



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS, FACULTAD DE CIENCIAS, INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS, DIRECCIÓN GENERAL DE DIVULGACIÓN DE LA
CIENCIA

FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

**GALILEO GALILEI: LA CONFIGURACIÓN DEL EXPERIMENTO MENTAL Y SU
CONSOLIDACIÓN METODOLÓGICA EN LA CIENCIA**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE DOCTORA EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

PRESENTA:

JÉSSICA GEORGINA CABUTO GARCÍA

TUTORA PRINCIPAL:

DRA. FERNANDA SAMANIEGO BAÑUELOS - FFyL, UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX.

ENERO DE 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al CONACYT por haberme otorgado una beca, desde agosto del 2015 hasta julio del 2019, para realizar mi investigación doctoral en el área de Filosofía de la Ciencia en la Universidad Nacional Autónoma de México; ello me brindó estabilidad económica durante este periodo y me permitió enfocarme exclusivamente en mi investigación, sin este apoyo hubiese sido difícil concretar este proyecto en tiempo y forma.

A la UNAM, por darme la oportunidad de continuar mi formación académica de manera gratuita y con los mejores profesores e investigadores de nuestro país. Agradezco también su diversidad de servicios, instalaciones, eventos culturales, actividades deportivas y bibliotecas; siempre he encontrado en esta casa de estudios espacios para trabajar, reflexionar y dialogar, así como espacios de recreación y esparcimiento.

A mi tutora principal, la Dra. Fernanda Samaniego Bañuelos, por guiarme en mi investigación y dedicarme siempre un espacio para discutir mi trabajo. Me siento profundamente agradecida por todas sus asesorías dentro y fuera de la universidad, por su apoyo, paciencia y comprensión cuando fue necesario, y por sus consejos, atenciones, motivación y excelente orientación que hicieron posible que concretara este objetivo. Mi admiración, gratitud y cariño por su gran labor como académica, tutora y amiga.

A la Dra. Ana Rosa Pérez Ransanz, por acompañarme durante todos mis estudios de posgrado y por dejarme en buenas manos para desarrollar mi investigación doctoral, su experiencia y conocimiento han enriquecido siempre mi trabajo y cada una de sus observaciones, comentarios y puntos de vista han tenido una trascendencia especial en mi visión filosófica. Me siento afortunada por haberla tenido cerca durante este proceso y la considero un ejemplo para continuar con mi formación.

A la Dra. Atocha Aliseda Llera, por contribuir en cada momento a mi desarrollo académico, sus observaciones y consejos puntuales, en todos los sentidos, han

sido siempre valiosos y muy significativos en mi formación. Le agradezco mucho por acompañarme durante esta etapa e influir en mi crecimiento profesional, su compromiso y trayectoria son una motivación para seguir trabajando y esforzándome.

Al Dr. José Ernesto Marquina Fábrega, por mostrarme que la Filosofía de la Ciencia puede ser divertida, he disfrutado mucho cada una de sus clases y su perspectiva filosófica ha sido refrescante en este último año de mi formación. Aprecio mucho los espacios que continuamente me brindó para platicar sobre Galileo y Newton, sus comentarios me han hecho reflexionar siempre y sus enseñanzas han renovado y equilibrado mi visión sobre la filosofía y la vida académica. Gracias por su maravilloso sentido del humor y por ser un extraordinario profesor y filósofo de la ciencia.

Al Dr. Damián Islas Mondragón, por todas sus observaciones para enriquecer y mejorar mi trabajo, sus comentarios me alentaron siempre a reflexionar sobre mi postura respecto a los experimentos mentales y en ocasiones a volver sobre mis pasos para reformular mis compromisos y puntos de vista. Su conocimiento, recomendaciones y precisiones han sido de gran valor para el desarrollo y termino de mi investigación.

Al Comité Académico del Posgrado en Filosofía de la Ciencia, por darme la oportunidad de ingresar al Programa de Doctorado y continuar el desarrollo de mi investigación. Gracias también por el apoyo recibido para realizar actividades académicas dentro y fuera del país, eso me permitió discutir mis avances de investigación con otras comunidades científicas y enriquecer mi trabajo con su retroalimentación. Agradezco igualmente el apoyo de la Coordinación para realizar todos los trámites y procesos administrativos de manera eficiente que fueron necesarios durante este periodo.

A mi familia, por hacer suya mi alegría al iniciar un proyecto y compartir mi satisfacción al concluirlo. A mi madre, por su amor incondicional y por reconfortarme siempre que lo necesito, su presencia y cariño es una gran bendición y uno de los

pilares más grandes que me se sostienen. A mi padre, por haberme presentado el mundo de la filosofía y por haberme convencido de darle una oportunidad, esa decisión cambió mi vida y desde entonces no he dejado de maravillarme por tan extraordinaria profesión. A mis hermanas, de quienes he aprendido más de lo que yo les he podido enseñar, gracias por estar, mi vida no sería la misma sin ustedes.

A mi esposo José Luis, por llegar y quedarse en mi vida, de manera tan inesperada como la filosofía misma, por ser un compañero de vida excepcional y por alentarme siempre a continuar mi formación académica. Gracias por todos los desvelos y discusiones filosóficas que enriquecieron mi trabajo, así como por mostrar interés, no sólo en mi investigación, sino en mi bienestar en general, gracias también por creer en mí y darme ánimos cuando me hacen falta, por todo tu cariño y comprensión sin pedírtelo y por compartir conmigo este proyecto de vida que iniciamos juntos, eres y siempre has sido mi motivación, mi inspiración, mi fortaleza y la razón más especial de mi felicidad.

Gracias a todos, los que con su apoyo, guía, conocimientos, experiencia, consejos, comprensión y amor hicieron posible concretar este objetivo, todos y cada uno de ustedes tienen mi eterna gratitud.

AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE	5
INTRODUCCIÓN	6
CAPÍTULO 1. TRADICIÓN EXPERIMENTAL	11
1.1 El experimento físico y su papel en la ciencia	12
1.2 El experimento mental y la pluralidad de concepciones	25
1.3 Una caracterización pragmática para el experimento mental	32
CAPÍTULO 2. LA CONFIGURACIÓN GALILEANA DEL EXPERIMENTO MENTAL	46
2.1 El experimento mental como característica de la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII	47
2.2 Factores específicos del proceso de transformación del experimento mental	53
2.2.1 La imaginación icónica	54
2.2.2 La posibilidad física	68
2.2.3 La contrafactividad media	71
2.3 Galileo Galilei y la configuración del experimento mental en la ciencia	74
CAPÍTULO 3. LOS EXPERIMENTOS MENTALES DE GALILEO	82
3.1 La torre inclinada	83
3.2 El navío con moscas	104
3.3 El plano inclinado	121
3.4 El experimento del aire	130
3.5 El cubo con agua	138
CAPÍTULO 4. EL ESTILO GALILEANO DE CONFIGURACIÓN COMO GUÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE EXPERIMENTOS MENTALES EN LA CIENCIA	148
CONCLUSIONES	166
REFERENCIAS	170

INTRODUCCIÓN

El experimento mental es un recurso muy utilizado, tanto en ciencia como en filosofía, y forma parte esencial de la metodología en ambas áreas. Sin embargo, su utilidad se ha puesto en duda¹ debido a las preocupaciones que han surgido en los debates actuales sobre la experimentación mental en general. Dichas preocupaciones se relacionan con aspectos importantes para la física, paradigma de la ciencia moderna en el siglo XVI y XVII, por lo que un buen antecedente para abordar está problemática es Galileo Galilei, considerado por algunos como el padre de la experimentación mental. Analizar la práctica experimental de Galileo, permitirá identificar la configuración específica que implementó en sus experimentos mentales, considerados comúnmente como los mejores casos en la ciencia, y así arrojar luz sobre la problemática actual.

Este proyecto de investigación tiene como objetivo general, explicar los elementos que conforman la configuración galileana del experimento mental en la ciencia y, a partir de esto, responder a las principales críticas, riesgos y preocupaciones que actualmente se consideran sobre la experimentación mental.

Los objetivos específicos son tres, proponer una caracterización del experimento mental, explicar su proceso de transformación y mostrar que la configuración de Galileo constituye una buena guía heurística para la construcción de experimentos mentales en la física y en otras áreas.² El problema que existe respecto a las caracterizaciones actuales, radica en que no hay una caracterización de los experimentos mentales que muestre su carácter más fundamental, a saber, el metodológico. En su lugar sólo hay una pluralidad de concepciones y cada una destaca una nota en particular; esto hace que se pierda de vista el aspecto más básico de los experimentos mentales para la ciencia. Es decir, la pluralidad enriquece nuestro entendimiento sobre su papel y utilidad pero al mismo tiempo

¹ Las preocupaciones y peligros de los experimentos mentales las trataré en el capítulo 4, donde seguiré a Pierre Duhem (2003 [1906]), Paul Thagard (2014) y Kathleen Wilkes (1988).

² Esto lo mostraré en el capítulo 4.

constituye un problema, ya que es incapaz de mostrarnos el aspecto más básico, esto es, aquel sobre el que descansa la diversidad de notas.

Por otro lado, el problema respecto a la transformación, consiste en que el experimento mental es considerado como una de las características de la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII pero no se ha analizado si él mismo se transformó en este periodo; hacer esto nos ayudará a entender de mejor manera su proliferación y consolidación metodológica durante ese periodo revolucionario. Es decir, si el carácter metodológico es el aspecto más básico de los experimentos mentales, cabe preguntarnos no sólo cuándo, sino cómo fue que éstos se consolidaron como parte constitutiva de la metodología científica. En relación a la construcción, el problema es que no existe una guía clara para la construcción de experimentos mentales que sean considerados relevantes y significativos en la ciencia. Por el contrario, la atención está en las diversas preocupaciones e inquietudes. De ahí, la necesidad de tener criterios heurísticos que puedan guiar dicha construcción y que superen o debiliten las principales preocupaciones e inquietudes que existen.

Respecto al problema de la caracterización, argumentaré que es necesaria una caracterización que integre la diversidad de notas que se han propuesto y mostraré que la característica más básica y fundamental del experimento mental radica en su función metodológica. La caracterización que presentaré utiliza la estructura aristotélica, sin embargo, no tiene la intención de ser esencialista -o reduccionista-, sino exclusivamente pragmática. De esta manera, defenderé que hay que entender al experimento mental como una herramienta metodológica y al resto de las notas (*a priori*, contrafáctico, argumentos, narraciones, heurísticas, etc.) como diferencias específicas. Sobre el problema de la transformación, defenderé que el experimento mental no sólo es una de las características generales de la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII, sino que éste mismo se transformó durante este periodo gracias a la configuración que implementó Galileo Galilei. Defenderé que dicha configuración descansa en tres factores fundamentales: i) imaginación icónica, ii) posibilidad física y iii) contrafacticidad media -sin descartar la posibilidad de otros

factores que surjan de análisis posteriores-, y que a través de estos tres factores, Galileo no sólo transformó la experimentación mental, sino que con ello influyó en su proliferación y consolidación metodológica. Así mismo, defenderé que el éxito de la configuración galileana radica principalmente en que tomó en cuenta tres valores importantes para la experimentación (física y mental) en la nueva ciencia: i) la autoridad de la naturaleza, ii) la consideración de las leyes vigentes de la física y iii) la verificación o corroboración. Y finalmente, que la ausencia de estos tres valores representan las principales preocupaciones y objeciones que existen actualmente en torno a la experimentación mental, a saber, i) que son construcciones vagas y difusas, ii) que son construcciones alejadas de la realidad y iii) que son irrealizables. En el problema de la construcción, defenderé que el estilo galileano de configuración representa una buena guía heurística para la construcción de experimentos mentales relevantes y significativos para la física y para la ciencia en general.

De esta manera, en el capítulo 1 hablaré de la tradición experimental para contextualizar el papel del experimento mental en la ciencia, después mostraré la pluralidad de concepciones que existen en torno al experimento mental y por último presentaré una caracterización pragmática que integra dicha diversidad. Para lograr lo primero, me enfocaré en las características del experimento físico y seguiré, principalmente, las ideas de Galileo y Duhem; de esta manera podré establecer una relación de similitud con el experimento mental y eso me permitirá contextualizar de mejor manera su lugar y dificultades compartidas en la ciencia. Para lo segundo, presentaré las principales concepciones que existen sobre la naturaleza del experimento mental, en específico, la concepción platónica donde seguiré a James R. Brown, la concepción argumentativa donde seguiré a John D. Norton, la concepción contrafáctica donde seguiré, principalmente, a Sophie Roux y la concepción heurística donde seguiré a Thomas S. Kuhn; no obstante estoy consciente de que existen otras propuestas de concepción que no incorporaré, ya que para los fines de este trabajo las propuestas mencionadas son las más adecuadas. Para lo tercero, utilizaré la estructura aristotélica para la construcción de las definiciones, la cual considera el género próximo y las diferencias específicas; en este punto es importante aclarar que la decisión de utilizar esta estructura

responde a intereses exclusivamente pragmáticos y no a compromisos esencialistas.

En el capítulo 2 iniciaré por argumentar que la experimentación mental es una de las características de la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII, aquí seguiré las ideas de Alexander Koyré, James R. Brown, Ruy Pérez Tamayo, Bernard Cohen, Hendrick Floris Cohen y Reijer Hooykaas. Después hablaré de la imaginación icónica como elemento de la configuración galileana y para ello utilizaré el análisis que hace Gerald Holton en su obra *La imaginación científica*; con base en este mismo análisis incorporaré las ideas de Ernan McMullin sobre el tipo de idealizaciones que utilizaba Galileo y el modelo de construcción de teorías de Einstein, estos dos elementos me permitirán mostrar de mejor manera en qué consiste la imaginación galileana y, en general, cual es el lugar de la imaginación y de los experimentos mentales en la ciencia. Después hablaré de las posibilidades físicas o nomológicas, como un segundo elemento de la configuración galileana; aquí seguiré las distinciones que hace Anand Vaidya sobre los diferentes tipos de posibilidades y necesidades que podemos considerar, y mostraré que la posibilidad física es el tipo de posibilidades que Galileo implementaba en la construcción de escenarios hipotéticos. Luego explicaré en qué consiste la contrafacticidad media, tercer elemento de la configuración galileana, para ello utilizaré la clasificación de Sophie Roux y mostraré que Galileo consideraba un grado medio o incluso bajo en sus experimentos mentales. A partir de lo anterior, defenderé que la consolidación metodológica del experimento mental, se dio a través de tres valores que eran importantes para la nueva ciencia, a saber, los tres elementos previamente descritos; en esta parte utilizaré la concepción metodológica de Galileo, la cual está plasmada de forma clara en su obra *Il Saggiatore*. Lo anterior, me permitirá mostrar que el éxito de la configuración galileana descansa en la consideración de esos valores.

En el capítulo 3 presentaré cinco experimentos mentales de Galileo para analizar su estructura y mostrar que ésta descansa en los tres elementos mencionados. El primer experimento mental que presentaré será el de *La torre inclinada*; iniciaré por

presentar las diferentes narraciones que existen sobre el experimento, en específico, la narración de E. Namer, John Fahie, Alexander Koyré y la narración de Vincenzo Viviani, la cual es considerada por varios historiadores, incluyendo a Koyré, como la versión original del experimento. También seguiré el análisis que hace Álvarez y Marquina sobre el carácter mítico de este experimento mental. Mi objetivo aquí es mostrar que la versión original del experimento es la narrada por el propio Galileo en los *Discorsi*. Después de mostrar lo anterior, utilizaré la taxonomía de James R. Brown para explicar el sentido platónico de este experimento e identificar su parte destructiva y su parte constructiva. También retomaré el modelo de Einstein como recurso para representar las teorías involucradas en el experimento, a saber, la aristotélica y la galileana. Finalmente, identificaré cada uno de los factores de la configuración galileana y explicaré cómo y en qué grado están presentes en el experimento mental. La forma de proceder en los demás casos (*el navío con moscas*, *el plano inclinado*, *el experimento del aire* y *el cubo con agua*) será similar, primero contextualizaré el experimento mental en la obra de Galileo, presentaré la cita textual y analizaré su estructura para identificar los elementos que la conforman.

En el capítulo 4 me enfocaré en mostrar las preocupaciones y peligros que actualmente se consideran sobre la experimentación mental. Para ello, seguiré principalmente las críticas de Pierre Duhem, Paul Thagard y Kathleen Wilkes, por ser los que recogen la diversidad de inquietudes recurrentes entre los científicos y filósofos. Finalmente, mostraré que la configuración galileana evita o minimiza estas preocupaciones; de ahí su utilidad actual como guía para la construcción de experimentos mentales relevantes y significativos para la ciencia.

CAPÍTULO 1. TRADICIÓN EXPERIMENTAL

El objetivo de este capítulo es contextualizar el papel del experimento mental en la tradición experimental de la ciencia y presentar una caracterización pragmática, no esencialista ni reduccionista, que integre la diversidad de notas que se han considerado en torno a su naturaleza.

En la sección 1.1 hablaré de la concepción metodológica de Galileo Galilei, con la finalidad de situar el lugar del experimento físico en la concepción de la nueva ciencia de los siglos XVI y XVII. Así mismo, incorporaré las ideas de Pierre Duhem para explicar cómo se entiende el experimento físico, sobre todo en el área de la física, y cuáles son algunas de las dificultades que esta metodología enfrenta; esperando que el aire de familia entre el experimento físico y el experimento mental permita entender de mejor manera el papel de este último en la ciencia.

En la sección 1.2 presentaré la pluralidad de concepciones que existen sobre el experimento mental y destacaré la característica principal que cada propuesta considera a la hora de explicar su naturaleza y función en la ciencia.

Finalmente, en la sección 1.3 presentaré una caracterización del experimento mental que integre la pluralidad de notas mencionadas en la sección anterior y para ello utilizaré la estructura aristotélica del género próximo y las diferencias específicas. Así mismo, defenderé que la función metodológica es la característica más importante para entender el papel que el experimento mental juega en la ciencia, ya que es la nota base sobre la cual descansa el resto de las características.

