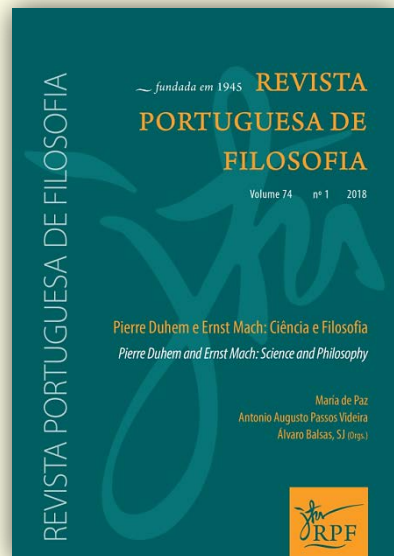
74, Issue 1, 2018

ISSUE DOI [10.17990/RPF/2018\\_74\\_1\\_0000](https://doi.org/10.17990/RPF/2018_74_1_0000)

Your article is protected by copyright © and all rights are held exclusively by *Aletheia – Associação Científica e Cultural*. This e-offprint is furnished for personal use only (for non-commercial research and education use) and shall not be self-archived in electronic repositories. Other uses, including reproduction and distribution, or selling or licensing copies, or posting to personal, institutional or third party websites are prohibited.

If you wish to self-archive your article, contact us to require the written permission of the RPF's editor. For the use of any article or a part of it, the norms stipulated by the copyright law in vigour are applicable.

Authors requiring further information regarding Revista Portuguesa de Filosofia archiving and manuscript policies are encouraged to visit: <http://www.rpf.pt>



## Ernst Mach, Karl R. Popper y Thomas S. Kuhn: Aportaciones al Estudio de los Experimentos Mentales \*

DAMIAN ISLAS MONDRAGON \*\*

### Abstract

Until relatively recent times very few philosophical studies about thought experiments were available. Among these pioneering works are those of Ernst Mach, Karl R. Popper and Thomas S. Kuhn, respectively. In this article, I begin by analyzing the way in which Mach understood this type of experiment. Later, I will review the positions developed by Popper and Kuhn on the matter. Afterwards I will analyze a thought experiment, the so-called “Stevin on the Inclined Plane”, in order to show that Mach reading of it is incorrect. At the end of the text I will discuss these three positions with the aim of showing that they contain, after all, the germ for a better understanding of thought experiments.

Keywords: Ernst Mach, Karl R. Popper, Thomas S. Kuhn, thought experiments.

### 1. Introducción

Los llamados ‘experimentos mentales’ tienen una tradición antigua. Galileo Galilei ya los utilizaba para contrastar su teoría de la caída libre de los cuerpos con la teoría predominante de su tiempo elaborada por Aristóteles. Albert Einstein solía recurrir a este tipo de experimentos para apoyar tanto su teoría general como su teoría especial de la relatividad. Erwin Schrödinger elaboró un experimento mental muy famoso para mostrar que la teoría cuántica tal y como la interpretaba Niels Bohr está en conflicto con algunas de nuestras creencias de sentido común.

Los experimentos mentales – de aquí en adelante los llamaré simplemente EM por sus siglas en castellano – son, por su naturaleza, experimentos no ejecutados. Son mecanismos de la imaginación científica que se utilizan para investigar la naturaleza de diversas entidades, fenómenos,

---

\* La realización de este estudio se elaboró en el marco del proyecto PAPIIT No. IG400116: *Regímenes de Veridicción. Creatividad, Verdad y Realidad en la Configuración de Mundos* de la Universidad Nacional Autónoma de México del que formo parte. Agradezco a dos lectores anónimos por sus valiosos comentarios a una versión previa de este texto.

\*\* Universidad Juárez del Estado de Durango.  
✉ damianislas@ujed.mx

hechos y procesos científicos. La mayoría de las veces los EM se construyen en una forma narrativa y se acompañan de dibujos y diagramas. Una de las razones de que los EM se expresen de forma pictórica es que deben ser susceptibles de ser visualizados en el pensamiento.<sup>1</sup>

Dado que los EM precisan de un elemento experimental para su conducción, no deben ser confundidos con la simple acción de reflexionar *sobre* un experimento “real” llevado al cabo en el laboratorio. Tampoco deberían ser reducidos a la ejecución de experimentos psicológicos sobre el pensamiento ni a la simple formulación de ciertos estados hipotéticos o contra fácticos. Lo cierto es que hasta hoy, no hemos podido establecer con precisión la naturaleza y función de los EM.

## 2. Ernst Mach

Ernst Mach (n. 1838 – 1916) fue uno de los primeros filósofos interesados en el tema de los “gedankenexperimenten” o experimentos mentales.<sup>2</sup> El primer artículo de Mach sobre este tema apareció en enero de 1896.<sup>3</sup> De acuerdo con Mach, dado que cada uno de los pasos que sigue un investigador está guiado por el razonamiento, todos los experimentos “reales” ejecutados en el laboratorio están antecedidos por un conjunto de pensamientos. Visto desde esta perspectiva, todo experimento real es la *continuación* natural de un EM.

No obstante, a pesar de que la mayoría de los experimentos reales están guiados por una teoría, no todos requieren ser ejecutados en el laboratorio. De hecho, los resultados cognitivos de un EM pueden ser tan decisivos y definitivos, sostuvo Mach, que la ejecución de un experimento real puede llegar a ser innecesaria o, incluso, superflua. Por supuesto, afirmar esto implica saber *a priori* que los presupuestos empíricos y teórico-conceptuales utilizados en la construcción de un EM específico, son

- 
1. Por supuesto, la forma pictórica de los EM representa por sí misma algunos problemas filosóficos como son la necesidad de una intención y la suficiencia con que esta intención se logra. Véase Ben Blumson, *Resemblance and Representation* (Cambridge: Open Book Publishers, 2014), 51-66.
  2. Todas las traducciones del alemán, holandés e inglés al castellano son de mi responsabilidad.
  3. Me refiero a su capítulo titulado “Über Gedankenexperimente. *Zeitschrift für den physikalischen und chemischen unterricht*” reimpresso en *Erkenntnis und Irrtum. Skizzen zur Psychologie der Forschung* (Leipzig: Verlag von Johann Ambrosius Barth, [1896] 1906), 181-200. Sin embargo, su posición al respecto está esparcida en toda su obra.

correctos; lo que puede ser seriamente cuestionado. En otras palabras, Mach defiende una postura instrumentalista de los EM al aceptar, implícitamente, que el éxito de los resultados cognitivos de un EM es suficiente para evaluar su confiabilidad epistémica.

De acuerdo con Mach, la decisión de cuándo es o no necesario ejecutar un experimento real que apoye los resultados cognitivos alcanzados por un EM no es una decisión arbitraria del investigador; sino que depende de los resultados cognitivos que pueden inferirse de manera válida del EM. En otras palabras, la postura de Mach estaría sosteniendo que la necesidad de ejecutar un experimento real es directamente proporcional al grado de incertidumbre de los resultados cognitivos arrojados por el EM; pero aún más importante, la afirmación de Mach supone que los resultados cognitivos de los EM pueden ser pre-visualizados en el pensamiento.

Para Mach, todos los seres humanos tenemos una inclinación instintiva a ejecutar experimentos reales. En este sentido, los EM surgirían en un nivel intelectual “más alto” que los experimentos reales. Para que un EM surja en la mente de un científico, esta persona primero debe imaginar y concebir ciertas circunstancias que son asociadas a una idea o suposición. Los conceptos con los que se articulan estas circunstancias en el pensamiento deben ser buenas copias, aseguró Mach, de los hechos reales que efectivamente acaecen en el mundo natural. Esto es, un EM sólo surge cuando las ideas de los científicos *representan* de la “mejor manera” los hechos naturales.<sup>4</sup>

Mach sostuvo que el lenguaje es el instrumento para que estas ideas y conceptos representen de manera genuina los hechos naturales. El lenguaje es, así entendido, como un receptáculo de nuestra experiencia preservada en nuestra memoria. Podemos afirmar que el lenguaje es concebido por Mach como un puente entre nuestra experiencia del mundo natural y las ideas con las que son concebidas tales experiencias. Por ello, los resultados cognitivos de los EM dependen de la experiencia práctica del investigador que los formulan. Como podemos ver, la postura intelectualista defendida por Mach en realidad está basada en una postura empirista.

- 
4. “Über Gedankenexperimente. *Zeitschrift für den physikalischen und chemischen unterricht*” en *Erkenntnis und Irrtum. Skizzen zur Psychologie der Forschung* (Leipzig: Verlag von Johann Ambrosius Barth, [1896] 1906), 186 y 187. De aquí que, de acuerdo con Mach, la diferencia entre un investigador de la ciencia y un inventor es que las circunstancias que “conciben” estos últimos no están necesariamente ligadas por ningún medio a la realidad.

Mach aseguró que el método básico de los EM es el mismo que el de los experimentos reales ejecutados en el laboratorio. Cito a Mach al respecto:

Como podemos ver, el método básico de los experimentos mentales, al igual que el de los experimentos reales, es el método de la variación.<sup>5</sup>

A mayor variación, mayor consistencia de los EM. Al variar continuamente las circunstancias y las ideas relacionadas a estas circunstancias implícitas en los EM, este tipo de experimentos incrementa su rango de validez. Por ello, la causa de que un EM no produzca resultados cognitivos definitivos no se encuentra en el EM mismo; sino en la impericia del investigador que no supo asociarlo con precisión a las *circunstancias apropiadas*. No obstante, cuando este es el caso, no estamos ante un EM propiamente; sino ante una simple “conjetura” que se sitúa en algún punto intermedio entre un EM y un experimento real.<sup>6</sup>

En resumen, Mach sostuvo que si un EM no produce los resultados cognitivos esperados no es debido a la *naturaleza* del EM; sino a una falla asociativa del investigador que lo elabora. Como podemos ver, la postura de Mach presupone que los EM son herramientas heurísticas potencialmente infinitas, esto es, en su postura está implícita la idea de que un EM puede explicar todas las entidades, fenómenos, hechos y procesos científicos que están – o pueden estar – en su espectro explicativo. Lo que se requiere para potenciar esta capacidad de los EM es adecuarlo de manera “correcta”, a las circunstancias apropiadas. Lo anterior implica que si un EM no logra explicar todos estos aspectos es debido a la limitación cognitiva de los científicos.

Ahora bien, dado que tenemos un acceso más expedito a nuestras propias ideas que a los hechos físicos del mundo natural, las primeras “preparan” el camino hacia la ejecución de los experimentos reales. Al preceder cognitivamente a los experimentos reales, podemos considerar que nuestras ideas son una pre-condición necesaria para la ejecución de estos últimos al ordenar entidades, fenómenos, hechos y procesos físicos inconexos que se combinan en el pensamiento mediante la utilización de los EM. Un ejemplo de este proceso citado por Mach es el caso de George

---

5. Ibid., 191.

6. No obstante, las conjeturas, de acuerdo con Mach, pueden representar procedimientos metodológicamente adecuados para la ciencia y frecuentemente éstas son los únicos medios disponibles para acceder a la “forma” del experimento real.