1.1 El experimento físico y su papel en la ciencia

Uno de los referentes al hablar del experimento en la ciencia es Galileo Galilei (1564-1642); ya que el experimento, tanto físico como mental, es un elemento fundamental en su concepción metodológica para la nueva ciencia y, por ende, ocupa un espacio importante en sus obras, en particular en los *Diálogos* y en los *Discorsi*. En estos dos textos podemos encontrar una gran variedad de experimentos, de los cuáles tomaré sólo un par, ya que la narración de los experimentos de Galileo suele ser extensa. Los ejemplos en los que me enfocaré están en los *Diálogos* y tienen una estructura claramente física, es decir, realizable y realizada. Si bien, Álvarez y Marquina consideran que en la obra de Galileo *más que experimentos reales, lo que aparecen son demostraciones didácticas* (Cfr. 1992, p. 25), lo cual encuentro convincente, también pienso que en la obra de Galileo podemos identificar experimentos que tienen una estructura y narración hipotética y otros que están presentados como si fueran experiencias hechas; también hay una mezcla de ambos, es decir, transiciones de un tipo de experimento a otro, por lo que buscaré concentrarme sólo en aquellos ejemplos que puedan distinguirse claramente como experimentos físicos en el sentido previamente señalado, ya que el objetivo aquí es mostrar el lugar del experimento físico en esta nueva concepción de la ciencia.

De esta manera, podemos comenzar señalando que para Galileo la nueva ciencia de los siglos XVI y XVII tiene que desmarcarse de la tradición aristotélica basada en el sentido común y las explicaciones metafísicas y transitar más bien hacia una ciencia basada en las matemáticas, el razonamiento *a priori*, la observación, la axiomatización y la experimentación, sólo por mencionar algunos aspectos. Estas consideraciones metodológicas las podemos observar claramente en el *// Saggiatore*, donde Galileo afirma que la naturaleza es como un libro que hay que aprender a leer y que el lenguaje para hacerlo son las matemáticas. En el párrafo 6 de esta obra podemos encontrar la idea anterior:

La filosofía está escrita en ese grandísimo libro que tenemos abierto ante los ojos, quiero decir, el universo, pero no se puede entender si antes no se aprende a entender la lengua, a conocer los caracteres en los que está escrito. Está escrito en lengua matemática y sus caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin las cuales es imposible entender ni una palabra; sin ellos es como girar vanamente en un oscuro laberinto.

(Galileo 1981 [1623], p. 63)

La nueva ciencia tiene pues, que observar la naturaleza y priorizar la matematización en sus explicaciones y demostraciones; en esto descansa gran parte de la concepción metodológica de Galileo y el experimento será una herramienta de demostración importante en este proceso. Para mostrar lo anterior, veamos ahora algunos ejemplos de experimentos físicos que vienen en los *Diálogos*, así se podrá visualizar de mejor manera la práctica experimental de Galileo. Me permitiré citar ampliamente, ya que la narración en sí es extensa.

El primer ejemplo se encuentra la primera jornada de los *Diálogos*, como parte de la discusión sobre si la superficie de la Luna es lisa y pulida como un espejo o áspera. Galileo sostiene ésta última postura y para mostrarlo presenta el siguiente experimento físico:

SALVIATI. [...] Tratamos de averiguar Sr. Simplicio, si para hacer una reflexión de luz similar a la que nos viene de la Luna, es necesario que la superficie de la que procede la reflexión sea tan tersa y lisa como la de un espejo, o bien si es más adecuada una superficie no tersa ni pulida, sino áspera y mal pulida. Así pues, si nos llegaran dos reflexiones, una más lúcida que la otra, desde dos superficies opuestas, os pregunto cuál de las dos superficies creéis que nuestros ojos verían más clara y cuál más oscura.

SIMPLICIO. Creo, sin duda, que la que reflejase la luz más vivamente se me presentaría con un aspecto más clara, y la otra más oscura.

SALVIATI. Así pues, coged por favor aquel espejo que está colgado en aquel muro y salgamos aquí al patio. Venid, Sr. Sagredo. Colgad el espejo allí en aquel muro, donde da el Sol. Alejémonos y retirémonos aquí a la sombra. He aquí dos superficies en las que da el Sol, es decir el muro y el espejo. Ahora decidme, ¿cuál os parece más clara, la del muro o la del espejo? ¿No respondéis?

SAGREDO. Yo dejo responder al Sr. Simplicio que es quien tiene la dificultad. Porque, por lo que a mí respecta, con sólo empezar esta experiencia, estoy convencido de que la Luna tiene que ser necesariamente de superficie muy mal pulida.

(Galileo 2011 [1632], p. 66-67)

La perspectiva tradicional consideraba que la naturaleza de los cuerpos celestes era ingenerable, incorruptible, inalterable. De ahí que se considerara que la Luna era tersa y lisa como un espejo y, por ende, apta para reflejar perfectamente la luz del Sol. En cambio, las observaciones de Galileo con el telescopio sugerían que la superficie lunar no era así, sino más bien áspera, con cráteres, valles y montañas, muy similar a la superficie de la Tierra.

Otro experimento, con una narración y estructura física, lo podemos encontrar en la tercera jornada de los *Diálogos*, donde se discute acerca del error que algunos astrónomos como Al-Fargani, Al-Battani, Tabit Ibn Qurra³, Tycho, entre otros, cometieron sobre la magnitud de las estrellas, tanto fijas como móviles. Para Galileo, el error de estos astrónomos consiste en que no prestaron atención a la radiación adventicia que, engañosamente, muestra las estrellas cien veces más grandes; Galileo explica que la solución era verlas en su primera aparición de la tarde o en la última ocultación de la aurora. Para Galileo este error es injustificable,

³ Al-Fargani, astrónomo del siglo IX, autor de un manual, *Elementos de astronomía*, que en el siglo XII fue traducido al latín y fue importante para la recuperación de la astronomía clásica. Al-Battani, del siglo X, quizás el más famoso astrónomo árabe, es autor de unas importantes *Tables Sabeas*. Tabit ibn Qurra, algo más joven que Al-Battani, contribuyó especialmente al campo de la traducción de las grandes obras griegas de astronomía. Nota tomada de Antonio Beltrán Marí, editor de la obra de Galileo, *Diálogos*, Alianza: Madrid, 2011 [1632].

ya que considera que hubiese bastado la observación de Venus de día y por la noche para haberse dado cuenta de que había un error en la percepción; como en el caso de las antorchas encendidas que de noche y desde lo lejos parecen enormes y conforme uno se acerca se define y delimita su verdadera llama (Cfr. Galileo, 2011 [1632], p. 314).

De esta manera, Galileo, en voz de Salviati, extrañado de que ninguno de estos astrónomos se dispuso a hacer alguna comprobación, sobre Tycho, quien era conocido por su rigurosidad metodológica en las observaciones, explica el modo para medir el diámetro de una estrella, sin necesidad del telescopio. El objetivo es dejar claro que aún suponiendo que estos astrónomos carecían de este instrumento, la medición se habría podido realizar, aunque no tan exactamente, y que ello hubiese bastado para sacarlos del engaño. El experimento físico es el siguiente:

SALVIATI. [...] Hice colgar una cuerdecilla en dirección a alguna estrella, -yo me serví de Lira⁴, que sale entre el norte y el gregal-, y después acercándome o alejándome de dicha cuerda interpuesta entre mí y la estrella, encontré el lugar desde el cual el grosor de la cuerda oculta exactamente la estrella. Hecho esto, tomé la distancia del ojo a la cuerda, que equivale a uno de los lados que comprenden el ángulo que se forma en el ojo y que abarca el grosor de la cuerda, y que es similar, e incluso el mismo, que el ángulo que el diámetro de la estrella abarca en la esfera estrellada, y con la proporción del grosor de la cuerda a la distancia del ojo a la cuerda, con la tabla de los arcos y cuerdas, inmediatamente he encontrado el valor del ángulo. Tomando, sin embargo, la precaución usual que se tiene al tomar ángulos tan agudos, de no colocar la intersección de los rayos visuales en el centro del ojo, adonde van sólo una vez refractados, sino más

⁴ Antonio Beltrán Marí comenta que sin duda Galileo se refiere a Vega, la estrella más luminosa de la constelación de Lira. Y que Vega es una estrella doble con una luminosidad 58 veces más potente que la del Sol. Ver la nota al pie en la página citada.

allá del ojo, donde realmente el tamaño de la pupila los lleva a converger.

(Galileo 2011 [1632], p. 315)

En el experimento anterior podemos notar que la observación y los cálculos matemáticos son una parte fundamental de la práctica experimental de Galileo, ya que éstos elementos resultan indispensables *para mostrar con claridad la necesidad de la conclusión* (Cfr. Galileo, 2011 [1632], p. 172). Esta consideración es visible en varias partes de los *Diálogos*, por ejemplo, cuando se discute la imposibilidad de la proyección por la rotación terrestre, Galileo utiliza diagramas y cálculos geométricos como elementos de prueba (Galileo, 2011 [1632], p. 171); también cuando habla acerca de que la línea recta es la más corta de todas (Galileo, 2011 [1632], p. 178); o cuando reflexiona sobre cómo la esfera toca el plano en un solo punto (Galileo, 2011 [1632], p. 179). Por lo que resulta claro, que en este proyecto metodológico, el razonamiento lógico y matemático es una condición necesaria para entender y explicar satisfactoriamente a la naturaleza y esto mismo es lo que distingue al experimento galileano como herramienta de exploración, análisis, argumentación y demostración.

El experimento en Galileo constituye una herramienta primordial para realizar lo anterior y tiene, como consideran Álvarez y Marquina, un componente didáctico que se relaciona con *un proyecto cultural más grande que tiene como objetivo principal defender la causa del copernicanismo* (Cfr. 1992, p. 15). Esto hace que su función, en esta nueva concepción de la ciencia, sea decisiva, pues constituye un método de enseñanza y divulgación que será importante para dicho proyecto cultural.

Para Stillman Drake esta práctica experimental representa el antecedente de los procesos experimentales en el sentido moderno (Cfr. Drake, 1973, p. 304), y considera que esto se puede corroborar gracias a los datos y cálculos que aparecen

en los manuscritos no publicados de Galileo⁵, trabajados durante el periodo de 1604 a 1609:

En estos documentos se proporcionan datos empíricos precisos numéricamente, se hacen comparaciones con valores calculados derivados de la teoría, se observa una fuente de discrepancia de otro resultado esperado, se diseña un nuevo experimento para eliminar esto y se registran más datos empíricos. [...] Si esto no representa el proceso experimental en su sentido totalmente moderno, es difícil imaginar qué estándares los historiadores requieren que se cumplan.

(Drake, 1973, p. 292)⁶

En dichos manuscritos se puede observar las técnicas que Galileo utilizaba, cálculos matemáticos, discrepancias en los resultados, diseños de experimentos, incluso registros acerca del equipo adecuado para llevar a cabo una prueba experimental.

La siguiente imagen es uno de los manuscritos inéditos de Galileo, escrito a finales de 1608, en el que se corrobora su suposición inercial, lo cual conduce directamente a su descubrimiento de la trayectoria parabólica.⁷

⁵ Drake afirma que el trabajo de Galileo durante estos años se puede identificar por las marcas de agua en los documento del manuscrito. Esto lo aborda en: Stillman Drake, "Galileo Gleanings XXI-On the Probable Order of Galileo's Notes on Motion," *Physis*, 1972, 14: 55-68.

⁶ La traducción es mía. La versión en inglés es la siguiente: In these documents precise empirical data are given numerically, comparisons are made with calculated values derived from theory, a source of discrepancy from still another expected result is noted, a new experiment is designed to eliminate this, and further empirical data are recorded. [...] If this does not represent the experimental process in its fully modern sense, it is hard to imagine what standards historians require to be met.

⁷ La imagen fue tomada de Drake, 1973, p. 3.

eso hubiese significado darle armas a sus oponentes (Cfr. Álvarez y Marquina, 1992, p. 25).

Para Álvarez y Marquina, los datos empíricos que aparecen en el manuscrito no publicado de Galileo, muestran una gran actividad empírica, realizada de manera cuidadosa y precisa; sin embargo, consideran que aunque Galileo realizó experimentos reales, sobre todo en planos inclinados para comprobar su teoría del movimiento, éste no pudo obtener los resultados exactos que menciona, de ahí que su decisión de presentar y narrar experimentos en sus obras publicadas sea una estrategia didáctica para convencer a los demás y omitir las discrepancias desafortunadas (Cfr. 1992, p. 16-17).

Lo anterior se relaciona con la concepción romántica del experimento físico que señala Pierre Duhem. El experimento físico en la ciencia es considerado una de las herramientas más confiables para la investigación, sin embargo, aunque es ampliamente aceptado como uno de los mejores procedimientos para investigar y proceder en la ciencia, éste no está exento de dificultades y aspectos problemáticos como pasa con cualquier otra metodología.

La perspectiva duhemiana toma en consideración el método experimental que viene desde Galileo, donde el experimento físico suele identificarse con un procedimiento riguroso para observar fenómenos de la naturaleza en condiciones controladas y con instrumentos exactos. Por ello, la conexión resulta pertinente, ya que el objetivo de Duhem se centra en romper con este romanticismo y mostrar las características y dificultades del experimento físico.

De esta manera, la idealización del experimento físico es considerada un obstáculo que perjudica a la ciencia. Para Duhem, es importante que dicha idealización desaparezca y que las complicaciones del proceso experimental se hagan conscientes. De ahí que, una de sus ideas más valiosas, al respecto, gire entorno a la *interpretación* que se da en este proceso.

Duhem considera, que un experimento físico, en el área de la física, no es simplemente la observación de un fenómeno bajo circunstancias controladas, sino

que es, además, la interpretación teórica de ese fenómeno (Cfr. Duhem, 2003, pp. 191, 193). Es decir, el experimento físico -en este ámbito y en cualquier otro- no consiste solamente en la observación pura y directa de un fenómeno o estado de cosas, sino que en este proceso intervienen otros factores, principalmente, un marco teórico que condiciona y guía la interpretación de lo que observamos.⁹ El experimento físico está conformado por lo anterior y, por tanto, influye en los resultados que se obtienen, ya que éstos están filtrados por la interpretación teórica involucrada. Para Duhem, estas son las dos partes más importantes de la naturaleza del experimento físico, a saber, *observación e interpretación*.

El experimento físico consiste, entonces, en la observación de fenómenos, hechos o estados de cosas, pero esta observación, a diferencia de la observación descriptiva donde solamente se requiere relatar de manera literal lo que se observa, requiere de una interpretación que permita entender lo que se observa. Es decir, no basta con observar de manera neutra lo que pasa, sino que es necesario aplicar una teoría específica para interpretar los hechos observados. La observación tiene que estar inmersa en un marco teórico de interpretación, de lo contrario se trataría de una observación vacía para la ciencia física. La interpretación es pues fundamental en el experimento físico, ya que es lo que le da sentido y referencia teórica a las observaciones realizadas.

De esta manera, Duhem presenta la siguiente definición o caracterización del experimento físico:

Un experimento físico es la observación precisa de un grupo de fenómenos acompañada de la INTERPRETACIÓN de esos fenómenos. Esta interpretación sustituye los datos concretos obtenidos realmente de la observación por representaciones abstractas y simbólicas que les corresponden en virtud de las teorías admitidas por el observador.

(Duhem, 2003 [1906], p. 193)

⁹ Al igual que con el experimento físico, el experimento mental también requiere una interpretación teórica de lo que se observa mentalmente.

La información observada tiene que interpretarse a la luz de una teoría específica, es decir, lo que se observa de manera directa se traduce a expresiones abstractas y simbólicas que sólo un científico entrenado puede formular y entender de manera adecuada. Duhem establece así, la tesis de la carga teórica de la observación.

Con lo descrito hasta aquí, acerca del pensamiento de Duhem, podemos vislumbrar el tipo de dificultades que enfrenta la experimentación física, pues la interpretación en ocasiones puede resultar muy diferente, ya sea porque se consideran marcos teóricos de interpretación distintos o incluso porque dentro de un mismo marco de interpretación hay interpretaciones diversas sobre la propia teoría. Las relaciones abstractas y simbólicas que menciona Duhem y que se establecen entre la observación y la teoría pueden variar de manera significativa y llevar a interpretaciones completamente diferentes, lo cual es algo positivo para el desarrollo y avance de la ciencia, pero al mismo tiempo problemático para una metodología que suele identificarse como un proceso confiable y certero.

Para Duhem la interpretación teórica involucrada en un experimento físico está relacionada con la ontología que postula la teoría física aceptada por el observador y esto representa una separación entre lo realmente observado y lo interpretado teóricamente, por lo que no hay identidad entre el hecho físico observado y la interpretación simbólica enunciada:

A un mismo hecho teórico pueden corresponderle una infinidad de hechos prácticos diferentes. [...] A un mismo hecho práctico pueden corresponderle una infinidad de hechos teóricos lógicamente incompatibles.

(Duhem, 2003 [1906], p. 199)

No hay pues una correspondencia certera entre la observación y los juicios simbólicos que se emiten sobre ésta, ya que los juicios emitidos pueden ser diferentes entre sí e incluso lógicamente contradictorios (Cfr. Duhem, 2003, p.

199).¹⁰ El observador ordena y le da sentido a lo que observa en función de la teoría aceptada pero no hay garantía de que la interpretación sea correcta.

Duhem explica en este sentido que las teorías físicas permiten explicar los hechos observados a través de un lenguaje teórico que ya se conoce, éstas nos ayudan a hacer comprensible lo que observamos en el experimento y a ubicarlo dentro de un marco de referencia familiar. Así mismo, son condición necesaria para la manipulación adecuada de los instrumentos físicos utilizados:

[...] cuando el físico realiza un experimento, tiene simultáneamente en su mente dos imágenes bien distintas del instrumento con el que opera: una es la imagen del instrumento concreto que manipula en realidad; la otra es un modelo esquemático del mismo instrumento, construido por medio de símbolos proporcionados por las teorías. Y cuando razona, lo hace a través de este instrumento ideal y simbólico, y a él aplica las leyes y las fórmulas de la física.”

(Duhem, 2003 [1906], p. 205-205)

La solución que Duhem presenta a la dificultad anterior, consiste en corregir las causas de error en la interpretación teórica del experimento (Cfr. Duhem, 2003, p. 205). El objetivo es pues detectar errores en la observación y en la aplicación de la teoría, para así afinar la interpretación teórica y explicar satisfactoriamente los resultados obtenidos.

Como podemos observar, el análisis de Duhem se centra en señalar el carácter complejo y falible de la experimentación física. Sin embargo, al mismo tiempo enfatiza su papel fundamental en la ciencia; el experimento físico no consiste en una simple observación o corroboración de hechos, ya que de ser así no habría espacio para el error, lo cual no es el caso, sino más bien en un ejercicio de observación e interpretación, donde si bien puede haber errores, también es posible corregirlos si se trabaja en la relación entre observación e interpretación teórica.

¹⁰ Esto es lo que ahora se conoce como el problema de la *subdeterminación*.

La falibilidad es una característica de la práctica experimental y como tal debe tenerse en cuenta, no para descartar al experimento físico, sino para mejorar su proceso. En este sentido, el análisis de Duhem resulta útil, ya que nos permite visualizar dos elementos primordiales para entender y pulir este proceso experimental. Los experimentos físicos son falibles, involucran observaciones e interpretaciones abstractas condicionadas por la teoría aceptada, pero también son uno de nuestros mejores procesos para investigar en la ciencia:

Las proposiciones abstractas y matemáticas que las teorías ponen en correspondencia con los hechos observados no están, ya lo hemos dicho, completamente determinadas. A los mismos hechos puede corresponderle una infinidad de proposiciones diferentes, y a las mismas mediciones una infinidad de evaluaciones que se expresan con números diferentes. El grado de indeterminación de la proposición abstracta, matemática, mediante la que se expresa el resultado de un experimento, es lo que se denomina el grado de aproximación del experimento que examinamos.

(Duhem, 2003 [1906], p. 213)

De esta manera, el experimento físico, a pesar de todas estas dificultades, es para Duhem el tipo de experimento más confiable para la ciencia -aunque queda claro que dicha confiabilidad no es absoluta-, ya que éste es por mucho más exacto y detallado¹¹ que cualquier experimento ordinario que sólo se limite a constatación no científica (sin interpretación teórica) de un hecho observado (Cfr. Duhem, 2003, p. 214-216).

Resulta claro que Duhem aporta elementos valiosos para entender la naturaleza del experimento físico y el papel que desempeña en la ciencia. Su postura es un recordatorio de que lo único que podemos hacer a través de los experimentos -tanto físicos como mentales-, es ofrecer buenas razones para que nuestras hipótesis o teorías se acepten. Ningún experimento es conclusivo, el experimento en la ciencia

¹¹ Aunque esa exactitud y detalle se tengan que trabajar y pulir constantemente.

no tiene el poder de convertir una hipótesis en una verdad absoluta ni en una falsedad indiscutible. Los experimentos cruciales son pues, imposibles, *la verdad o falsedad*¹² *de una teoría no se decide a cara o cruz* (Duhem, 2003 [1906], p. 249-250).

En resumen, es claro que el experimento físico ocupa un lugar primordial en la ciencia, no obstante, entender el rol que éste juega, así como tener claras sus características, dificultades, limitaciones, posibilidades, etc., es una tarea complicada, sobre todo por la cantidad de literatura que hay al respecto. En este camino, he considerado que la concepción metodológica de Galileo constituye un buen referente para entender la trayectoria que el experimento, tanto físico como mental, ha tenido en la tradición científica. La práctica experimental de Galileo aporta varios de los elementos que han dado forma a la experimentación actual, como la matematización, la rigurosidad en los cálculos, el uso de diagramas geométricos, el razonamiento lógico, entre otros de los ya mencionados. Como vimos, para Galileo el experimento es una herramienta de análisis, exploración, argumentación, demostración, así como un recurso didáctico para la enseñanza y divulgación de sus teorías y proyecto cultural. Por otro lado, Duhem aporta en este análisis, dos elementos fundamentales que rompen la perspectiva romántica del experimento físico, a saber, la carga teórica de la observación y la subdeterminación durante la interpretación teórica. De esta manera, tenemos a Galileo que exalta el papel del experimento en la nueva ciencia y a Duhem que equilibra la percepción del mismo. Si bien, el experimento es uno de los mejores recursos científicos, es necesario moderar nuestra confianza y ser conscientes de sus dificultades.

Finalmente, considero que el aire de familia que existe entre el experimento físico y el experimento mental, permitirá entender de mejor manera, el contexto actual en el que éste último se desarrolla; mostrando que su función en la ciencia es similar, aunque puedan distinguirse en otros aspectos. Como señala Wittgenstein, *vemos una complicada red de parecidos que se superponen y entrecruzan, parecidos a*

¹² Verdad o falsedad en un sentido de adecuación empírica, no en el sentido de correspondencia o de espejo de la realidad.

gran escala y de detalle (Wittgenstein, 1988 [1953], p. 87). A lo cual le sigue el siguiente pensamiento:

No puedo caracterizar mejor esos parecidos que con la expresión «parecidos de familia»; pues es así como se superponen y entrecruzan los diversos parecidos que se dan entre los miembros de una familia: estatura, facciones, color de los ojos, andares, temperamento, etc. etc. —Y diré: los “juegos” componen una familia.

(Wittgenstein, 1988 [1953], pp. 87 y 89)

De esta manera, sirva lo presentado acerca del experimento físico como referente para identificar, de entrada, las virtudes, dificultades y función del experimento mental, en la tradición científica. Estoy segura que las semejanzas son varias y, quizás, pocas las diferencias.

1.2 El experimento mental y la pluralidad de concepciones

El experimento mental se entiende comúnmente como un proceso que se ejecuta en el pensamiento; en este proceso se examinan las propiedades de algún fenómeno y en principio no es necesario llevarlo a cabo para poder aceptar las conclusiones obtenidas. Actualmente existen diferentes propuestas que profundizan en la naturaleza¹³ de los experimentos mentales y las características o notas distintivas que consideran para hacerlo son diversas.

¹³ La naturaleza del experimento mental hace referencia al conjunto de características necesarias y suficientes para poder identificarlo.

James Robert Brown, por ejemplo, defiende una perspectiva platónica de los experimentos mentales y considera que éstos son procesos *a priori* a través de los cuales es posible tener intuiciones de entidades abstractas:¹⁴

De acuerdo con el platonismo, podemos intuir algunos objetos matemáticos, y los objetos matemáticos son entidades abstractas. Así, podemos (al menos en principio) intuir entidades abstractas. Según la descripción realista de las leyes de la naturaleza, las leyes también son entidades abstractas. Por lo tanto, podríamos ser capaces (al menos en principio) de intuir las leyes de la naturaleza también. Hay una situación en la que parece que tenemos un acceso especial a los hechos de la naturaleza, a saber, en experimentos mentales. Por lo tanto, es posible que los experimentos mentales (al menos en algunos casos) nos permitan intuir las leyes de la naturaleza. Las intuiciones, recuerden, son percepciones no sensoriales de entidades abstractas. Debido a que no involucran a los sentidos, trascienden la experiencia y nos dan un conocimiento *a priori* de las leyes de la naturaleza.

Déjenme evitar una preocupación de inmediato. El conocimiento *a priori* no es un conocimiento seguro. Las intuiciones están abiertas a errores, al igual que las percepciones sensoriales ordinarias.

(Brown, 2004, p. 34)¹⁵

¹⁴ Las entidades abstractas son propiedades o relaciones universales que tienen una existencia propia y similar a la de los objetos matemáticos, como las leyes de la naturaleza. Para Brown es posible percibir estas entidades abstractas y lo *a priori* hace referencia a esta idea platónica.

¹⁵ La traducción es mía. La versión en inglés es la siguiente: According to Platonism, we can intuit some mathematical objects, and mathematical objects are abstract entities. Thus, we can (at least in principle) intuit abstract entities. According to the realist account of laws of nature, laws are also abstract entities. Thus, we might be able (at least in principle) to intuit laws of nature as well. There is one situation in which we seem to have a special access to the facts of nature, namely in thought experiments. Thus, it is possible that thought experiments (at least in some cases) allow us to intuit laws of nature. Intuitions, remember, are nonsensory perceptions of abstract entities. Because they do not involve the senses, they transcend experience and give us *a priori* knowledge of the laws of nature. Let me head off one concern right away. *A priori* knowledge is not certain knowledge. Intuitions are open to mistakes, just as ordinary sense perceptions are.

En el párrafo anterior podemos observar el argumento central de la propuesta de Brown, el cual podemos reconstruir de la siguiente manera:

- 1: De acuerdo con el platonismo podemos intuir algunos objetos matemáticos.
 - 2: Los objetos matemáticos son entidades abstractas.
 - 3: De acuerdo con la descripción realista las leyes de la naturaleza son entidades abstractas.
 - 4: A través de los experimentos mentales, tenemos acceso a los hechos de la naturaleza.
 - 5: Las intuiciones son percepciones no sensoriales de entidades abstractas.
 - 6: Las intuiciones trascienden la experiencia y dan un conocimiento *a priori*.
- / Por lo tanto, a través de los experimentos mentales podemos tener intuiciones *a priori* de entidades abstractas.

Para Brown las intuiciones funcionan de la misma forma que las percepciones sensoriales ordinarias. Considera que así como podemos ver o percibir objetos físicos podemos intuir algunas entidades abstractas y a esto lo llama *ver con el ojo de la mente*. Las percepciones matemáticas, al igual que las percepciones de objetos físicos, están cargadas de teoría. Así, por ejemplo, cuando decimos que el cielo es azul o que el agua hierve a los 100 °C y determinamos si se trata de una proposición verdadera o falsa de acuerdo a las teorías que tenemos, así también podemos intuir que ciertas proposiciones matemáticas son ciertas o no de acuerdo a nuestro conocimiento teórico. Para Brown, las intuiciones funcionan como nuestras percepciones ordinarias, en ambos casos se requiere un marco teórico de interpretación para obtener resultados satisfactorios y éstas tienen un papel importante cuando no se puede tener percepciones sensoriales; por ello es necesaria una formación teórica sólida para poder intuir qué proposiciones deben ser aceptadas o rechazadas.

Las entidades abstractas, como los objetos matemáticos (números, conjuntos, funciones, entre otros), tienen una existencia independientemente de nosotros,

están fuera del espacio y el tiempo y no son parte del mundo físico natural pero a través de las intuiciones podemos percibir estos objetos. Es decir, podemos intuir objetos matemáticos y verdades matemáticas pero eso no significa que nuestras intuiciones sean siempre certeras, ya que nuestro conocimiento teórico, interpretación, entrenamiento, entre otros, influyen en la manera que intuimos esos objetos. Para Brown nuestro conocimiento matemático se basa en axiomas, pruebas, derivaciones e intuiciones y por ello no puede ser infalible. Lo mejor que podemos hacer, al igual que con nuestras percepciones sensoriales, es tratar de obtener conocimiento satisfactorio de acuerdo a nuestras teorías vigentes. En otras palabras, no es que las matemáticas no sean certeras, sino que nuestro conocimiento matemático no lo es, ya que gran parte de éste descansa en procedimientos falibles.

La perspectiva de Brown sobre los experimentos mentales está ligada al platonismo gödeliano en matemáticas y a un realismo científico en la ciencia. Si bien, podemos tener intuiciones de algunas entidades abstractas de ello no se sigue que dichas intuiciones sean infalibles, podemos fallar y de ello tampoco se sigue la falsedad de esas entidades, sino únicamente la falibilidad de nuestra percepción. Por ello, el trabajo del matemático y del científico es tener un buen entrenamiento para poder tener intuiciones cada vez más certeras.

Los experimentos mentales nos permiten tener intuiciones de entidades abstractas, como los objetos matemáticos y las leyes de la naturaleza, pero estas intuiciones tienen que estar guiadas por nuestro conocimiento teórico y por la información empírica, aunque el proceso sea eminentemente *a priori*. Roy Sorensen también considera la cualidad *a priori* con atención, afirmando que los experimentos mentales buscan alcanzar su objetivo sin la necesidad de una ejecución física (Cfr. Sorensen, 1992, p. 205).¹⁶

¹⁶ Las discusiones sobre si un experimento mental tiene que ser estrictamente irrealizable para que se considere realmente un experimento mental son muy comunes. Consideran, por ejemplo, que de ser estrictamente irrealizable el experimento mental, esto es, estrictamente *a priori*, éste constituiría una metodología débil, ya que podría tornarse en razonamientos estériles y especulaciones

La cualidad *a priori*, es una nota valiosa, ya que permite distinguir, de entrada, al experimento mental del resto de los experimentos, sin embargo, no es suficiente para caracterizar por sí sola su naturaleza. El experimento mental es algo más que un mero proceso de pensamiento, tiene otras características que lo distinguen de una forma más específica, por eso no puede ser explicado únicamente con esta nota. Hay diferentes procesos mentales que igualmente se llevan a cabo en el pensamiento y no son un experimento mental, de aquí la necesidad de considerar otros elementos para configurar y explicar de mejor manera su naturaleza y función en la ciencia. La cualidad *a priori* es, en este sentido, una nota necesaria y fundamental pero también lo son el resto de las diferencias específicas que se han predicado.

El carácter contrafáctico agrega, por ejemplo, una característica más para definir mejor al experimento mental, éste hace referencia a todo evento o situación hipotética que no ha acontecido en el universo actual pero que puede ocurrir en un mundo posible¹⁷. Literalmente es una situación posible “contraria a los hechos” que sucede en el universo actual. De esta manera, a través de un experimento mental contrastamos una situación actual con una situación posible y, al igual que el elemento *a priori*, ésta apela a la noción de posibilidad de ejecución y evaluación en el pensamiento, sólo a diferencia de aquel, el carácter contrafáctico introduce la idea de mundos posibles.

Con la nota primera afirmamos que el experimento mental se caracteriza porque se realiza en el pensamiento, con esta segunda nota completamos la afirmación agregando que en ese proceso mental se analizan y evalúan escenarios hipotéticos con la finalidad de contrastarlos con la realidad. Lo contrafáctico suma algo nuevo

metafísicas, lo cual sería poco relevante para las comunidades científicas. En este trabajo no se descarta la posibilidad de realización física de un experimento mental, si así se quiere y las circunstancias físicas lo permiten.

¹⁷ La propuesta de David K. Lewis sobre los mundos posibles es un realismo modal, desde el cual sostiene que el mundo del que somos parte es uno de una pluralidad de mundos y que nosotros -los que habitamos este mundo- somos sólo unos pocos de todos los habitantes de todos los mundos. Para Lewis el realismo modal se refiere a la pluralidad de mundos, a las diferentes formas en que el mundo puede ser, el mundo actual es sólo una de esas formas. De esta manera, hay tantos mundos como formas distintas en las que un mundo puede ser. Para profundizar más sobre esta propuesta consultar *On the Plurality of Worlds* (1986) de David K. Lewis.

que nos permite ir esbozando una caracterización cada vez más completa y adecuada del experimento mental.

Algunos como Sophie Roux han resaltado en sus propuestas la importancia de esta nota distintiva. Para Roux, por ejemplo, el que los experimentos mentales tengan un carácter contrafáctico significa que éstos involucran escenarios posibles y que no tienen que ser llevados a cabo para entender o aceptar sus conclusiones. La contrafactividad¹⁸ constituye una nota esencial para los experimentos mentales, no sólo para Roux, sino para otros autores como James William McAllister (2012), Timothy Williamson (2007) y Pascal Engel (2011).

Por otro lado, el elemento modal también ha sido considerado en las definiciones de los experimentos mentales. Para Ernst Mach (1897 / 1976 [1905]) la modalidad se refiere a la capacidad de imaginar una variación de hechos y concebir un escenario posible con ciertas condiciones específicas para evaluar algún aspecto de la realidad.

De esta manera, tanto el carácter modal como el contrafáctico nos ayudan a entender un poco más en qué consiste ese proceso mental que había sido puesto sobre la mesa por la cualidad *a priori*. Ambos le dan continuidad a la nota primera, especificando más ese proceso de pensamiento.

De igual manera, el papel heurístico es otra nota que permite agregar otro elemento interesante. Para Kuhn (1977) por ejemplo, la función del experimento mental es guiar a los científicos en sus investigaciones, éste les ayuda a clarificar conceptos, identificar contradicciones en las teorías y a formular nuevos principios. Para Kuhn la función heurística de los experimentos mentales juega un papel esencial durante los periodos de crisis, ya que ayudan a promover el cambio conceptual; los

¹⁸ Roux desarrolla una clasificación muy interesante y útil de la contrafactividad, a partir de la cual los experimentos mentales pueden ser catalogados; divide la contrafactividad en tres clases o grados: débil, media y fuerte. La contrafactividad débil indica que la ejecución física de un experimento mental es posible; la contrafactividad media indica que la realización de un experimento mental es compleja dadas las circunstancias actuales pero no descarta la posibilidad de realización futura; y finalmente la contrafactividad fuerte indica que la ejecución física de un experimento mental no es posible.

científicos realizan experimentos mentales y emplean como parte integral de su conocimiento lo que antes les era inaccesible. De esta manera, el papel heurístico de los experimentos mentales influye no sólo en el desarrollo de la investigación, sino en el desarrollo y construcción de la ciencia misma. Sirve como guía en la construcción de nuevas formas de explicación y tiene una función prospectiva, éste no pretende ofrecer un algoritmo del descubrimiento, es decir, no pretende ofrecer un conjunto de reglas metodológicas cuya aplicación nos guíe con seguridad al éxito, sino únicamente asistirnos o guiarnos, ya sea en la clarificación de conceptos, en la formulación de nuevas hipótesis o en la resolución de problemas, entre otros. Ésta es la interpretación más común de la función heurística en las diferentes propuestas sobre los experimentos mentales y, por tanto, la que adoptaremos en esta investigación.

Finalmente, la otra nota distintiva que tomaré en cuenta es el elemento argumentativo de los experimentos mentales. Esta característica ha sido considerada ampliamente por diversos autores como Nicholas Rescher (1991), James Robert Brown (1991), Andrew D. Irvine (1991), John Forge (1991), Ian Hacking (1992), Pascal Engel (2001) y John Norton (1991), entre otros. Para este último autor, los experimentos mentales son estructuras argumentativas de tipo deductivo, es decir, estructuras que constan de ciertas premisas y a partir de las cuales se deriva con necesidad una conclusión¹⁹. Por tanto, los experimentos mentales tienen una función argumentativa en la ciencia, cuando los científicos los formulan y utilizan lo hacen también para argumentar a favor o en contra de alguna noción o concepto al igual que de una determinada hipótesis o teoría. Para Norton (2004) los experimentos mentales nos permiten explicar el mundo y obtener conocimiento, pero éstos tienen que estar guiados por una lógica como la deductiva para ser fiables.