Stephenson (n. 1718 – 1848)<sup>7</sup> quien, teniendo conocimiento empírico previo de los trenes, los rieles y la máquina de vapor, pudo concebir, con la ayuda de un EM, la “combinación” de un *tren sobre rieles* impulsado por una máquina de vapor.<sup>8</sup>

Uno de los rasgos heurísticos más interesantes de los EM según la postura empirista de Mach es que pueden ser utilizados como técnicas de descubrimiento de nuevas propiedades de las entidades, fenómenos, hechos y procesos científicos que, sin la ayuda de los EM, permanecerían desconocidas.<sup>9</sup> Es por ello que, de acuerdo con Mach, los EM también tienen una función propedéutica clave para el desarrollo de la investigación científica al ayudar a transformar el pensamiento de los científicos hasta “revelarles” los caminos más significativos para su investigación, previniéndolos del error. Así entendidos, los EM serían fundamentales para el progreso cognitivo de la ciencia.

En este proceso progresivo de la ciencia en el que los EM tendrían una función esencial, el surgimiento de ciertas paradojas en el pensamiento sería fundamental para percibir no sólo la naturaleza de un problema; sino el contenido problemático de la paradoja en cuestión. Es por ello por lo que, según Mach, el surgimiento de ciertas paradojas motiva la excitación del pensamiento que es esencial para el surgimiento de los EM. Cito a Mach al respecto:

No sólo uno aprende a través de la paradoja la mejor manera de sentir la naturaleza de un problema, el cual se convierte en un problema debido a su contenido paradójico; sino que los elementos en conflicto impiden que el pensamiento continúe pasivo, desencadenando el surgimiento de un experimento mental.<sup>10</sup>

Como veremos más adelante, esta idea fue retomada y reformulada por Thomas S. Kuhn quien aseguró que, a través de la confrontación del conocimiento científico con una paradoja implícita en su manera de

---

7. Ibid., 187.

8. En 1814, Stephenson construyó una locomotora llamada “Blucher” la cual es considerada la primera locomotora sobre rieles impulsada por vapor.

9. Un ejemplo de la utilización heurística de los EM es mostrar la indivisibilidad de los átomos “imaginando” que un pedazo de cualquier material es cortado en pequeñas partes hasta llegar a partes tan pequeñas que no es posible cortar más.

10. Ibid., 196.

pensar, los EM pueden reformar los esquemas conceptuales de los científicos con el objetivo de evitar el error.<sup>11</sup>

Cabe mencionarse, finalmente, que Mach nos advierte – al igual que lo han hecho otros autores – que no le fue posible analizar todas las formas y fases que presenta la riqueza cognitiva, metodológica y heurística de los EM. En la siguiente sección analizaremos las ideas de Karl R. Popper en torno a los EM. Aunque tampoco agota, como el mismo aceptó, todas las funciones, formas y usos que pueden adquirir los EM, la crítica que hace Popper a los EM es fundamental para entender las posturas contemporáneas sobre este tipo de experimentos.

### 3. Karl R. Popper

Karl R. Popper dedicó un apéndice completo de su extenso libro *The Logic of Scientific Discovery* de 1934 a hacer una crítica de los EM, específicamente a partir de la teoría cuántica tal y como la concibió este autor. Para Popper, los EM constituyen un método argumentativo que no siempre es utilizado correctamente, en especial cuando son utilizados de manera apologética. Según Popper, Galileo fue uno de los autores que utilizó con mayor ingenio y de manera crítica los EM. El uso crítico de los EM, aseguró Popper, puede tener como uno de sus objetivos cognitivos más importantes mostrar que ciertas posibilidades empíricas, con relación a la aplicación de una teoría, han sido pasadas por alto. Cito a Popper al respecto:

El uso de los experimentos mentales en la argumentación crítica es, indudablemente, legítimo: equivalen a un intento de mostrar que ciertas posibilidades fueron pasadas por alto por el autor de una teoría.<sup>12</sup>

Notemos que esta afirmación de Popper guarda cierta semejanza con la posición desarrollada por Mach quien afirmó que los EM sirven para descubrir nuevas propiedades de los hechos físicos que, sin la ayuda de los EM, serían pasadas por alto.

---

11. No obstante, en ningún lugar Kuhn hace referencia a Mach como el origen de su postura.

12. Karl, R. Popper. *The Logic of Scientific Discovery* (London: Hutchinson, [1934] 1959), 466.

En este punto es importante señalar la diferencia entre la cualidad que exhiben los EM de mostrar ciertas posibilidades empíricas de las teorías científicas o señalar nuevas propiedades de los hechos físicos y la concepción de los EM como experimentos empíricamente ejecutables. A este respecto, Einstein sostuvo que los EM no son, en principio, ejecutables. Cito a Einstein:

Los experimentos mentales nunca pueden ser ejecutados, a pesar de que nos guían hacia un entendimiento profundo de los experimentos reales.<sup>13</sup>

Una posición intermedia la sostiene James Robert Brown quien afirma que los EM *frecuentemente* no pueden ser implementados como experimentos “reales” por distintas razones, entre ellas, la carencia de la tecnología necesaria para su implementación.<sup>14</sup>

Notemos que, si los EM fueran en principio ejecutables, entonces existiría cierta tensión en su naturaleza porque si un EM *tiene* que ser ejecutable para mostrar su efectividad cognitiva, entonces un EM es, en potencia, un experimento “real” que simplemente no se ha ejecutado por diversas razones. Así entendida, esta disyuntiva nos enfrenta al problema de establecer cómo podemos saber *a priori* que un EM es cognitivamente confiable sin recurrir a su ejecución efectiva. Esta es una cuestión que sigue abierta.