Las notas recogidas hasta aquí sirven para mostrar la pluralidad de características que se consideran a la hora de dar cuenta del experimento mental. No obstante, en

¹⁹ Cabe mencionar que aunque Norton se enfoca en las reconstrucciones deductivas de los experimentos mentales, no descarta la posibilidad de otras formas de reconstrucción lógica, como podría ser el caso de las reconstrucciones inductivas y abductivas.

dicha pluralidad se pierde el sentido básico de esta metodología, ya que cada postura se enfoca, por lo general, en destacar la nota que consideran fundamental. En la siguiente sección, abordaré este problema y propondré una caracterización que integra esta diversidad y que muestra, al mismo tiempo, el carácter básico del experimento mental, desde el cual incluso adquieren más sentido las notas aquí mencionadas.

1.3 Una caracterización pragmática del experimento mental

Como vimos en la sección anterior, existen diversas propuestas acerca de la naturaleza de los experimentos mentales, ya que cada autor tiene una perspectiva distinta sobre las características que ilustran su naturaleza. Para algunos el elemento a destacar es lo *a priori*, para otros lo contrafáctico, argumentativo, heurístico, entre otros; si bien es cierto que algunos autores reconocen más de un elemento en sus propuestas, es innegable que lo anterior presenta una pluralidad bien definida de caracterizaciones.

Por un lado, dicha pluralidad representa una riqueza, ya que cada propuesta aporta elementos valiosos para entender de mejor manera el estatus ontológico y epistémico de este tipo de experimentos. Sin embargo, esta variedad de perspectivas también genera problemas, por ejemplo, sobre cuál o cuáles son las características más básicas o importantes. Lo anterior, me ha llevado a considerar una caracterización que logre integrar la diversidad de notas que se han presentado como importantes pero que muestre, al mismo tiempo, la nota más básica sobre la que descansan las demás.

Si bien algunos consideran que no es necesario tener una caracterización de los experimentos mentales para poder hablar de ellos o entender su papel en la

ciencia²⁰, lo cierto es que todos tienen de alguna u otra forma una concepción más o menos definida sobre los mismos. Quizás, la actitud escéptica ante una caracterización se debe en parte a los compromisos esencialistas que acompañan cualquier intento de definición, lo que genera cierta desconfianza acerca de la utilidad o la posibilidad de una caracterización así. No obstante, la caracterización que aquí presentaré no tiene dichos compromisos esencialistas, sino la intención únicamente de reunir e integrar la riqueza de notas, esto ayudará a explicar y entender de mejor manera la función que los experimentos mentales tienen en la ciencia.

Ahora, para los fines de este trabajo, presentar una caracterización de los experimentos mentales, ayudará a evitar problemas de comunicación, ya que ¿cómo podríamos hablar sobre los mismos temas, problemas o cosas, si no tenemos conceptos, definiciones o caracterizaciones en común, que permitan establecer un puente asertivo de comunicación? De igual manera, cabe mencionar, que la postura escéptica sobre las definiciones, tiene razón en desconfiar de todo intento por establecer caracterizaciones absolutas y esencialistas pero no en renunciar a la búsqueda de caracterizaciones que permitan establecer marcos comunicativos más claros y asertivos. Es decir, del hecho de que no deberíamos aceptar definiciones absolutas, no se sigue que no necesitemos trabajar para tener definiciones no absolutas. Así, resulta fundamental en este trabajo que la caracterización que se presentará se deslinde de todo compromiso absolutista o esencialista, sobre todo, porque la forma que utilizaré para presentar la caracterización es la aristotélica y ésta es comúnmente asociada a las esencias. La decisión de utilizar dicha forma surge de la idea de remitirnos a la forma tradicional de construcción de las definiciones, sin embargo, lo único que retomaré de esta forma es la estructura, dejando de lado los compromisos de Aristóteles. En otras palabras, utilizaré la forma aristotélica pero no su relación con las esencias.

Como bien sabemos, las definiciones para Aristóteles se construyen a partir de dos elementos primordiales, que son el género próximo y la diferencia específica. El

²⁰ Por ejemplo, John Norton.

primero se puede entender como la categoría más general en la que podemos colocar a un objeto (material o no material), es decir, es la característica más amplia que podemos predicar del objeto. Mientras que el segundo elemento es la característica que distingue al objeto dentro de esta categoría o característica más general. Si pensamos en teoría de conjuntos, el género próximo es el conjunto predicable más grande y próximo del objeto y la diferencia específica es un subconjunto que contiene las características que delimitan y distinguen un poco más al objeto en cuestión.

Así comenzaron a formarse las definiciones y en cualquier diccionario o enciclopedia podemos encontrar esta estructura. Así mismo, cabe señalar que toda definición es susceptible de adaptaciones y modificaciones, ya que como dice Wittgenstein, *el uso hace al lenguaje* y ello impacta en la forma de definir y redefinir las palabras y términos que utilizamos día a día. Algunas palabras pueden cambiar de referente de acuerdo a la época, región, modas, descubrimientos, entre otros factores, y otras palabras simplemente pueden irse adaptando según los cambios socioculturales. En cualquier caso, se habla de adaptación y modificación en las definiciones.

En geometría, por ejemplo, tenemos las siguientes definiciones del triángulo.

Definición		
Concepto	= Género próximo	+ Diferencia específica
Triángulo	polígono	3 ángulos y 3 lados
triángulo equilátero	polígono	3 ángulos y 3 lados iguales
triángulo isósceles	polígono	2 ángulos y 2 lados iguales

triángulo escaleno	polígono	3 lados desiguales
triángulo rectángulo	polígono	1 ángulo recto

El *concepto* ya formado de cualquier objeto se puede entender como la representación mental de ese objeto asociada a un significante lingüístico. Por ello, en todo proceso de construcción de una definición lo más importante es lograr una asociación libre de ambigüedad. En la tabla anterior se presentan diferentes definiciones del objeto triángulo y cada una de ellas asocia un conjunto de características de acuerdo al tipo de triángulo en cuestión. La definición de cada tipo de triángulo varía de acuerdo a este conjunto de características y aunque pueden dar la impresión de ser absolutas o esencialistas por tratarse de definiciones geométricas, no lo son. Dichas definiciones se establecieron y acordaron de la misma forma que el resto de definiciones no geométricas. Son verdades en la medida que son aceptadas dentro de un marco teórico común pero de ello no se sigue que sean absolutas en el sentido estricto del término. Incluso para un realista y platónico como Brown, la falibilidad está presente hasta en el conocimiento matemático, como un recordatorio de nuestra propia falibilidad.

En los ejemplos de la tabla podemos observar que el género próximo que se ha establecido para el “triángulo” es ser un “polígono” y que su diferencia específica es tener “3 ángulos y 3 lados”. Es decir, cuando tratamos de definir el objeto triángulo, encontramos que la categoría o característica más general y próxima que podemos predicar de él es que es un polígono. Sin embargo, dentro de esta categoría, habría otras figuras geométricas que compartirían el mismo género próximo, por lo que es necesario identificar aquellas características que harían posible distinguir al triángulo de esas otras figuras geométricas. Y la característica que se han establecido para ello, es que éste se distingue del resto de las figuras geométricas por tener 3 ángulos y 3 lados.

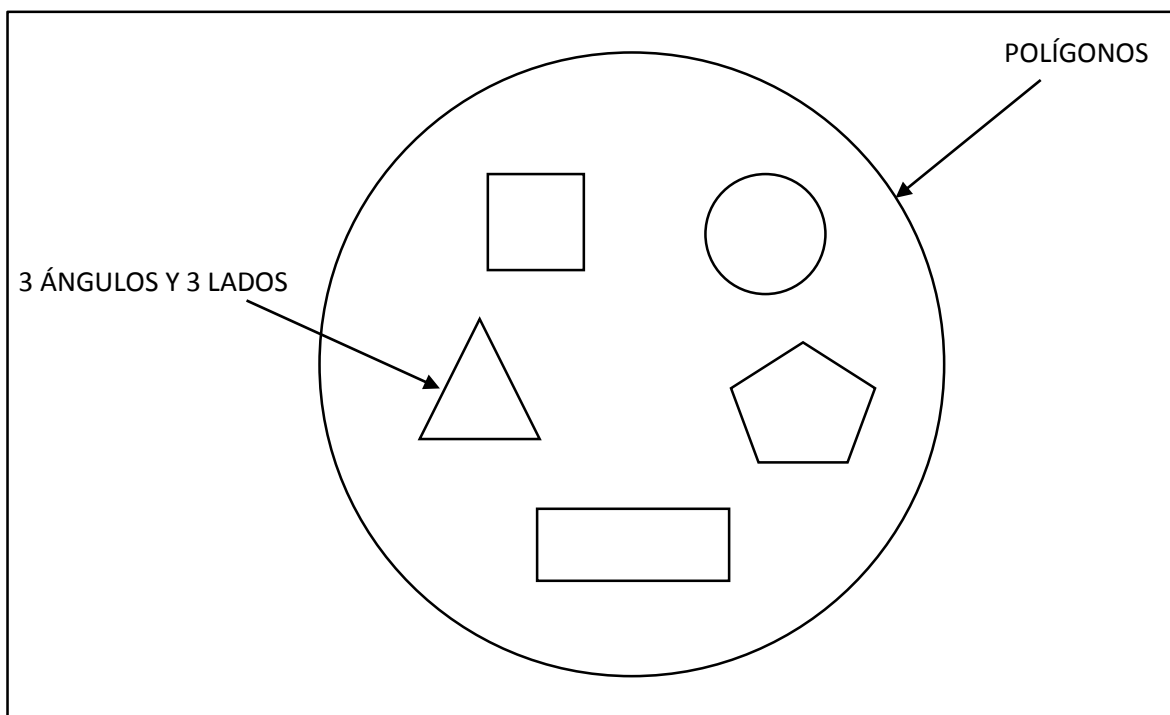


Fig. 2

Dentro del conjunto mayor, a saber, el de los polígonos, hay otras figuras geométricas, como el cuadrado, el círculo, el rectángulo, el pentágono, entre otros²¹. Y cada una de ellas se distingue de las otras figuras, a través de sus diferencias específicas. Esto es, lo que hace al cuadrado ser un cuadrado –al menos como lo hemos definido, aceptado y utilizado- es diferente de lo que hace al círculo ser un círculo y así con el resto de los objetos dentro del conjunto.

Así mismo, dentro del subconjunto de las figuras geométricas que tienen 3 ángulos y 3 lados encontramos una variedad de figuras que cumplen con estas características pero que son diferentes, ya que la disposición de esos 3 ángulos y 3 lados varía. Esto nos presenta los diferentes tipos de triángulos que a su vez podemos encontrar.

²¹ En la figura 2 solamente pusimos algunas figuras geométricas para ilustrar la idea del conjunto.

El “triángulo isósceles” por ejemplo, comparte el mismo género próximo que sus compañeros pero no la distribución de la diferencia específica, es decir, también tiene 3 ángulos y 3 lados pero de esos 3 ángulos y 3 lados solamente 2 ángulos y 2 lados son iguales. Eso es lo que lo hace ser “isósceles”. Y así con el resto de los ejemplos.

Veamos ahora otros ejemplos, en esta ocasión tomaremos objetos cotidianos, con la única intención de ilustrar los dos elementos que componen toda definición.

Definición		
Concepto	= Género próximo	+ Diferencia específica
Silla	mueble	con respaldo, por lo general con cuatro patas y en el que sólo cabe una persona sentada.
Mesa	mueble	compuesto de una tabla horizontal y sostenida a la altura conveniente, generalmente por una o varias patas y para diferentes usos, como escribir, comer, etc.

Cama	mueble	compuesto de un armazón, generalmente con patas, sobre las que se coloca una tabla y encima un colchón, almohadas y diversas ropas, destinado para que las personas se acuesten en él.
------	--------	--

En estos casos el género próximo de los tres ejemplos es el ser “muebles” y las diferencias específicas es lo que nos permite distinguir entre unos y otros. Así mismo, cabe mencionar que las definiciones elegidas y presentadas son las más comunes, sin embargo para cada objeto-palabra hay diversas acepciones según el contexto, la época, la región geográfica, ciertas expresiones coloquiales, entre otros. Sin embargo, ello no cambia la estructura aquí seguida, es decir, aunque haya diferentes acepciones, los dos elementos que conforman la definición se mantienen igual. Más aún, dicha diversidad de acepciones ilustra lo que habíamos señalado previamente en relación al consenso, la aceptación y la significación que establecemos para los objetos a través del lenguaje. Ya sea en las comunidades científicas o en el ámbito sociocultural.

En cualquier caso, se trata de establecer de manera clara el conjunto de características necesarias, aunque quizás no suficientes, para identificar el objeto en cuestión. Y la manera en la que se ha venido haciendo esto es a través del género próximo y las diferencias específicas.

De esta manera, formar un concepto, una definición o una caracterización consiste en determinar los caracteres o atributos genéricos y diferenciales de un objeto físico o abstracto. Este conjunto de características son las que estarán asociadas a dicho

objeto y lo que nos permitirá distinguirlo de otros objetos similares que quizás compartan con éste el mismo género próximo pero no sus diferencias específicas.

En el caso de los experimentos mentales tenemos que analizar cuál es el género próximo que mejor los engloba y cuáles las diferencias específicas que mejor los distinguen. Algunos podrán considerar que éstos caen dentro de la categoría de “experimentos”, sin embargo esto no aportaría nada nuevo a la definición, ya que es redundante. Es como si dijéramos que el género próximo del triángulo isósceles es el ser un “triángulo” en lugar de un “polígono” o una “figura geométrica”. El género próximo debe aportar elementos explicativos que agreguen información a la definición. De lo contrario, estaríamos definiendo de forma analítica el objeto, al menos en lo que respecta al primer elemento de la definición o caracterización.

Hay que considerar entonces un género próximo que enriquezca la caracterización y aporte información que no esté implícita en el objeto que se intenta definir. En el caso del triángulo isósceles el género próximo que se ha establecido -y aceptado- es una categoría que lo engloba y al mismo tiempo aporta información a la definición. De igual manera, se tiene que pensar en un género próximo para los experimentos mentales que no sea redundante, sino que también abone en este mismo sentido.

Imaginemos, por ejemplo, que tenemos dos tipos de mesas, una es redonda y la otra es cuadrada. Diríamos que el género próximo de las dos mesas es el ser “mesas” o el ser “muebles”, Si decimos lo primero, no estaríamos colocando correctamente a estos dos objetos en una categoría genérica mayor, es decir, no estaríamos identificando adecuadamente su género próximo. Es evidente que las dos mesas, la redonda y la cuadrada, son mesas, pero eso no es lo que se está solicitando identificar, sino el conjunto genérico más próximo que contiene a todas las mesas, no importa su forma, textura o color.

El género próximo tiene que evitar la redundancia analítica y aportar elementos explicativos a la definición. En este caso, la categoría “mesas” no es adecuada como

conjunto genérico porque es redundante y no es la categoría más general²² que podemos predicar de todas las mesas. El género más adecuado para estos objetos es el conjunto de los “muebles”, ya que éste logra englobarlas a todos, no importa su forma.

Lo mismo aplica para los experimentos mentales, es necesario pensar en un género próximo que los englobe y aporte al mismo tiempo información a la caracterización, ya que decir que el conjunto genérico que mejor los engloba es la categoría de “experimentos” es caer en lo mismo. Se requiere pues, identificar una categoría no redundante en la que se puedan colocar a todos los experimentos, no importa de qué tipo sean.

Así, en este trabajo de caracterización, propongo como género próximo de los experimentos mentales la categoría de “herramientas metodológicas”, ya que considero que ésta es capaz de contener a todos los tipos de experimentos que hay en la ciencia, ya sean físicos, mentales, virtuales, entre otros. Todos los experimentos son herramientas metodológicas que los científicos utilizan para proceder en sus investigaciones.

Quizás se podría pensar en otros conjuntos genéricos que cumplan con el mismo objetivo, como la categoría de “procesos”, “procedimientos metodológicos”, “estructuras argumentativas”, etc. Y está bien, sin embargo, en esta investigación encuentro que el conjunto genérico más útil es la categoría de “herramientas metodológicas”, ya que ésta me permitirá hacer énfasis en los dos aspectos que considero más importantes de los experimentos mentales, a saber, que constituyen herramientas útiles para investigar y que forman parte de la metodología científica.

De esta manera, la propuesta de caracterización es la siguiente:

²² Con categoría general no me refiero a la categoría más general que podemos predicar, ya que muchos podrían pensar en el conjunto de todos los conjuntos, cosa que no es el caso aquí, sino que con esto me refiero a la categoría más general relevante y pertinente que podemos predicar para este objeto particular, a saber, el objeto mesa.

Concepto = Género próximo + Diferencia específica		
experimento mental	herramienta metodológica	<i>a priori</i> , tiene un carácter modal, implica escenarios contrafácticos, tiene una función heurística, sirve para argumentar en la ciencia, apela a diferentes tipos de posibilidades, involucra el uso de la imaginación, entre otros.

El género próximo que considero engloba los diferentes tipos de experimentos que existen, entre ellos los de tipo mental. Sin embargo, dentro de esta categoría encontraremos varios objetos considerados herramientas metodológicas, así como dentro de la categoría de los “polígonos” o de los “muebles” encontramos diferentes objetos que comparten el género pero no la diferencia específica. En este caso, habría diferentes herramientas metodológicas que los científicos utilizan en sus investigaciones pero sólo una de ellas es el experimento mental. Así que para poder distinguir a éste de los otros tipos de experimentos es necesario identificar su diferencia específica.

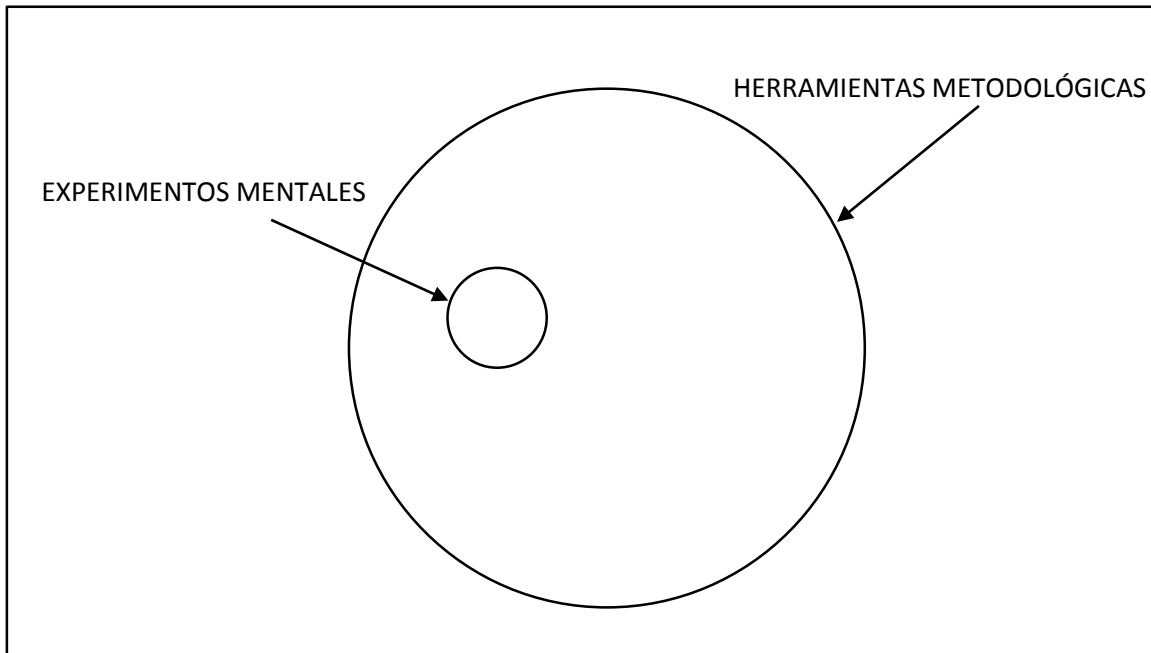


Fig. 3

En esta caracterización, la diferencia específica de los experimentos mentales está conformada por el conjunto de notas que se han presentado como importantes en las diferentes propuestas sobre su naturaleza, de las que destacamos el elemento *a priori*, modal, contrafáctico, heurístico y argumentativo²³, así como el uso de la imaginación y de la posibilidad.

Todas estas notas en conjunto permiten definir de mejor manera a los experimentos mentales del resto de los experimentos que se encuentran en la categoría de herramientas metodológicas; y aunque algunas de éstas características no son exclusivas del experimento mental, porque bien podría considerarse que un experimento físico también tiene una función heurística o argumentativa, el

²³ Las notas distintivas mencionadas son, desde mi punto de vista, el conjunto de características base para construir una caracterización general/aceptable del experimento mental. Hay seguramente otros elementos valiosos e interesantes que se podrían incorporar, como el aspecto narrativo y visual que enfatiza Nancy Nersessian. Sin embargo, para los fines de esta sección, las notas mencionados son suficientes para explicar la caracterización propuesta.

considerarlas todas juntas nos permite distinguir de forma más clara, su naturaleza, es decir, no por separado, sino precisamente en conjunto.

La pluralidad de características que se han trabajado ilustran aspectos importantes de este tipo de experimentos pero es necesario integrarlas para explicar de manera clara la función de los experimentos mentales en la ciencia. Ver pues de manera integral²⁴ esta diversidad de notas permite consolidar una caracterización que contemple los elementos más básicos para así poder identificar adecuadamente qué son los experimentos mentales y qué los hace diferentes de otros tipos de experimentos.

Desde una perspectiva reduccionista, lo anterior no es posible, ya que cada autor pone el énfasis en una sola característica y considera que el resto no es igual de importante o incluso nada importante. Pero si consideramos integrar la riqueza de esta pluralidad, tendremos entonces una caracterización más específica y explicativa en términos aristotélicos.

Incluso aunque el científico o el filósofo utilice los experimentos mentales con una finalidad específica, por ejemplo, para argumentar solamente, esto sólo significaría que está aplicando y enfatizando la importancia de alguna nota distintiva, pero el resto de las notas sigue ahí, conformando una caracterización más rica. Porque es un hecho que algunos utilizan los experimentos mentales con el único objetivo de argumentar a favor o en contra de una determinada hipótesis o teoría, o que otros los utilizan solamente para guiar sus investigaciones (nota heurística), otros para evaluar escenarios hipotéticos y contrastarlos con la realidad (modalidad y contrafactividad), etc., pero eso no significa que la nota en uso sea la única o más importante que las demás. Si bien, algunos autores han resaltado más alguna nota, como James Robert Brown y Roy Sorensen que han puesto el punto de atención en la cualidad *a priori*, eso no hace que el resto de las notas tengan menos valor o que sean menos distintivas. Desde mi consideración, la cualidad *a priori* es una nota base, necesaria pero no suficiente para caracterizar por sí sola la naturaleza de los

²⁴ El pluralismo integrativo de Mitchell (2002) ha sido un referente importante en el desarrollo de esta caracterización.

experimentos mentales y cada nota mencionada enriquece nuestra comprensión de los mismos.

Lo anterior, también puede entenderse con una analogía que un asistente me hizo durante una presentación. Comentó lo siguiente: “la caracterización que estás proponiendo parece una navaja suiza para los experimentos mentales”. Y tiene toda la razón, los experimentos mentales son como una navaja suiza para el científico. El experimento mental es una herramienta metodológica que tiene diferentes características y cada uno de los brazos de la navaja representa una nota distintiva, de tal manera que todas conforman un solo cuerpo. Cuando el científico hace uso de esta herramienta en su investigación no siempre utiliza todos o los mismos brazos, habrá ocasiones en que le sirva más un brazo que otro y ocasiones en que tenga que combinarlos o utilizarlos todos para resolver un problema o explicar un determinado fenómeno.

De esta manera, y a partir del conjunto de notas distintivas, el experimento mental es una especie de herramienta metodológica multiusos, con la que podemos realizar diferentes actividades, como explorar, fortalecer o debilitar hipótesis, identificar inconsistencias, generar explicaciones, argumentar a favor o en contra de una determinada teoría, entre otras; y todo esto gracias a las diferentes notas específicas que posee.

Así mismo, cabe mencionar que la caracterización aquí propuesta no se reduce a la mera integración de notas, sino que su trascendencia va más allá, ya que identificar de esta manera a los experimentos mentales representa una visión distinta sobre su naturaleza, enfocada principalmente en su capacidad de ser herramientas útiles al servicio de la ciencia y, en mostrar, por ende, que los resultados obtenidos en este tipo de experimentos pueden ser significativos para las comunidades científicas pertinentes; sobre todo cuando se procede de manera cuidadosa, en el diseño, ejecución y divulgación de los mismos.

Los experimentos mentales constituyen así, una herramienta fundamental para la investigación científica²⁵ cuando no se puede proceder de manera física y han transformado las prácticas de investigación, sobre todo desde que Galileo los consolidó como una metodología estable y confiable al servicio de la ciencia. Por lo que en el siguiente capítulo analizaremos los factores que influyeron en esta consolidación.

²⁵ Los experimentos mentales se emplean en distintas áreas de estudio, como la física, las matemáticas, la filosofía de la mente, la ética, la epistemología, el derecho, entre otras. Cabe mencionar que en algunas áreas como la física cuántica y la relatividad el papel que han desempeñado ha sido crucial para el planteamiento y el desarrollo de las teorías.

CAPÍTULO 2. LA CONFIGURACIÓN GALILEANA DEL EXPERIMENTO MENTAL

En este capítulo argumentaré que la experimentación mental fue una de las características de la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII y defenderé que la propia experimentación mental se transformó durante este periodo revolucionario gracias a la configuración específica que implementó Galileo.

En la sección 2.1 me enfocaré en mostrar, siguiendo a Koyré, Brown, Cohen, Hooykaas y Pérez-Tamayo, que la experimentación mental aumentó durante la Revolución Científica y defenderé que ésta se consolidó como una herramienta metodológica en la nueva ciencia.

En la sección 2.2 analizaré el proceso de transformación de la experimentación mental, ya que si ésta fue una de las características más importantes de este periodo revolucionario fue precisamente porque ella misma se transformó. El análisis histórico de los autores mencionados en la sección 2.1 resulta útil como punto de partida, pues sitúa a la experimentación mental como una característica general del periodo, pero no da cuenta de su proceso específico de cambio. Por ello, me enfocaré en analizar, en las subsecciones 2.2.1, 2.2.2 y 2.2.3, tres factores que desde mi consideración permitieron que la experimentación mental se transformara y fuese una de las características más importantes de la Revolución Científica: i) la imaginación icónica, ii) la posibilidad física y iii) la contrafacticidad media.

Por último, en la sección 2.3 argumentaré que el estilo de configuración galileano descansa en los tres factores anteriores y defenderé que la aportación más valiosa de Galileo no fue establecer una nueva metodología, sino una nueva configuración para una metodología ya existente, la cual influyó en la proliferación y consolidación del experimento mental como característica y como herramienta metodológica para proceder en la nueva ciencia de los siglos XVI y XVII. En esta misma línea defenderé que, a través de estos tres factores, Galileo cubrió tres aspectos importantes para la experimentación en la nueva ciencia, a saber, a) la búsqueda de imágenes claras

y basadas en los datos de las observaciones, b) apelar a posibilidades físicas donde se respeten las leyes vigentes de la física y c) la realizabilidad si así se decidiera hacerlo. Y que la ausencia de estos tres aspectos es lo que actualmente constituye las principales preocupaciones en torno a la experimentación mental, a saber, a) que son imágenes vagas o ficciones, b) que son construcciones lejanas de poco interés para la ciencia y c) que son irrealizables, no corroborables y por lo tanto poco útiles para la investigación.

2.1 El experimento mental como característica de la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII

El periodo de la Revolución Científica²⁶ de los siglos XVI y XVII fue un periodo de grandes cambios y transformaciones para los experimentos mentales. Para Alexander Koyré (1968) y James Robert Brown (1986) la experimentación mental proliferó durante este periodo y la experimentación empírica, que caracterizaba la manera tradicional de investigación científica, disminuyó considerablemente.

Para Koyré la matematización de la naturaleza y el pensamiento teórico (*a priori*) son las dos características más importantes de la Revolución Científica. Si bien, la mayoría de los historiadores concuerdan con el primer elemento, no lo hacen con el segundo, ya sea por considerar que la experimentación física se incrementó en el mismo grado que la experimentación mental (pensamiento teórico) o por considerar incluso que fue al revés. En cualquier caso, la matematización de la naturaleza es sin duda una de las características más aceptadas de este periodo; quizás ayuda el

²⁶ En este trabajo consideramos, al igual que Koyré, que las divisiones de la historia no son tajantes; hay una continuidad pero también una discontinuidad que permite visualizar el desarrollo y transformación de la ciencia.

que Galileo Galilei haya escrito en *Il Saggiatore* que la naturaleza o filosofía natural, como se le conocía hasta mediados del siglo XIX, está escrita en lenguaje matemático:

La filosofía está escrita en ese grandísimo libro que tenemos abierto ante los ojos, quiero decir, el universo, pero no se puede entender si antes no se aprende a entender la lengua, a conocer los caracteres en los que está escrito. Está escrito en lengua matemática y sus caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin los cuales es imposible entender ni una palabra; sin ellos es como girar vanamente en un oscuro laberinto.

(Galileo, 1981 [1623], p. 63)

La matematización de la naturaleza se presenta como una característica sólida e influye en las formas de investigación y producción de explicaciones científicas, mientras que el incremento del pensamiento *a priori* se ve con cierto escepticismo. Esto se debe quizás a que en las reconstrucciones históricas de la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII sólo se señala que la “experimentación” fue indudablemente un elemento fundamental, pero en la mayoría de los casos no se especifica a qué tipo de experimentación se refieren. Parecería natural asumir que si no se especifica nada es porque el tipo de experimentación de la que se habla es de la física, ya que en repetidas ocasiones se ha enfatizado que la Revolución Científica representó un intento de superar a Aristóteles y en general a la Antigüedad; y si algo se considera que caracterizó a la Antigüedad es la lectura dogmática de los clásicos, las explicaciones sobrenaturales de la realidad y la escasez de la experimentación física rigurosa. Por ello, tal vez resulta lógico suponer para algunos que el tipo de experimentación que proliferó en los siglos XVI y XVII fue de tipo física. Sin embargo, esta interpretación no es la única y la ambigüedad en la generalización no constituye razón suficiente para asumir que el único tipo de experimentación referida es de tipo física.

De acuerdo con Alexander Koyré (1968), James Robert Brown (1986), Bernard Cohen (1985) y Reijer Hooykaas (1987), entre otros, el tipo de experimentación que aumentó durante el periodo de la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII fue la experimentación mental. Y basta con voltear a ver las obras de Galileo para identificar que hubo una proliferación significativa en este ámbito. Lo anterior no implica, en ningún sentido, que la experimentación física se dejara de lado, sino que lo que se busca señalar, en todo caso, es que la experimentación mental también aumentó y que ello caracterizó el ámbito metodológico de este periodo.

Bernard Cohen considera, por ejemplo, que fue la combinación de las matemáticas con el experimento mental lo que constituyó la base del nuevo método de la ciencia (Cohen, 1985, p. 146-147). Quizás por eso, la idea del platonismo no resulta tan descabellada para algunos, ya que las matemáticas constituyen la base para la creación de la ciencia de la naturaleza. El mismo Brown sostiene una postura platónica sobre los experimentos mentales, al considerar que a través de éstos podemos tener conocimiento sobre las entidades abstractas, como los objetos matemáticos o las leyes de la naturaleza (Brown, 2004, p. 34). Incluso Koyré ha afirmado un platonismo en Galileo, al considerar que su física es una geometría del movimiento *a priori* regida por las matemáticas y no por el sentido común como en Aristóteles. Desde esta perspectiva la física de Galileo es un retorno a Platón por oposición a Aristóteles. Y al igual que en el platonismo de Brown, se destaca el papel de las matemáticas en la construcción y desarrollo de la ciencia misma.

De esta manera, la matematización de la ciencia y la experimentación mental se presentan como la nueva forma de proceder e investigar en la ciencia. Incluso Koyré va más allá al afirmar que la metodología *a priori* no sólo es la nueva forma de investigar, sino que *la buena física se hace a priori* (Koyré, 1968, p. 68), haciendo referencia a la nueva física y metodología de Galileo. La experimentación mental se presenta como una vía distinta de proceder y producir conocimiento y muestra -en palabras de Koyré- la dimensión sintética *a priori* de la ciencia.

Reijer Hooykaas también señala la importancia y presencia de la experimentación artificial²⁷ en la Revolución Científica y afirma que la ciencia de este periodo se caracterizó por cuatro cosas: i) la autoridad máxima de la naturaleza; ii) se prioriza no sólo la observación directa, sino también la experimentación artificial; iii) se favorecen las explicaciones mecanicistas; y iv) se insiste en los datos cuantitativos, siempre que sea posible (Cfr. Hooykaas, 1987, pp. 453-473).

La experimentación artificial o mental surge nuevamente como una característica importante de este periodo revolucionario y aunque Hooykaas no enfatiza si ésta proliferó más que la experimentación física, señala claramente su importancia en la nueva ciencia.

Cabe mencionar que de las cuatro características, i) la autoridad de la naturaleza y iv) la cuantificación de los datos, pudieron haber favorecido aún más el florecimiento de la metodología experimental *a priori*, propiciando con ello -y en conjunto- que la construcción de experimentos mentales fuese más significativa para la ciencia.

Las observaciones directas de la naturaleza se presentaron como la materia prima para la experimentación artificial y como el criterio para contrastar los resultados obtenidos. En otras palabras, se presentaron como el punto de partida y el punto de corroboración y mientras se conserva esta relación difícilmente se divagaría en construcciones poco reales.

Queda claro, que la nueva ciencia de los siglos XVI y XVII no sólo se caracterizó por abandonar los conceptos antiguos, las explicaciones metafísicas de la naturaleza e introducir nuevas ideas sobre la estructura y el funcionamiento del universo, sino por transformar y enriquecer los procedimientos metodológicos tradicionalmente aceptados.

Así mismo, el historiador Hendrik Floris considera que otras dos características clave de este periodo fueron las abstracciones e idealizaciones:

²⁷ Hooykaas utiliza el término “artificial” en lugar del término “mental”. Por lo que hay que entender que con el primero está haciendo referencia a la experimentación mental por oposición a la experimentación física.

La transformación que surgió alrededor del año 1600 nos parece que siguió más o menos la siguiente secuencia: la reforma de Copérnico a la solución de Ptolomeo al problema de los planetas, surgida de la necesidad de restaurar su armonía perdida; la aceptación por Kepler y Galileo del núcleo central de la reforma; la elaboración de este núcleo en una física matemática de los cielos; la matematización de la caída libre de los cuerpos y del movimiento de los proyectiles como medios accesibles para eliminar las objeciones de otro modo insuperables al centro realista del copernicanismo; y a partir de ahí, el desarrollo del concepto nuevo de la inercia del movimiento en una atmósfera abstracta e idealizada, unida al dominio del empirismo a través del puente artificial del experimento.

(Floris, citado en Pérez Tamayo, 2012 p. 85)

El uso de las matemáticas, las abstracciones, idealizaciones y el puente artificial del experimento aparecen como parte de la explicación del desarrollo de la Revolución Científica.

Ruy Pérez Tamayo también afirma que tanto la matematización como la experimentación mental fueron pilares en el desarrollo de este periodo y que ello implicó nuevas formas de generar conocimiento (Pérez Tamayo, 2012, p. 138). Los experimentos mentales se ganaron un lugar en la metodología de la nueva ciencia²⁸

²⁸ De acuerdo con el análisis de Pérez Tamayo, Duhem pone el nacimiento de la nueva ciencia mucho antes: "Si tuviéramos que asignarle una fecha al nacimiento de la ciencia moderna, sin duda escogeríamos el año 1277, cuando el obispo de París declaró solemnemente que podían existir varios mundos y que la totalidad de las esferas celestes podían, sin contradicción, moverse en forma rectilínea". (Duhem citado en: Pérez Tamayo, 2012; 50-51). Algunos se preguntarán si lo anterior constituye evidencia a favor de los experimentos mentales, yo considero que con la posibilidad de los mundos posibles, viene la posibilidad de los experimentos mentales, ya que a través de éstos estructuramos e imaginamos esos escenarios hipotéticos y subjuntivos. Sin embargo, de acuerdo con nuestra investigación fue durante el periodo de la Revolución Científica que los experimentos mentales se afianzaron como herramientas metodológicas. Lo anterior, no significa que antes de este periodo la experimentación mental no existiese, sino simplemente que fue durante los siglos XVI y XVII que se consolidaron en la metodología de la ciencia.

y representaron una forma diferente de razonamiento, exploración de hipótesis y argumentación.