Regresando a Popper, este autor aceptó el uso “ilustrativo” y “expositivo” de algunos EM, pero rechazó su uso “argumentativo”. El problema surge cuando los EM son utilizados como “argumentos” que utilizan ciertas idealizaciones y presupuestos que no son aceptados por el interlocutor del EM en cuestión. En general, de acuerdo con Popper, el uso argumentativo de los EM es legítimo como instrumento cognitivo de evaluación teórica siempre y cuando la forma argumentativa del EM establezca con claridad y precisión el punto de vista del oponente o de la teoría que se critica.

Un ejemplo paradigmático del uso argumentativo de un EM lo constituye la réplica construida por Bohr (1935) al EM propuesto por Einstein, Podolsky y Rosen (1935) conocido como EPR por las iniciales de estos autores. Popper sostuvo que la réplica de Bohr al EM elaborado por EPR es inaceptable debido a que el argumento original de EPR trata de resolver

---

13. Albert, Einstein y Leopold Infeld. *The Evolution of Physics* (Cambridge: The Cambridge Library of Modern Science, [1938] 2014), 9.

14. James, Brown. *The Laboratory of the Mind: Thought Experiments in the Natural Sciences* (New York: Routledge, 1991), 1.

el problema de la interferencia de nuestros procedimientos de medición en la determinación de la posición o del *momentum* de un sistema; mientras que la respuesta de Bohr sostiene que la interferencia se da al nivel del marco de la referencia o de coordenadas con el que se mide dicho sistema y no al nivel del sistema como es en sí mismo.

Por supuesto, la crítica de Popper a Bohr está fundamentada en la visión realista del mundo que – junto con Einstein – defendió Popper. En realidad, no es que Bohr deseché injustificadamente el argumento realista de EPR como sostuvo Popper,<sup>15</sup> lo que hizo Bohr es afirmar que la “influencia” que ejercen las condiciones que se utilizan para predecir el comportamiento de cualquier sistema atómico no puede ser valorada de manera *independiente* de la descripción del sistema como supuestamente es en “sí mismo”. Esto es, no podemos tener acceso cognitivo al sistema como supuestamente es en sí mismo independientemente de la manera en que dicho sistema es descrito.

En resumen, si los EM son utilizados como “argumentos” a favor o en contra de una teoría científica específica, las idealizaciones y presupuestos empíricos y teórico-conceptuales utilizados en la construcción del EM deben ser previamente aceptados por los defensores de la teoría que se desea rebatir. Sin embargo, la mayoría de los EM en competencia no comparten los presupuestos empíricos o teórico-conceptuales necesarios para poder establecer con “claridad” y “precisión”, como sugiere Popper, el punto de vista del oponente. Los desacuerdos entre los presupuestos empíricos y teórico-conceptuales implícitos en la construcción de distintos EM en competencia son lo suficientemente profundos desde el punto de vista cognitivo, que es difícil establecer un criterio evaluativo que efectivamente establezca un parámetro de conmensurabilidad inter-teórica útil entre dos o más EM en competencia.

#### 4. Thomas S. Kuhn

Thomas S. Kuhn sostuvo que los EM están basados en cierto conocimiento empírico previamente aceptado.<sup>16</sup> Esta característica señalada por Kuhn es el origen de uno de los tópicos más discutidos desde el punto de vista filosófico sobre el tema, a saber, explorar cómo es posible que,

---

15. Ibid., 468.

16. Thomas, Kuhn. *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change* (Chicago: University of Chicago Press [1964] 1977), 241.

basados exclusivamente en datos empíricos previamente aceptados, un EM puede producir *nuevo* conocimiento empírico sobre el mundo natural. La respuesta de Kuhn a esta interrogante es que los EM no sólo producen información acerca del mundo natural; sino que simultáneamente generan información relevante sobre los esquemas conceptuales que utilizan implícitamente los científicos.

De acuerdo con Kuhn, la principal función de los EM es *reformular* los esquemas conceptuales con los que trabajan los científicos a través de la confrontación de éstos con una paradoja implícita en su manera de pensar. Cito a Kuhn al respecto:

Comienzo sugiriendo que una clase importante de experimentos mentales funciona al confrontar al científico con una contradicción o conflicto implícito en su manera de pensar.<sup>17</sup>

Si el EM es un experimento exitoso, llevará a los científicos a encarar resultados inesperados o anormales. Sin embargo, dado que los EM no contienen información empírica adicional al conocimiento previamente aceptado por los científicos, en realidad los científicos no aprenden nada nuevo como resultado del EM.