De acuerdo con lo visto anteriormente, son varias las características que se han presentado para describir y analizar el periodo de la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII y como pudimos observar, la experimentación mental es una característica recurrente y un elemento fundamental de la nueva ciencia. Sin embargo, esta visión sólo nos permite ver el panorama general de la época y entender el ambiente en el que la experimentación mental floreció y se afianzó como parte constitutiva de la metodología de la ciencia, pero no muestra el proceso de transformación del propio experimento mental.

La experimentación mental como característica de la Revolución Científica y la proliferación que mencionan Koyré y Brown, sólo muestran un resultado y un cambio en la metodología general de la ciencia pero no dan cuenta del proceso específico que llevó a dicho resultado, esto es, del proceso de configuración del propio experimento mental. Por ello, para entender las razones que propiciaron dicho aumento y consolidación es necesario identificar y analizar los factores específicos de ese proceso de transformación. En otras palabras, así como hay diferentes elementos que caracterizan a la Revolución Científica, tenemos que identificar ahora los elementos que caracterizaron a la experimentación mental *per se*. Sólo así, podremos analizar la configuración concreta y mostrar que su proliferación y consolidación metodológica fue precisamente el resultado de esa nueva configuración.

2.2 Factores específicos del proceso de transformación del experimento mental

El periodo de la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII fue un parteaguas para la experimentación mental y la atmósfera que se ha mencionado de abstracciones, idealizaciones, matematización de la naturaleza, cuantificación de datos, entre otros, aporta elementos fundamentales para entender los aspectos que propiciaron un clima favorable para los nuevos cambios y transformaciones. Pero como ya vimos, estos elementos no dan cuenta de lo que cambió de manera específica en la experimentación mental. Por ello, me enfocaré ahora en analizar los factores concretos que influyeron en este proceso de cambio, el cual tuvo como resultado el aumento y aceptación metodológica del experimento mental; y para esto me centraré en Galileo Galilei, una figura emblemática de ese periodo y el cual encarna la nueva forma de proceder e investigar en la ciencia.

Analizar la configuración que Galileo implementó me permitirá identificar los elementos que pudieron haber influido en el proceso de consolidación del experimento mental, ya que si los científicos comenzaron a utilizar cada vez más la experimentación mental en sus investigaciones, y estandarizaron con ello una forma distinta para proceder y argumentar en la ciencia, fue precisamente porque la experimentación mental se reconfiguró. Así mismo, las aportaciones de Galileo en materia de experimentos mentales son bastas y bien registradas, por lo que hay material suficiente para llevar a cabo el análisis propuesto.

Ahora, los elementos que conforman la configuración galileana son tres: i) la imaginación icónica, ii) la contrafacticidad media y iii) la posibilidad física. Éstos tres elementos le permitieron a Galileo construir experimentos mentales exitosos y al mismo tiempo influir positivamente en la percepción de la comunidad científica de la época.

En los tres apartados siguientes describiremos cada uno de estos elementos para poder explicar, después, de qué manera influyeron en este proceso de transformación, proliferación y consolidación; y así poder reflexionar cómo a partir

de esto se puede hablar de una configuración galileana para los experimentos mentales, muy aceptada en el área de la física, e identificar algunos criterios que puedan guiarnos en la construcción de experimentos mentales relevantes y significativos para la ciencia actual.

2.2.1 La imaginación icónica

Gerald Holton en el texto *La imaginación científica* realiza una investigación sobre los diferentes tipos de imaginación utilizados en la ciencia, por lo que su trabajo resulta muy significativo para poder analizar uno de los factores que influyeron, desde mi punto de vista, en la transformación y consolidación de los experimentos mentales. Se trata, utilizando la terminología de Holton, de la imaginación icónica. Pero antes de explicar en qué consiste este tipo de imaginación, veamos la concepción que presenta Holton sobre la ciencia, para así entender en qué momento se presenta la imaginación científica y el papel que juega en la ciencia.

Holton comienza su análisis distinguiendo, dos niveles en la ciencia, el primero lo denomina la “esfera subjetiva” *S1*, donde los prejuicios, preferencias y las emociones juegan un papel esencial; mientras que el segundo, llamado “esfera objetiva” *S2*, se refiere a la ciencia como conjunto general, público e institucional. Holton afirma que aunque *S1* no es públicamente aceptada, su función para la construcción de *S2* es fundamental.²⁹ En la esfera *S1* (eje *Z*) se encuentra la imaginación científica y por ende la experimentación mental, así como los presupuestos, temas históricos, intereses personales, prejuicios, emociones, preferencias, nociones, términos, decisiones metodológicas, etc., del científico. En

²⁹ La imaginación científica la encontraremos en la esfera subjetiva *S1*.

cambio, en la esfera S2 se encuentran los conceptos y proposiciones científicas que tienen aplicabilidad empírica (eje X) y analítica (eje Y) (Holton, 1985, p. 11).

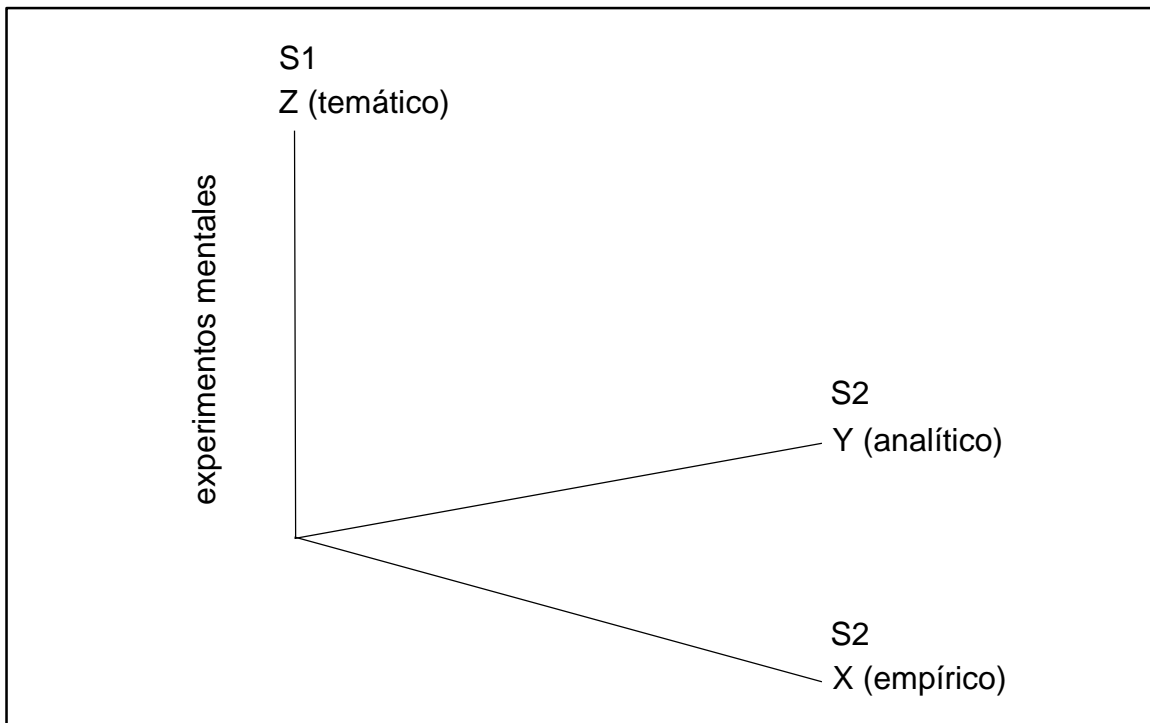


Fig. 4

En la figura anterior podemos observar los tres planos (X, Y, Z) que para Holton conforman a la ciencia. Ésta se presenta como una actividad integrada por un aspecto subjetivo (S1) y por un aspecto público (S2), donde confluyen los tres ejes. El papel de la imaginación es indispensable en la construcción de teorías y en el establecimiento de nuevos objetos de estudio, sin embargo, igual que con S1 no se acepta tan fácilmente su utilidad ni se reconoce su rol en la ciencia.³⁰

Ahora, Holton distingue cuatro tipos de imaginación: visual, icónica, metafórica y temática. La imaginación visual, podría decirse que es la más básica de todas ya que nos permite configurar mentalmente un objeto sin tanto detalle visual, este tipo de imaginación es útil para poder imaginar, configurar y establecer de manera general la existencia de entidades y objetos de interés para la ciencia. Holton

³⁰ Por ello, uno de los objetivos de Holton es reivindicar el papel de la imaginación en la actividad científica.

considera que este tipo de imaginación es útil para imaginar entidades difíciles de observar y sobre las cuales tenemos pocos datos. Por ejemplo, el caso del éter en la física:

[...] el esquivo éter parecía una base necesaria para entender la propagación de la luz, constituida por ondas electromagnéticas transversales; pero, con el fin de reproducir los movimientos supuestos dentro de ese éter, hubo que inventar modelos mecánicos todavía más fantásticos -que dieron lugar a ejemplos de modelos en movimiento en el éter [...]

(Holton, 1992, p. 73)

Postular la existencia del éter exigía imaginar cómo era el éter y de qué manera se comportaba. Y la imaginación visual fue de gran ayuda en este sentido, ya que permitió imaginar, a partir de la observación del comportamiento de la luz, modelos para poder explicar al éter como medio para su propagación. Incluso aunque se descartara después.

Otro ejemplo es el caso de los átomos. La imaginación visual fue útil para poder desarrollar los primeros modelos de explicación. Por ejemplo, el primer modelo atómico fue desarrollado por Demócrito y Leucipo (450 a. C) y consideraban que los átomos eran las partículas más pequeñas del universo, eternas e indivisibles; y como eran tan pequeñas eran imperceptibles para los sentidos. Por lo que este modelo atómico fue desarrollado a partir del pensamiento lógico y de acuerdo con las cualidades que se le atribuían a la materia: eternidad e inmutabilidad. En los siguientes modelos atómicos³¹ también se hace uso de la imaginación visual,

³¹ El modelo atómico de Dalton (1803) describía a los átomos como esferas sólidas, compactas e indivisibles, con la misma masa y propiedades. En el modelo de Thompson (1901) los átomos tenían forma de budín de pasas, el átomo se consideraba como una esfera con carga positiva y los electrones con carga negativa se encontraban distribuidos en cantidad suficiente para neutralizar la carga. Thompson fue el primero en incorporar la figura del electrón al modelo de explicación del átomo, después vino el modelo de Rutherford (1911), el cual explicaba de mejor manera la localización de la carga positiva dentro del átomo; mientras que Thompson consideraba que la carga

aunque cada vez en menor grado, gracias a las observaciones y datos que los avances tecnológicos fueron permitiendo.

En cualquier caso, la imaginación visual constituye un recurso útil para el desarrollo de los modelos de explicación y es importante aclarar que este tipo de imaginación no es mera fantasía. Cuando los científicos cuentan con pocos datos e información, emplean este tipo de imaginación para visualizar mentalmente las posibles cualidades de los objetos y entidades que son de interés para la ciencia. Cuando el científico postula la existencia de ciertas entidades pero no tiene observaciones claras ni los datos suficientes para mostrarlo, hace uso de este tipo de imaginación, precisamente para poder explorar sus hipótesis e intuiciones respecto a dicho objeto. Imaginar entidades que no son visibles puede resultar una locura para algunos, pero la historia de la física tiene varios ejemplos de este proceder; y aunque la imaginación visual no es la imaginación ideal o final de la ciencia, es el tipo de imaginación al que se recurre cuando no se tiene nada más, precisamente para poder continuar la investigación y generar el material necesario para poder demostrar lo que en un principio no era visible.

En el caso de los modelos atómicos, éstos resultaron ser cada vez más insuficientes para explicar la naturaleza del átomo, su comportamiento y las nuevas propiedades de la materia eléctrica y química; pero sin estos primeros modelos atómicos, por más burdos y fantasiosos que nos parezcan ahora, el desarrollo de los modelos atómicos actuales hubiese sido difícil (Cfr. Holton, 1992). De esta manera, desarrollar modelos de explicación es deseable y cuando no se tiene mucho material ni datos para hacerlo, la imaginación visual puede ser un recurso útil.

positiva se encontraba distribuida en el átomo, Rutherford sugirió que la carga positiva se encontraba en el centro. El modelo de Rutherford tiene la forma del sistema solar, los electrones giran alrededor del núcleo del átomo como los planetas giran alrededor del sol. El siguiente modelo fue el de Bohr (1913) que incorpora las órbitas circulares, los electrones giran alrededor del núcleo en órbitas estables y absorben o liberan energía cuanto cambian de órbita o cuando se salen de ellas. El modelo atómico de Sommerfeld (1916) estableció que las ondas eran elípticas, más completas y que a partir del segundo nivel energético hay subniveles. Y Schrödinger (1926) por ejemplo, propone un modelo cuántico que establece la existencia de los orbitales, los cuales son regiones del espacio donde es probable encontrar a un electrón.

Por otro lado, la imaginación icónica es un tipo de imaginación más compleja. A través de ésta podemos formar imágenes mentales más satisfactorias y transformar percepciones vagas en conocimiento sólido (Cfr. Holton, 1992). De acuerdo con Holton, este es el tipo de imaginación que utilizaba Galileo; por ejemplo, en sus investigaciones sobre la Luna.

Para ejemplificar este tipo de imaginación seguiré el análisis que hace el historiador Samuel Edgerton sobre las observaciones de la luna que realizaron Galileo Galilei y Thomas Harriot; y que Holton también retoma.

En 1609 Galileo era profesor de matemáticas en la Universidad de Padua y Thomas Harriot era un matemático, cartógrafo y astrónomo que trabajaba en Londres. Ambos comenzaron a observar la Luna desde finales de ese año; Galileo había aprendido por su cuenta a pulir lentes y fabricó un telescopio de 20 aumentos, mientras que Harriot operaba con un telescopio de 6 aumentos.

Como es bien sabido, desde la época de Aristóteles se consideraba que la Luna era una esfera perfectamente lisa, uniforme e incorruptible. Sin embargo, en las observaciones de Galileo y Harriot algunas áreas de la Luna eran más oscuras que otras, lo cual parecía contradecir la idea de que la Luna era uniforme:

[...] la superficie de la Luna no es alisada, uniforme y de esfericidad exactísima, tal como la inmensa mayoría de filósofos opinó de la misma y de los restantes cuerpos celestes, sino al contrario: desigual, arrugada, y llena de huecos y protuberancias, absolutamente como la faz de la Tierra, en la que se distinguen aquí y allá las cumbres de los montes y las profundidades de los valles.

(Galileo, 2010 [1610], p. 48)

Si la Luna fuera perfectamente lisa como un espejo, se esperaría que en algún momento reflejara la imagen del sol sobre su superficie pero no era así y las hipótesis *ad hoc* comenzaron a surgir para hacer frente a esos problemas.

De acuerdo con Edgerton, a Harriot le resulta difícil cuestionar las teorías de la época sobre la perfección de la Luna y, a pesar de observar anomalías en la superficie, no comenta nada. Galileo también observa las mismas anomalías, ve que las líneas del límite de iluminación se fracturan y si la Luna fuera perfectamente lisa y uniforme, las líneas tendrían que ser perfectamente curvas:

Al cuarto o quinto día después de la conjunción, cuando la Luna se nos muestra con sus espléndidos cuernos, el linde que separa la parte oscura de la luminosa no se alarga uniformemente según una línea oval, como sucedería en un sólido perfectamente esférico, sino que se delimita con una línea desigual, arrugada y absolutamente sinuosa, tal como se representa en la figura adjunta [...]

(Galileo, 2010 [1610], pp. 48-49)

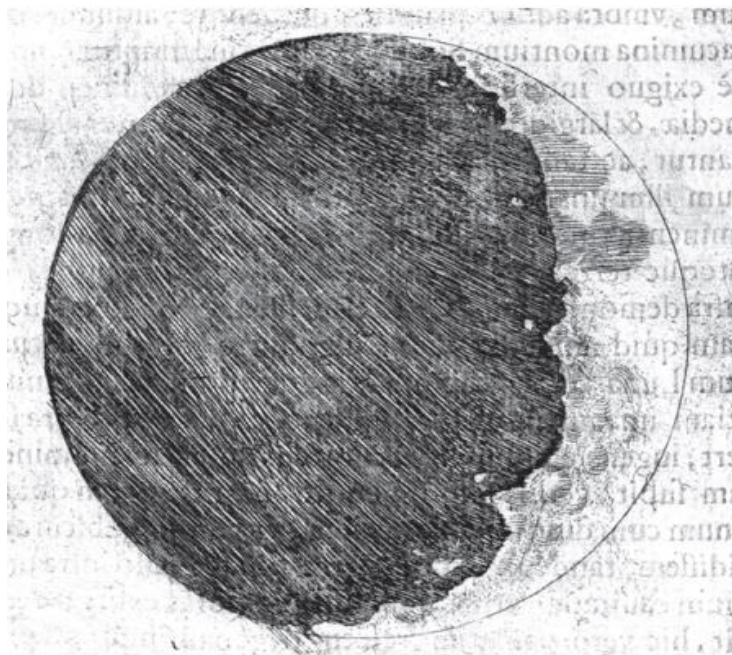


Fig. 5 Dibujo de la Luna hecho por Galileo para mostrar las irregularidades en su superficie.³²

³² Los recursos didácticos de Galileo son bien conocidos, podemos encontrar diversos diagramas y dibujos en todas sus obras. Éste y otros dibujos de la Luna se encuentran en el *Sidereus Nuncius*, en la versión que aquí utilizo en las páginas 49, 52, 53, 53.

Para Galileo no hay mayor problema en ver que estas irregularidades se tratan de montañas y cráteres. Y afirma, en contra de la concepción aristotélica, que la Luna *de ninguna manera está cubierta por una superficie lisa y pulida, sino áspera y desigual; y que a semejanza de la faz de la propia Tierra se encuentra llena de grandes protuberancias, profundas lagunas y anfractuosidades* (Galileo, 2010 [1610], p. 44).

Después de esto, el propio Harriot volvió a observar la Luna y en sus nuevos dibujos aparecen ya montañas y cráteres, incluso más que en los bosquejos de Galileo. Y es interesante cómo Holton hace énfasis en esta parte, ya que el objetivo, al retomar este análisis comparativo entre Galileo y Harriot, no era solamente ejemplificar el uso de la imaginación icónica en Galileo, sino mostrar el poder de transformación que este tipo de imaginación puede llegar a tener. En ambos casos la posibilidad de la imaginación icónica estaba presente pero sólo Galileo la implementó al darle seguimiento a sus observaciones e interpretar las irregularidades que veía como depresiones y protuberancias en la superficie; las observaciones fueron el punto de partida y la imaginación icónica la vía para proyectar e imaginar las posibles explicaciones de dichas irregularidades.