Veamos un ejemplo. Kuhn sostuvo que las implicaciones teóricas del concepto de ‘velocidad’ desarrollado por Aristóteles, no pudieron haber sido cuestionadas en un “mundo” donde todos los movimientos eran uniformes, como el *mundo* aristotélico. Por lo que no fue sino hasta el desarrollo de la física post aristotélica que este concepto mostró su incapacidad para “encajar” en la estructura del “nuevo mundo” galileano. Notemos que esta estructura a la que se refirió Kuhn, no depende exclusivamente del esquema conceptual en el que trabajan los científicos, también depende de la propia naturaleza del mundo físico, cito a Kuhn al respecto:

La naturaleza, y no sólo la lógica, es la responsable de la aparente confusión.<sup>18</sup>

Ciertamente, uno de los problemas de la postura de Kuhn es que la referencia a un *mundo* en el cual un concepto es aceptable y otro *mundo* donde el mismo concepto no lo es, no deja claro cómo demarcar

---

17. Ibid., 260 y 261. Notemos que, como ya hemos señalado, esta idea tiene su origen en el trabajo de Ernst Mach.

18. Ibid., 261.

dónde termina la concepción del “mundo” construida por un esquema conceptual específico y dónde comienza el mundo “real” en el cual dicho concepto debe aplicarse. A pesar de que ésta es una cuestión que Kuhn dejó abierta, me parece que el compromiso metafísico tácito involucrado en la posición de Kuhn al respecto de los EM es innegable. En este punto, conviene especificar qué se entiende aquí por “compromiso metafísico”. El término ‘metafísico’ es utilizado aquí de acuerdo con el sentido tradicional de la doctrina metafísica que sostiene que existe un mundo natural que es *independiente* de los seres humanos. En este sentido, un “compromiso” metafísico es la postura que defiende la existencia de un mundo natural independiente de la mente humana.<sup>19</sup> Así entendido, claramente existe un compromiso metafísico en Kuhn al respecto de los EM.

De acuerdo con Kuhn, los EM permiten a los científicos resolver ciertas confusiones conceptuales y *evitar* errores. Notemos que esta afirmación implica que si los científicos son capaces de construir mejores esquemas conceptuales – al menos en el sentido de la construcción de esquemas conceptuales que exhiban menos errores – entonces debe existir algún criterio con el cual los científicos puedan evaluar el éxito de esta tarea. De lo expuesto hasta aquí, parece ser que para Kuhn este criterio consiste en la mayor *coincidencia* entre los esquemas conceptuales reformados con la ayuda de los EM y el mundo natural, lo que explicaría por qué la naturaleza, y no sólo la lógica, es la responsable de la aparente confusión conceptual en la que pueden incurrir los científicos.

También es interesante señalar que la función “reconceptualizadora” de los EM y la responsabilidad de la “naturaleza” en la confusión conceptual de los científicos implica que la noción de ‘mundo’ no es equivalente a la noción de ‘naturaleza’ para Kuhn. La primera es dependiente del esquema conceptual en el que trabajan los científicos, el cual puede ser transformado a través del cambio de los sistemas conceptuales; mientras que la segunda se refiere al mundo “físico” en el cual los científicos *aplican*

---

19. Por supuesto, hablar de un realismo metafísico desde el cual se defiende la idea de que existe un mundo natural “independiente” de la mente humana podría ser cuestionable si se considera la necesidad de un mundo natural “conceptualizado”. A este respecto, se ha afirmado que algunos estadios mentales pueden representar al mundo incluso si el sujeto que lo hace no posee los conceptos necesarios para especificar su contenido. Sin embargo, los realistas pueden contra argumentar que la formulación de la noción de ‘contenido no-conceptual’ aplicable a distintos dominios científicos *depende* del significado de la noción misma de ‘concepto’. Para los propósitos que busco en este texto, dejaré a un lado esta discusión. Véase Gareth, Evans. *The Varieties of Reference* (Oxford: Oxford University Press, 1982).

los EM. Cito un pasaje de la *Estructura de las Revoluciones Científicas* de Kuhn para apoyar esta idea. Este fragmento fue elegido entre muchos otros pasajes que pueden encontrarse en el mismo texto:

Galileo no fue el primer hombre que sugirió que las rocas caen con un movimiento uniformemente acelerado. Galileo desarrolló su teorema sobre el tema, junto con muchas de sus consecuencias, antes de experimentar con el plano inclinado. Este teorema fue uno más de la red de nuevas regularidades accesibles al genio en un mundo determinado conjuntamente por la naturaleza y por el paradigma.<sup>20</sup>

Regresando a nuestro ejemplo del concepto de ‘velocidad’, Kuhn sostuvo que cuando este concepto se aplica a los movimientos lineales, una de sus funciones es especificar, a través de las llamadas “ecuaciones galileanas de la transformación”, algunas propiedades físicas que nos proporcionan invaluable información sobre el mundo natural.

En resumen, de acuerdo con Kuhn, el mundo físico – o naturaleza – *construye* el uso de los conceptos científicos, afirmación que blindó su postura sobre los EM de acusaciones relativistas que se le han planteado con relación a otros aspectos de su obra.

## 5. El plano inclinado de Simon Stevin

Uno de los EM más famosos es el conocido como la “cadena” o “plano inclinado” de Simon Stevin (n. 1548 – 1620). Este EM ayudó a establecer por primera vez las leyes que determinan el comportamiento de los cuerpos en un plano inclinado. Se conoce como plano inclinado a una superficie idealmente lisa que no tiene relieves ni elevaciones. Es un objeto que contiene infinitos puntos y rectas que conforma con el suelo un ángulo agudo. Una de las funciones de los planos inclinados es facilitar el ascenso y descenso de objetos. También han sido utilizados como cuñas – una tijera o un cuchillo son ejemplos de esta función.

El plano inclinado puede ser visto como una máquina simple en la que inciden diversas fuerzas, a saber, la fuerza de gravedad a través del peso que surge de la magnitud de la masa en dirección vertical cuando es utilizada para elevar objetos; la fuerza de reacción que el plano ejerce

---

20. Thomas, Kuhn. *The Structure of Scientific Revolutions* (Chicago: University of Chicago Press, [1962] 1970), 125.

sobre los objetos de acuerdo a la tercera ley de Newton<sup>21</sup> que dice que para cada acción siempre existe una reacción opuesta e igual y la fuerza de fricción, esto es, la fuerza de rozamiento que ejerce resistencia respecto al sentido del desplazamiento del objeto en relación a la superficie.

Stevin fue un matemático, físico e ingeniero contemporáneo de Galileo. Algunos historiadores de la ciencia consideran que Stevin descubrió, antes que Galileo, que la velocidad de los cuerpos es independiente de su peso. Lo cierto es que fue uno de los primeros científicos que hizo una distinción entre los equilibrios estables e inestables y propuso una solución al problema del equilibrio de un cuerpo en un plano inclinado. En su extensa obra *Wisconstighe Ghedachtnissen* de 1605,<sup>22</sup> Stevin afirmó que:

Quando un triángulo tiene su plano perpendicular a la horizontal y su base es paralela a ésta; y si sobre cada uno de los otros lados se coloca un cuerpo esférico del mismo peso; entonces, así como el lado derecho del triángulo es al izquierdo, también lo es la fuerza del cuerpo del lado izquierdo a la fuerza del cuerpo del lado derecho.<sup>23</sup>

El EM ideado por Stevin para mostrar el equilibrio de los cuerpos en planos inclinados representa una cadena formada por un cierto número de eslabones la cual es colocada en un soporte prismático.

El soporte prismático está conformado por tres planos lisos que van desde el punto A hacia el punto B, desde el punto B hacia el punto C y desde el punto C hacia el punto A, el cual conforma la base del prisma. El EM ideado por Stevin pretende explicar qué sucede cuando hay más eslabones en el lado más corto que va desde el punto B hacia el punto C del prisma con relación al lado más largo que va desde el punto A hacia el punto B, como lo muestra la figura 1:

- 
21. Issac, Newton. *The Mathematical Principles of Natural Philosophy* (Daniel Adee: New York, 1846), 83.
  22. Mejor conocida por su versión en Latín como *Hypomnemata Mathematica*.
  23. Simon, Stevin. *Wisconstighe Ghedachtnissen* (Leyden: Bouwensz, 1605. libro 1 Der Weeghconst), 37.

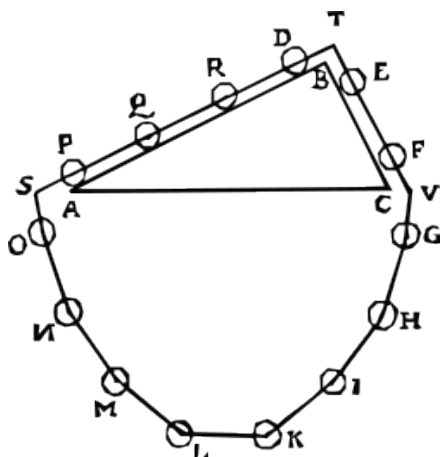


Figura 1. Plano inclinado de Stevin.

Una posible respuesta a esta pregunta es suponer que, debido a la diferencia de pesos, la cadena comenzaría a moverse de la siguiente manera, a saber, el tramo que va desde el punto A hacia el punto B se movería con dirección ascendente; el tramo que va desde el punto B hacia el punto C se movería con dirección descendente y el tramo que va desde el punto C hacia el punto A conservaría su forma geométrica. Notemos que de ser este el caso, la cadena giraría en el sentido de las manecillas del reloj de manera *perpetua*. De ser este el caso, no sería difícil añadir a esta máquina las ruedas y engranajes necesarios para crear una máquina que sin ningún tipo de combustible se moviera de manera continua, produciendo trabajo incesantemente. Como sabemos, la creación de una máquina de movimiento perpetuo ha sido uno de los grandes sueños de la física mecánica.

Desafortunadamente para la física mecánica, el EM de Stevin mostró que si se relacionan los pesos de los distintos tramos de la cadena y las distintas fuerzas que se han mencionado más arriba – la fuerza de gravedad, la fuerza de reacción y la fuerza de fricción – con los elementos geométricos asociados a los planos inclinados, esto es, los catetos, hipotenusas y ángulos que conforman un triángulo; podemos predecir que el sistema entero se mantendrá en un equilibrio estable. Este equilibrio se explica a partir de la razón entre los pesos que descansan sobre cada uno de los lados del prisma los cuales están en la misma razón que sus longitudes, esto es, cuatro a dos como el número de eslabones de cada lado del prisma, esto es, del punto A hacia el punto B y del punto B hacia el

punto C. Si se toma en cuenta la simetría de la distribución de pesos y la suma de las fuerzas actuantes podemos mostrar, aseguró Stevin, que los pesos deben estar en la misma proporción que las longitudes de los lados del prisma sobre los cuales reposan en un estado de equilibrio, como se muestra en la figura 2:

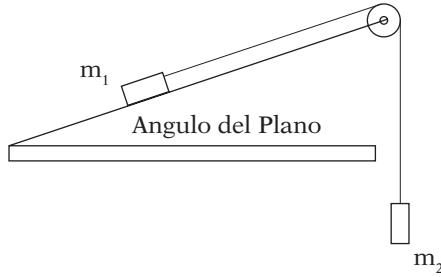


Figura 2. Condición de equilibrio.