Esta manera de imaginar en Galileo conecta también con la abducción peirceana.³³ Galileo imagina posibles hipótesis explicativas para las irregularidades que ve y haciendo uso de la información y el conocimiento previo que tiene, explica esas anomalías que observa en la superficie Lunar. Edgerton y Holton destacan los conocimientos que Galileo tenía sobre el diseño, el dibujo, la geometría y el arte:

³³ La abducción es una forma de razonamiento que engloba tres aspectos importantes: debe ser explicativa, corroborable y económica. La abducción debe poder dar cuenta del hecho observado, es decir, debe explicar los hechos. Así mismo, la hipótesis explicativa debe ser capaz de poder ser corroborada, aunque ésta no se limita a la corroboración empírica. Y finalmente, el criterio de economía permite elegir la hipótesis, de un conjunto innumerable de posibles hipótesis explicativas, que mejor explique el hecho observado dada la evidencia disponible. Ver Peirce, C. S. (1958), *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*. Volumes 1–6 edited by C. Hartshorne, P. Weiss, Cambridge, Harvard University Press, 1931–1935; and volumes 7–8 edited by A.W. Burks. Cambridge, Harvard University Press. 1958 y Aliseda (2006F), *Abductive Reasoning. Logical Investigations into Discovery and Explanation*, (eds.) Vincent F. Hendricks, John Symons, Jaakko Hintikka [et. al.], Synthese Library: Studies in Epistemology, Logic, Methodology, and Philosophy of Science, vol. 330, Springer.

[...] en la Italia de Galileo, la pintura del Renacimiento había captado a los intelectuales en estado de alerta. Bajo el reinado de Cosimo I de Florencia, Vasari había fundado la gran Academia de Diseño en 1562, un centro de artes visuales y arquitectura a beneficio de todos, no solamente de los profesionales. No es casualidad que cuando Galileo solicitó su primer empleo a la edad de veinticinco años, fuera para cubrir el puesto de profesor de matemáticas en esa Academia, para enseñar geometría y perspectiva, y en 1613 llegó a ser elegido miembro de tan distinguida Academia.

(Holton, 1992, pp. 10-11)

Para Edgerton y Holton la formación artística de Galileo influyó en la manera de interpretar lo que observaba. Ya que una formación en perspectiva y geometría indica que Galileo estaba familiarizado con las sombras que proyectan los cuerpos y con la manera de traducirlas de acuerdo a las superficies. Así mismo, afirman que *el arte de la perspectiva y del claroscuro eran herramientas y habilidades que Galileo había aprendido en su juventud* (Holton, 1992, p. 11).

Los conocimientos y la formación previa de Galileo fueron elementos clave para que interpretara las irregularidades como lo hizo sin mayor problema y seguro que esa era la hipótesis explicativa más plausible, dada la evidencia disponible y los conocimientos previos. Ningún otro científico había sugerido semejante explicación, Harriot no se atrevió a cuestionar la concepción aristotélica -y probablemente no tenía la misma formación en perspectiva y diseño que Galileo- y el resto de las explicaciones sólo buscaban salvar a la concepción antigua. Las manchas en la Luna fueron explicadas de diferentes maneras, de acuerdo con Edgerton y Holton, hubo quien dijo que la superficie de la Luna era translúcida y, como si fuera de alabastro, devolvía la luz de una manera difusa, dejando entrever los diferentes materiales interiores (Holton, 1992, p. 8).

La imaginación icónica y el razonamiento abductivo son recursos metodológicos que Galileo implementó en sus investigaciones. Esto muestra que la imaginación

científica guiada y basada en las observaciones y experimentos constituye una forma valiosa para la exploración de hipótesis y para producir modelos explicativos. La metodología de Galileo es una metodología fuerte y estable, precisamente porque combina el pensamiento teórico con los datos duros que obtiene a partir de sus observaciones; no utiliza la imaginación ni el razonamiento abductivo para producir quimeras explicativas, sino para buscar explicaciones consistentes con las observaciones y experimentos que realiza, esto es lo que hace de la metodología de Galileo un método estable y fructífero.

La imaginación icónica es un recurso útil para producir hipótesis explicativas pero hay que tener cuidado en no caer en el juego libre de imaginación. Los datos, experimentos, observaciones y conocimiento previo deben guiarnos en la búsqueda de explicaciones coherentes y consistentes, sólo así se pueden construir mejores teorías que expliquen de manera más satisfactoria el universo.

Ernan McMullin (1985) también reconoce la destreza de Galileo para investigar y producir explicaciones en la ciencia. En *Galilean Idealization* analiza diferentes tipos de idealizaciones y afirma que las idealizaciones galileanas se caracterizan por imponer “artificialidad” (falsedad, distorsión, ficción). De acuerdo con McMullin, hay cuatro tipos de idealizaciones:

- a) Idealización formal: es una técnica epistémica muy utilizada en matemáticas; en este sentido se trata de una idealización que consiste, a su vez, en imponer un formalismo matemático a una situación física, con la esperanza de que esa situación nos pueda llevar a una representación matemática. La idealización matemática ha funcionado muy bien en las ciencias naturales.
- b) Idealización material: es una especie de analogía con la noción de “causa material” de Aristóteles. La causa material no funciona activamente en la explicación, así los modelos teóricos son construcciones que funcionan como el “material” que los científicos tienen para trabajar y en este sentido son la “causa material”.

- c) Idealización causal: consiste en simplificar, mediante la eliminación, las líneas causales que impiden o complican la acción de los factores que deseamos resolver.
- d) Idealización subjuntiva: tienen un carácter especial que adopta la forma “¿qué pasaría si?”. La técnica de los experimentos mentales implica una construcción del tipo “Qué-si” (*What-if*) en dos sentidos: el experimento “puede” ser fácilmente llevado a cabo de manera física o el experimento sólo puede ser llevado a cabo en el pensamiento. Ambos tipos de experimentos fueron puestos en práctica por Galileo.

Para McMullin, la idealización formal y la material son dos aspectos de una única técnica utilizada por los científicos y éstas implican un sentido fuerte de verdad muy cercana a la del realismo científico. En cambio, las idealizaciones subjuntivas no implican lo anterior y son utilizadas más bien en los procesos mentales. Por lo que se podría decir que este tipo de idealizaciones prescinden de los detalles de la experimentación concreta.

Los experimentos mentales implican idealizaciones subjuntivas y de acuerdo con McMullin, este tipo de idealización era la que Galileo utilizaba en sus investigaciones, al construir escenarios hipotéticos para evaluar hipótesis y teorías (Cfr. McMullin, 1985).

Continuando con los tipos de imaginación científica que Holton presenta, la imaginación metafórica, a diferencia de la imaginación visual e icónica, se caracteriza por el uso de metáforas y analogías. Este es el tipo de imaginación menos aceptada en la ciencia, ya que se considera que su área es más bien la literatura y la poesía; no obstante, existen casos como el de Thomas Young³⁴ y la analogía que propuso entre la luz y el sonido.

Pero aún más arriesgada es la imaginación temática, ya que consiste en dejar que los presupuestos del científico actúen tranquilamente durante un tiempo como guía

³⁴ El experimento de la doble rendija, se encuentra en Young, Thomas, *A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts*, J. Johnson, London, 1807.

de su propia investigación cuando todavía no hay pruebas suficientes de dichos presupuestos y en ocasiones incluso frente a la evidencia aparentemente contrapuesta (Holton, 1992, pp. 6, 9, 20).

De acuerdo con Holton, la imaginación temática es muy común en el proceder de los científicos, los cuales dejan que su investigación continúe y madure a partir de una idea improbable y en ocasiones son ellos mismos quienes se encargan de evitar que pueda ser destruida por otros (Holton, 1992, p. 20). Este tipo de imaginación constituye el núcleo de la propuesta de Holton y la encuentro muy cercana a las interpretaciones naturales que propone Feyerabend (1974).

Es importante señalar que para Holton estos cuatro tipos de imaginación, visual, icónica, metafórica y temática, son propios de la fase inicial de la investigación científica y deja claro en todo momento la importancia de la verificación experimental, y de conectar la imaginación, sea cuál sea su tipo, con la fase empírica y analítica de la ciencia (X-Y). Es imperativo integrar los tres planos de la actividad científica (X-Y-Z).

Ahora, de los cuatro tipos de imaginación científica, la imaginación icónica es la que resulta útil para poder explicar la transformación y consolidación de la experimentación mental durante el periodo de la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII. Como ya vimos, para Holton este es el tipo de imaginación que utilizaba Galileo en sus procedimientos, como en sus observaciones de la Luna cuando éste interpretaba las irregularidades de la superficie (debido al límite de la iluminación) como si se tratasen de montañas y cráteres. La imaginación icónica ayudó a Galileo a configurar imágenes mentales más detalladas a partir de imágenes poco nítidas o difusas y al mismo tiempo le proporcionó los elementos necesarios para afirmar - en contra de la concepción filosófica de la época³⁵- que la Luna no es lisa, ni uniforme ni exactamente esférica, sino irregular y llena de cavidades y prominencias.

³⁵ Como vimos, la concepción tradicional de la época era la de Aristóteles, quien afirmaba que la superficie de la luna era lisa y perfecta. De acuerdo al análisis de Holton, podemos asumir/suponer que el tipo de imaginación utilizada por Aristóteles, era visual en contraste con la icónica en Galileo.

La imaginación icónica comenzó a implementarse en la experimentación mental, gracias al aumento de los datos más exactos que los avances tecnológicos permitían, así como la utilización de otros recursos como los diagramas abstractos y geométricos. Galileo y sus contemporáneos comenzaron a utilizar la imaginación icónica en sus investigaciones y ello impactó directamente en los procesos de visualización, haciéndolos cada vez más complejos y satisfactorios.

Albert Einstein habla también de algo muy similar a la imaginación icónica, se trata de la imaginación constructiva. Al igual que Holton, considera que el papel de la imaginación es fundamental en la construcción de teorías³⁶, ya que a través de ésta y de la intuición es posible transitar del plano de las experiencias sensoriales (*E*) al plano axiomático (*A*).

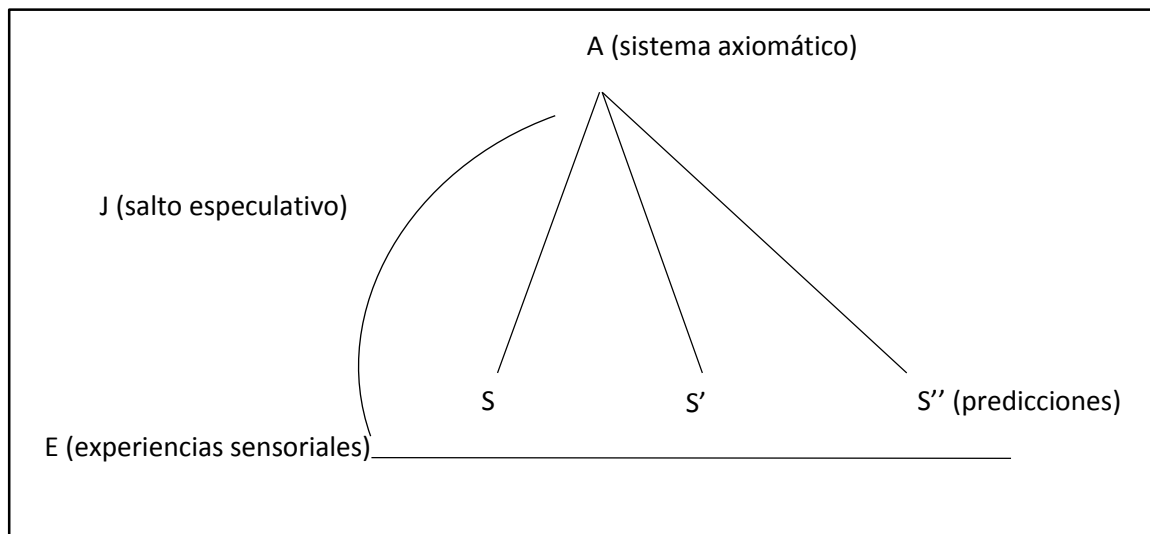


Fig. 6 Representación del modelo de construcción de una teoría según Einstein.

³⁶ Einstein desarrolló sus ideas sobre la construcción de teorías en sus ensayos *Sobre el método de la física teórica* (1933), *La física y la realidad* (1936) y en *Notas autobiográficas* (completadas en 1946). Sin embargo, la presentación más clara sobre su idea del razonamiento científico se encuentra en una carta (escrita el 7 de mayo de 1952) que escribió a su amigo Maurice Solovine. [Einstein à Maurice Solovine; Paris: Gauthier-Villard, 1956; 120].

De acuerdo con Einstein, en la construcción de un sistema axiomático³⁷ interviene y es necesaria la imaginación, pero ésta no se debe de entender como una imaginación enteramente libre, sino guiada por opciones preestablecidas, lógicas y racionales. Para Einstein el uso de la imaginación en el proceso de creación científica debe ser responsable (Holton, 1985, p. 38, 46). La imaginación debe estar guiada por el sistema de conceptos, las observaciones y por un pensamiento lógico deductivo. De lo contrario una imaginación desbordada resulta poco útil para la ciencia, ya que puede llevarnos a la adquisición de falsas creencias. Para Holton, las presuposiciones temáticas (preferencias del científico, temas de interés, incluso los prejuicios) también nos guían en este proceso de exploración, elección y construcción.

La imaginación científica requiere pues, de una guía lógica que nos permita transitar del plano de la experiencia al plano axiomático y a partir de los conceptos y axiomas hipotéticos que fueron postulados, derivar las consecuencias y predicciones consistentes con el plano de la experiencia (E). Este es para Einstein el trabajo de la ciencia, tratar de ordenar las experiencias sensorias para que encajen en el sistema de pensamiento lógico y teórico.

De igual manera, Einstein considera indispensable la corroboración de las consecuencias y predicciones (S) contra el plano de la experiencia (E). Si nuestras predicciones son confirmadas, podemos confiar (un poco más, no absolutamente porque se pueden derivar consecuencias necesarias de axiomas falsos) en los saltos que hemos dado del plano E al plano A (salto especulativo J), la postulación de los axiomas (A) y la deducción de las predicciones y consecuencias (S). Este es el ciclo EJASE que ilustra la construcción de una teoría científica según Einstein (Holton, 1985, p. 47).

³⁷ Para Einstein, el salto especulativo del plano E (experiencias sensoriales) al plano A (sistema axiomático) está siempre sujeto a revocación, ya que no hay un camino claro para saber cuándo elevar una conjetura a la categoría de axioma. Para Einstein la intuición y la imaginación constructiva nos ayudan en este proceso de construcción.

Las buenas teorías, dice Einstein, deben priorizar la validación externa, esto es, deben validar los fundamentos teóricos por medio del material de la experiencia disponible. La teoría pues no debe contradecir al hecho empírico. Y así mismo, deben elegir la mejor superestructura del esquema EJASE con base en los criterios, por ejemplo, de 'naturalidad', 'simplicidad lógica', 'economía', 'unidad y parquedad'. Estos son los dos cánones que propone Einstein para encaminar las teorías hacia una perfección interna, consistente y estable.

De esta manera, la imaginación científica, sea de tipo visual, icónica, metafórica o temática, debe estar guiada por los conceptos del científico, sus observaciones, presuposiciones temáticas y sobre todo por una lógica que le permita detectar inconsistencias y derivar predicciones y consecuencias necesarias (deductivas) a partir de los axiomas o hipótesis explicativas que postule. Cabe mencionar que para Einstein tanto las experiencias sensorias, como los conceptos y nuestras teorías son falibles; considera que éstas son construcciones convencionales por lo que están siempre sujetas a renovación científica. Las teorías establecidas por ejemplo, han sido el resultado de una adaptación y modificación progresiva, que avanzaron hasta convertirse en sistemas de mayor unidad pero eso no las hace infalibles ni absolutas (Holton, 1985, p. 53-55).

Finalmente, como dice Koyré, *el pensamiento científico es una actividad creadora* (Koyré, 1977 [1961], pp. 7-8) y en esta actividad confluyen y encuentran lugar los diferentes tipos de imaginación, como la icónica y constructiva, el razonamiento abductivo, los presupuestos temáticos y la experimentación mental, entre otros tantos elementos; y todo esto nos permite crear nuevos modelos de explicación que sean consistentes, satisfactorios y significativos para las comunidades científicas.

2.2.2 La posibilidad física

Otro factor que resulta significativo para analizar la transformación y consolidación de los experimentos mentales, es la posibilidad física o nomológica. De acuerdo con Anand Vaidya³⁸ existen varios tipos de posibilidad y necesidad, entre ellas la epistémica, lógica, conceptual, metafísica y física o nomológica; y cada área del conocimiento prioriza o encuentra útil alguna de ellas.³⁹

La posibilidad y necesidad *epistémica* se pueden entender como la forma que utilizamos para referirnos a las cuestiones del conocimiento. Así, podemos expresar diferentes proposiciones donde lo importante a evaluar es la posibilidad o la necesidad expresada.

Por ejemplo, podemos decir que P es epistémicamente posible para un sujeto S si y sólo si P no se descarta por lo que S sabe. Como en la proposición “Dado todo lo que Juan sabe, es posible que hoy haya examen.” O podemos decir que P es epistémicamente necesario para un sujeto S si y sólo si $\sim P$ se descarta por lo que S sabe. Como en la proposición “Dado todo lo que Juan sabe, es necesario que hoy haya examen”.

La posibilidad y necesidad *epistémica* pueden interpretarse también a nivel de comunidad epistémica, y así tenemos en términos más generales que P es epistémicamente posible para una comunidad científica C si y sólo si P no se descarta por lo que la comunidad científica C sabe. Y que P es epistémicamente necesario para una comunidad científica C si y sólo si $\sim P$ se descarta por lo que la comunidad científica C sabe.

³⁸ Cabe mencionar que esta propuesta no es estrictamente lógica o formal como la Kripkeana, sino que se trata de una visión que intenta definir las estructuras modales de forma general.

³⁹ En filosofía de la mente por ejemplo, la posibilidad metafísica es la más utilizada en los EM. Así tenemos experimentos mentales como “Mary la científica del color” de Jackson (1982), “la tierra gemela” de Putnam (1973), entre otros.