Algunos autores, siguiendo a Mach, han afirmado que el EM de Stevin con el que mostró el equilibrio del plano inclinado lleva *implícito* un compromiso de corte psicológico en su formulación, a saber, la imposibilidad de que existan máquinas de movimiento perpetuo.<sup>24</sup> Y en efecto, Mach aludió a un presupuesto de tipo psicológico cuando explicó el EM de Stevin:

No hay duda de que el presupuesto del que parte Stevin, esto es, que la cadena infinita no se mueve, involucra básicamente una cognición instintiva. Él siente – y nosotros con él – que en realidad nunca hemos observado algo parecido a un movimiento perpetuo.<sup>25</sup>

Sin embargo, me parece que no existen presupuestos psicológicos ni instintivos relevantes en el resultado obtenido por el EM de Stevin. En realidad, como hemos señalado más arriba, el resultado es producto de un cálculo físico y matemático en el que se mide la distribución de pesos de la cadena a uno y otro lado del prisma y se calculan las distintas fuerzas que intervienen en el sistema. Por supuesto, lo que sí se requiere para la demostración matemática de la estabilidad del plano inclinado

24. Véase por ejemplo Brown, 1991. Op cit., 4.

25. Ernst, Mach, Ernst. *The Science of Mechanics: A Critical and Historical Account of its Development* (Chicago: The Open Court Publishing Company, 1907), 26.

es la elaboración de ciertas ecuaciones de equilibrio y su relación con la ley de la palanca que dice que, para cualquier palanca, el producto de la potencia por el brazo de la potencia es igual al producto de la resistencia por el brazo de la resistencia. A su vez, la certeza de esta demostración matemática requiere de la aplicación de la ley de los senos según la cual la relación de la longitud de un lado de un triángulo al seno del ángulo opuesto a ese lado es igual para todos los lados y ángulos en un triángulo dado.

Asimismo, ante la sugerencia de que los EM frecuentemente pueden ser ejecutados empíricamente y corroborados por experimentos físicos, algunos autores han contra-argumentado que esto no es cierto, que los “universos vacíos” o los planos “sin fricción” – como el ideado por Stevin según la versión elaborada por James Brown<sup>26</sup> – no pueden ser reproducidos en el laboratorio. Sin embargo, como hemos visto, el EM elaborado por Stevin no requiere de la suposición de que el plano inclinado no ejerza cierta fricción, por el contrario, la fricción que ejerce es una de las tres fuerzas – junto con la fuerza de gravedad y la fuerza de reacción – que se tienen que tomar en cuenta para predecir que el sistema se mantendrá en un equilibrio estable.

## 6. Conclusión: evaluación de las posturas pioneras

La propuesta de Mach de que los EM son “buenas copias” de los hechos reales parte de la noción de que nuestras ideas, al preceder cognitivamente a los experimentos reales, son una pre-condición necesaria – aunque no suficiente – para la ejecución de estos últimos. De acuerdo con Mach, los EM ordenan entidades, fenómenos, hechos y procesos físicos previamente inconexos que se “combinan” en el pensamiento mediante la utilización de este tipo de experimentos. Claramente, la idea de ‘copia’ así como la idea de ‘combinación’ elaborada por Mach, tiene su origen en el concepto de ‘impresión’ elaborado por David Hume (n. 1711 – 1776) que a su vez se origina de los conceptos de ‘idea simple’ e ‘idea compleja’ de John Locke (n. 1632 – 1704).

Recordemos a este respecto que, de acuerdo con Locke, todas nuestras ideas – las cuales constituyen nuestros pensamientos – se derivan de la experiencia. Por supuesto, el empirismo de Locke no estaba discutiendo el

---

26. Ibid., 3.

tema de los EM; sino el concepto cartesiano de ‘idea innata’ con el cual se pretendía deducir la verdad de la razón. De acuerdo con Locke, las ideas complejas están compuestas de ideas simples y las ideas simples se derivan de manera directa de nuestras experiencias. No obstante, tanto Descartes como Locke usaron el concepto de ‘idea’ de una manera imprecisa, esto es, como el término que mejor servía para designar todo lo que puede ser objeto del entendimiento durante el proceso del pensamiento.<sup>27</sup>

Por su parte, Hume consideró inapropiado el uso generalizado del concepto de ‘idea’ dado que este concepto implica una contradicción entre dos operaciones mentales distintas, a saber, la conciencia de las sensaciones por un lado y la consideración de los pensamientos, por el otro. De acuerdo con Hume, sólo estos últimos podían ser considerados “ideas”. Por lo anterior, Hume descompuso el concepto de ‘idea’ de Locke en dos partes, a saber, en “impresiones” – para referirse a las sensaciones y sentimientos – y en “percepciones” – para referirse a la clase general de objetos de la mente. De esta manera, las “ideas” de Locke se convirtieron en las “percepciones” de Hume.

Veamos un ejemplo. Cuando se piensa en una “montaña de oro” – o en la idea de un “tren sobre rieles” citada por Mach – en realidad se unen dos ideas simples pero consistentes, a saber, la idea de “oro” y la de “montaña” adquiridas previamente. Asimismo, podemos concebir la idea compleja de un “caballo virtuoso” porque previamente hemos sentido y concebido lo “virtuoso” que se une a la idea de “caballo”. De aquí que todas las ideas provengan de nuestra experiencia. La mezcla – o combinación en términos de Mach – de este tipo de ideas simples en una idea compleja sólo puede realizarse en el pensamiento. Es por ello que todas nuestras ideas, aseguró Hume, son “copias” de nuestras impresiones.<sup>28</sup>

No obstante, la postura de Mach ciertamente exhibe una idea germinal muy interesante para poder evaluar cognitivamente los EM. Por un lado, para que un EM sea aceptado como productor de conocimiento se requiere de la tácita o explícita aceptación de las circunstancias y condiciones físicas necesarias con las cuales el EM es formulado. Como vimos en el caso del plano inclinado de Stevin, éstas circunstancias y condiciones físicas son la fuerza de gravedad, la fuerza de reacción y la fuerza de fricción. Podemos considerar que estos aspectos constituyen los presupuestos o principios

27. John, Locke. *An Essay Concerning Human Understanding* (Oxford: Oxford University Press, [1690] 1979), Essay I.i., 8.

28. Hume, David. *An Enquiry Concerning Human Understanding* (Oxford: Oxford University Press, [1748] 2007), *Enquiry* 2.5, 13.

de naturaleza empírica que se asumen como constitutivos de los EM. Por otro lado, sostuvo Mach, se requiere de un mínimo consenso con relación a los conceptos con los que se articulan estas circunstancias y condiciones como son los catetos, hipotenusas y ángulos que conforman un prisma. Podemos considerar que estos aspectos constituyen los presupuestos o principios de naturaleza teórico – conceptual que se asumen como constitutivos de los EM. Los primeros implican la aceptación de un lenguaje observacional previamente aceptado con el cual se construye el EM. Los segundos implican la aceptación de un lenguaje teórico también previamente aceptado constitutivo de los EM. Considero que la aceptación tácita o explícita de estos dos tipos de presupuestos o principios son metodológicamente necesarios para que un EM sea aceptado como productor de conocimiento confiable.

Con relación a la postura de Popper, me parece que el uso argumentativo de los EM es insuficiente para considerarlos como instrumentos cognitivos útiles para la evaluación teórica. De manera ideal, sería conveniente establecer con claridad y precisión el punto de vista del oponente o de la teoría que se critica como sugirió Popper. Sin embargo, para poder evaluar si un EM puede rebatir a una teoría científica específica – o una parte de ésta – primero debemos asegurarnos de que los presupuestos empíricos y conceptuales a los que nos hemos referido más arriba sean *relevantemente* compartidos por ambos contendientes, esto es, por los defensores del EM en cuestión y por los defensores de la teoría científica que se desea rebatir. En otras palabras, la aceptación de estos dos tipos de presupuestos constituye la condición *sine qua non* para poder establecer la comensurabilidad entre dos EM en competencia.

Por último, el uso analítico de los EM de acuerdo con la posición de Kuhn puede trazarse de la siguiente manera, a saber, primero debe haber una crisis inducida por las expectativas de aplicación empírica fallidas de algún aspecto del sistema conceptual en que trabajan los científicos. Posteriormente, con la ayuda de los EM, los científicos deben ser capaces de transformar estas “anomalías” en una confusión conceptual concreta. Después, los científicos deben reconceptualizar algunos aspectos clave del problema y, finalmente, este proceso debe culminar con la producción de nuevas leyes y teorías científicas diferentes de aquellas en las que habían trabajado. Es sólo a partir del cumplimiento de todo este proceso que los científicos pueden utilizar los EM para acceder a un tipo de conocimiento previamente inaccesible para ellos. Ciertamente, la función “reconceptualizadora” de los EM es una virtud cognitiva del principio teórico-conceptual que hemos señalado antes, implícito en la formulación de los EM

mediante el cual este tipo de experimentos tiene la posibilidad de auto corregirse diacrónicamente.

## Referencias

- Blumson, Ben. *Resemblance and Representation: An Essay in the Philosophy of Pictures*. Cambridge: Open Book Publishers, 2014.
- Bohr, Niels. 1935 "Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?" *Physical Review* 48, (1935): 696-702.
- Brown, James. *The Laboratory of the Mind: Thought Experiments in the Natural Sciences*. New York: Routledge, 1991.
- Einstein, Albert; Boris, Podolsky y Nathan, Rosen. "Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?" *Physical Review* 47, (1935): 777-790.
- Einstein, Albert, y Leopold Infeld. *The Evolution of Physics*. Cambridge: The Cambridge Library of Modern Science, [1938] 2014.
- Evans, Gareth. *The Varieties of Reference*. Oxford: Oxford University Press, 1982.
- Hume, David. *An Enquiry Concerning Human Understanding*. Oxford: Oxford University Press, [1748] 2007.
- Kuhn, Thomas. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press, [1962] 1970.
- Kuhn, Thomas. *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change*. Chicago: University of Chicago Press, [1964] 1977.
- Locke, John. *An Essay Concerning Human Understanding*. Oxford: Oxford University Press, [1690] 1979.
- Mach, Ernst. *Erkenntnis und Irrtum. Skizzen zur Psychologie der Forschung*. Leipzig: Verlag von Johann Ambrosius Barth, [1896] 1906.
- Mach, Ernst. *The Science of Mechanics: A Critical and Historical Account of its Development*. Chicago: The Open Court Publishing Company, 1907.
- Newton, Issac. *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*. Daniel Adee: New York, 1846.
- Popper, Karl. *The Logic of Scientific Discovery*. London: Hutchinson, [1934] 1959.
- Stevin, Simon. *Wisconstige Gedachtenissen*. Leyden: Bouwensz, 1605.