La posibilidad y necesidad *lógica* son las formas que utilizamos para expresar proposiciones que consideramos posibles o necesarias de acuerdo a los sistemas lógicos establecidos o involucrados. Lo podemos expresar de la siguiente manera: P es lógicamente posible en un sistema S si y sólo si P es consistente con los axiomas del sistema S . Por ejemplo, “Dada la lógica proposicional, la proposición “Habría examen hoy” es lógicamente posible.” Y P es lógicamente necesario en un sistema S si y sólo si P es un axioma de S o derivable de los axiomas de S a través de las reglas de S . Por ejemplo, “Dada la lógica proposicional, $P \rightarrow P$ es necesario.”

La posibilidad y necesidad *conceptual* nos permiten expresar lo que consideramos posible y necesario dentro de un marco conceptual. Aquí los enunciados son verdaderos en virtud de sus significados; se trata de una verdad semántica. En este caso, podemos decir que P es conceptualmente posible si y sólo si P no se descarta por el conjunto de todas las verdades conceptuales. Por ejemplo, “Es conceptualmente posible que la tierra sea plana”. Y P es conceptualmente necesario si y sólo si $\sim P$ se descarta por el conjunto de todas las verdades conceptuales. Por ejemplo, “Es conceptualmente necesario que los triángulos tengan tres lados.”

La posibilidad y necesidad *metafísica* nos permiten expresarnos en relación con los mundos posibles. En proposiciones del tipo P es metafísicamente posible si y sólo si P es verdadero en algún mundo metafísicamente posible. Por ejemplo, “Es metafísicamente posible que alguna partícula física se mueva más rápido que la velocidad de la luz.” Y P es metafísicamente necesario si y sólo si P es verdadero en todos los mundos metafísicamente posibles. Por ejemplo, “Es metafísicamente necesario que Aristóteles el filósofo griego sea humano.”

Finalmente, la posibilidad y necesidad *física* o *nomológica* son útiles porque son las que nos permiten expresar lo que consideramos que es posible o necesario en relación con las leyes de la física vigentes o en relación con el sistema de leyes físicas que aceptamos. Así, podemos decir que P es físicamente posible con respecto a las leyes físicas L si y sólo si P es lógicamente consistente con L . Por ejemplo, “Dadas las leyes actuales de la física, es físicamente posible para un tren viajar a 30 km/hr.” Y P es físicamente necesario con respecto a las leyes físicas L si

y sólo si P está lógicamente implicado por L . Por ejemplo, “Dadas las leyes actuales de la física, es físicamente necesario que ninguna partícula viaje más rápido que la velocidad de la luz.”

De todos los tipos de posibilidad y necesidad descritos anteriormente, la posibilidad física es la de mi interés porque es el tipo de posibilidad que Galileo priorizó en sus investigaciones y esto favoreció la consolidación metodológica de los experimentos mentales.

Galileo exploraba, a través de los experimentos mentales, distintas hipótesis científicas y tomaba siempre en cuenta los principios y leyes de una teoría determinada, ya fuera para atacar o para fortalecer la teoría en cuestión u otra de su interés. De esta manera, Galileo supo elegir y configurar el tipo de experimentación mental más favorable para que sus conclusiones fuesen aceptadas por las comunidades científicas de la época. De haber priorizado otro tipo de posibilidad -como la metafísica que apela a mundos posibles y que lo que interesa no es evaluar si P es el caso en este mundo actual, sino si es el caso en algún mundo posible-, la argumentación de Galileo a través de los experimentos mentales no hubiese sido tan bien recibida. La posibilidad física resultó favorable para lograr esto, ya que es la única que prioriza las leyes y principios de los sistemas axiomáticos en la ciencia.

Christophe Grellard por ejemplo, realiza un análisis sobre los experimentos mentales en los debates medievales sobre el atomismo y afirma que la característica más notable es que esta época era muy común que en los experimentos mentales se apelara al poder de Dios. También explica que esto fue cambiando conforme la ciencia se fue secularizando (Grellard, 2011, p. 66). Si bien, es cierto que durante el periodo de la Revolución Científica del siglo XVI, las cuestiones teológicas seguían muy presentes en las explicaciones científicas, también podemos reconocer el esfuerzo de algunos científicos, como Galileo, por buscar nuevas formas de explicación.

Por ejemplo, en el experimento mental de las balas de cañón⁴⁰, Galileo analiza la caída de los cuerpos y muestra que la teoría aristotélica del movimiento es lógicamente imposible, ya que deriva una contradicción, a saber, que la bala de cañón pesada es más rápida y menos rápida que el sistema combinado. La teoría de Aristóteles afirma que los cuerpos pesados caen más rápido que los cuerpos ligeros, mientras que Galileo afirma que todos los cuerpos caen a la misma velocidad (en el vacío). Galileo construye este experimento mental basándose, por un lado en los principios y leyes del movimiento según Aristóteles y, por otro lado, en sus propios principios. Y lo que interesa explorar son las consecuencias que, a partir de este experimento mental se derivan para este mundo actual, es decir, para este mundo físico. Por ello, el tipo de posibilidad que está involucrada es la física o nomológica, a Galileo no le interesa mostrar, que lo que se concluye del experimento mental, a saber, que la teoría de Aristóteles colapsa porque produce una contradicción, es el caso en algún mundo posible, sino que es el caso en este mundo actual.

Galileo prioriza la posibilidad física en la construcción de los experimentos mentales, lo cual implica un interés por contrastar y aterrizar los resultados que se obtienen en ese escenario hipotético con el mundo observable. Y este elemento influyó favorablemente en la aceptación de los experimentos mentales como herramientas metodológicas para investigar y argumentar en la ciencia.

2.2.3 La contrafacticidad media

La contrafacticidad es un tercer elemento muy útil para completar lo dicho hasta el momento. Sophie Roux (2011) desarrolla un análisis de la contrafacticidad y la

⁴⁰ El análisis de este experimento mental se encuentra en el capítulo 3, sección 3.1.

clasifica en tres tipos o grados: contrafactividad débil, media y fuerte. Desde mi perspectiva, la contrafactividad media fue la que influyó favorablemente en la aceptación y consolidación de los experimentos mentales.

La contrafactividad débil de un experimento mental indica que la ejecución física de un experimento mental es en principio posible. Un experimento mental es débil contrafactivamente cuando es físicamente posible y puede ser llevado a cabo de facto; independientemente de que se realice o no, la posibilidad de realizarlo está abierta, es decir, que aunque el experimento mental no se haya realizado aún, es posible realizarlo cuando se decida hacerlo o cuando se cuente con los medios para ello.

En cambio, la contrafactividad media de un experimento mental indica la complejidad de realización, dadas las circunstancias actuales en las que se presenta; un experimento mental tiene contrafactividad media cuando el escenario que éste plantea no solamente no ocurre, sino que pudiese no ocurrir físicamente dadas las condiciones actuales. Por ejemplo, imaginar que no hay fricción entre un tren y los rieles.

Finalmente la contrafactividad fuerte de un experimento mental indica que la ejecución física de un experimento mental no es posible; un experimento mental es fuerte contrafactivamente cuando es físicamente imposible de ser llevado a cabo. La irrealizabilidad⁴¹ se establece desde la teoría en cuestión, es decir, la teoría es la que establece si un experimento es imposible de llevarse a cabo por cuestiones teóricas. Por ejemplo, imaginar un hotel con un número infinito de habitaciones o imaginar un universo con una sola partícula en él.

Como podemos observar, esta clasificación resulta de gran ayuda para identificar el grado de contrafactividad que implica un determinado experimento mental, ya que

⁴¹ Esta clasificación también resulta útil para la discusión sobre la realizabilidad de los experimentos mentales; desde esta taxonomía es posible entender de manera más amplia la realizabilidad, los experimentos mentales no tienen que ser estrictamente irrealizables, sino que algunos de ellos, aquellos con un grado de contrafactividad débil o medio, pueden en principio ser realizables físicamente. La realizabilidad de los experimentos mentales se refiere pues, a la posibilidad teórica y tecnológica de realizarlos.

si bien todos poseen una dimensión contrafáctica, pues plantean escenarios hipotéticos que no han acontecido en el universo actual, no todos tienen el mismo grado de contrafacticidad. El grado de contrafacticidad determina en qué medida un experimento mental es realizable.

En los experimentos de Galileo el grado de contrafacticidad que predomina es de tipo medio, incluso bajo, esto significa que se plantean escenarios que pudiesen no ocurrir físicamente, dadas las condiciones actuales de la época en que se presentan, pero que la posibilidad de realización en un futuro no se clausura. Por ejemplo, en el experimento mental de *Las balas de cañón*, Galileo plantea un escenario donde es posible estudiar la caída de los cuerpos en un medio sin resistencia (el vacío), pero en esa época no se disponía de la tecnología necesaria para generar ese escenario. No obstante, la posibilidad de su ejecución se mantiene abierta, es decir, no hay un impedimento teórico, sino que la dificultad reside en la tecnología disponible para generar las circunstancias adecuadas. Actualmente es posible generar dichas circunstancias en las cámaras de vacío y llevar a cabo el experimento mental de Galileo sin mayor problema, confirmando las conclusiones que desde entonces Galileo ya había derivado.

La contrafacticidad media en los experimentos de Galileo propició una percepción favorable hacia los experimentos mentales, ya que una de las preocupaciones más recurrentes en las comunidades científicas, había sido la lejanía con la realidad que muchos experimentos mentales implicaban y se consideraban, por esta razón, razonamientos estériles y especulaciones ficticias; por ello el grado de contrafacticidad medio influyó positivamente.

Es importante aclarar, que lo dicho anteriormente no significa que antes del periodo de la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII el grado de contrafacticidad medio no estuviera presente en algunos experimentos mentales, sino más bien que fue en este periodo revolucionario, y en particular con Galileo, que la experimentación mental logró configurarse como una herramienta metodológica aceptada, y que la contrafacticidad media ayudó en ello.

2.3 Galileo Galilei y la configuración del experimento mental en la ciencia

El experimento mental tiene diferentes configuraciones y éstas influyen no sólo en su diseño, sino en el tipo de resultados que serán relevantes y aceptables para las comunidades científicas. La configuración de un experimento mental consiste en elegir los elementos que van a constituirlo y la manera y el grado en la que éstos van a estar presentes. Por ejemplo, al construir un experimento mental hay un tipo de imaginación involucrada y es necesario elegir el tipo de posibilidad que estará presente, el grado de contrafacticidad que determinará si el experimento podrá ser realizado físicamente o no y, en general, cada uno de los elementos necesarios para que el escenario hipotético esté bien definido y sea claro a los demás. La configuración abarca todos los elementos de diseño y determina, en este sentido, la construcción y estructura del experimento mental.

Así, podemos hablar de estilos de configuración, que guían la construcción de experimentos mentales y analizar cuáles son mejor recibidos según la época o área de estudio, ya que de esto depende en gran medida la aceptación o rechazo de esta metodología. Podemos decir que algunos estilos de configuración son mejor aceptados en ciertas comunidades científicas, precisamente, porque los elementos que componen al experimento mental son considerados relevantes y pertinentes desde el principio. Por ejemplo, en filosofía de la mente, se reconoce la utilidad de la posibilidad metafísica y se valoran los escenarios hipotéticos con un alto grado de contrafacticidad. En cambio, en otras áreas del conocimiento, como la física, este tipo de posibilidad y grado de contrafacticidad no son bien recibidos, por considerar que plantean escenarios demasiado lejanos a nuestro mundo.

La aceptación, pues, del experimento mental como herramienta metodológica depende mucho en este sentido de los elementos que cada área y comunidad científica valore y considere significativos. Por ello, en esta sección analizaremos el estilo de configuración galileano.

Al inicio del capítulo hablamos sobre la proliferación de la experimentación mental en el periodo de la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII y sobre cómo diferentes historiadores consideran que ésta fue una de las características de la nueva ciencia. Así mismo, analizamos tres factores específicos que desde nuestra consideración influyeron favorablemente en este proceso y los cuales conforman la configuración galileana, a saber, la imaginación (icónica), la posibilidad (nomológica) y la contrafactividad (media).

Estos factores caracterizan la metodología *a priori* de Galileo y nos ayudan a explicar también los cambios específicos que propiciaron la consolidación metodológica del experimento mental; ya que si los experimentos mentales proliferaron fue precisamente porque se afianzaron como parte constitutiva de la metodología científica y ello implicó una transformación en la propia experimentación mental. Su aceptación metodológica es pues, resultado de la configuración específica de estos tres factores, a través de éstos se consolidaron como una metodología más estable y confiable para las comunidades científicas; y Galileo fue pieza clave para lograr lo anterior.

La imaginación icónica junto con el razonamiento matemático, los diagramas geométricos y las observaciones empíricas, le permitieron a Galileo configurar imágenes mentales más claras, detalladas y complejas. Estos elementos fueron, en otras palabras, las condiciones de posibilidad para transformar lo que en un principio eran percepciones vagas y difusas en percepciones claras y detalladas. Este tipo de imaginación potencializó la experimentación mental y conforme se desarrollaron los instrumentos tecnológicos en la ciencia, se desarrolló también la formación de imágenes mentales cada vez más satisfactorias.

El proceso de visualización en la experimentación mental se volvió más complejo y nítido al incorporar información empírica en la construcción de imágenes mentales, lo cual cubrió uno de los aspectos más importantes para la ciencia física. Las matemáticas, la geometría y un tipo de imaginación más compleja le permitieron a Galileo cubrir este aspecto. De esta manera, Galileo mostró el potencial de esta nueva forma de imaginar, una forma que no le da rienda suelta a la imaginación,

sino que se trata de una imaginación guiada por la observación y percepción sensorial, las matemáticas y la geometría.

La experimentación mental de Galileo es una metodología que descansa en estos elementos y, por ello, representa una nueva forma de proceder, no por los factores generales, sino precisamente por los específicos. Es decir, no es la imaginación en términos generales la que importa, porque es evidente que todo experimento mental, previo, contemporáneo o posterior a Galileo, implica imaginación, sino que es el tipo de imaginación involucrada en sus investigaciones y procedimientos *a priori* la que interesa. Esta elección, consciente o inconsciente, impactó favorablemente en el desarrollo, aceptación y proliferación de la experimentación mental y al mismo tiempo le permitió a Galileo generar nuevos modelos explicativos de la naturaleza.

Con la contrafacticidad media Galileo prioriza la construcción de escenarios hipotéticos realizables físicamente, quizás no en el momento, si las circunstancias dadas no son suficientes, pero sí accesibles a futuro. La realización física puede llevarse a cabo en la medida que las herramientas tecnológicas lo permitan, lo que mantiene la experimentación mental en un terreno valioso e importante para las comunidades científicas, sobre todo en el área de la física. Si bien, es cierto que hay experimentos mentales con un grado de contrafacticidad fuerte y aún así son considerados importantes y relevantes científicamente, como el experimento mental de los relojes propuesto por Einstein⁴², por mencionar alguno, lo que aquí estamos

⁴² El experimento de los relojes o la paradoja del reloj, es un experimento mental propuesto por Einstein en 1905, en el trabajo donde sienta las bases de la Teoría de la Relatividad Especial. El experimento es el siguiente: "If at the points *A* and *B* of *K* there are clocks at rest that, considered from the rest system, are running synchronously, and if the clock at *A* is transported to *B* along the connecting line with velocity *v*, then upon arrival of this clock at *B* the two clocks will no longer be running synchronously; instead, the clock that has been transported from *A* to *B* will lag $\frac{1}{2} vt^2/v^2$ sec (up to quantities of the fourth and higher orders) behind the clock that has been in *B* from the outset, where *t* is the time needed by the clock to travel from *A* to *B*." (Einstein, 1998, p. 139). Versión en alemán: Einstein, Albert, (1905), "Zur Elektrodynamik bewegter Körper", Annalen der Physik 17, 1, 1905, pp. 904-905. Paul Langevin propone en 1911 la versión de este experimento donde se reemplaza a los relojes por gemelos; la formulación es la siguiente: "Suppose that two pieces of matter meet for the first time, separate and meet again. We can say that observers attached to the portions during the separation, will not evaluate that duration in the same way, as some have not aged as much as the others. It follows from the foregoing that those have

evaluando es el grado de contrafacticidad que influyó positivamente en la consolidación del experimento mental como herramienta metodológica en el periodo de la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII. Y este es el grado de contrafacticidad medio. En otras palabras, y al igual que con el tipo de imaginación, lo importante es analizar el grado de contrafacticidad, no la contrafacticidad como aspecto general, ya que esta última es característica fundamental de todo experimento mental, es decir, todo experimento mental implica contrafacticidad.

La contrafacticidad, como vimos en el capítulo anterior, hace referencia a una situación hipotética, la cual no se puede observar de manera directa, como observaríamos por ejemplo un árbol o una manzana, precisamente porque no es una situación actual. Esto no significa, necesariamente, que se trate de una situación ficticia o fantasiosa, sino únicamente que se construye un escenario hipotético, no observable físicamente como estamos acostumbrados a observar las cosas. Brown dice, por ejemplo, que en la experimentación mental vemos con *el ojo de la mente*, para hacer referencia a la percepción no sensorial que nos ayuda a ver en este tipo de procesos y escenarios hipotéticos.

En el caso de Galileo por ejemplo, podemos hablar de escenarios mentales hipotéticos contruidos con base en las observaciones empíricas que realizaba y a partir de los datos e información que obtenía, por lo que lo ficticio encuentra poco lugar, al menos visto desde este punto de análisis.

aged the least, for whom the motion during separation was most distant from uniform, and who have suffered the greatest accelerations. This remark provides the means for any among us who wants to devote two years of his life, to find out what the Earth will be in two hundred years, and to explore the future of the Earth, by making in his life a jump ahead that will last two centuries for Earth and for him it will last two years, but without hope of return, without possibility of coming to inform us of the result of his voyage, since any attempt of the same kind could only transport him increasingly further. For this it is sufficient that our traveler consents to be locked in a projectile that would be launched from Earth with a velocity sufficiently close to that of light but lower, which is physically possible, while arranging an encounter with, for example, a star that happens after one year of the traveler's life, and which sends him back to Earth with the same velocity. Returned to Earth he has aged two years, then he leaves his ark and finds our world two hundred years older, if his velocity remained in the range of only one twenty-thousandth less than the velocity of light. The most established experimental facts of physics allow us to assert that this would actually be so. (Langevin, 1911, p. 17). Versión en francés: Langevin, Paul, (1911), *L'Évolution de l'espace et du temps*, Scientia 10: 31–54, p. 48.

Así mismo, cabe mencionar que la contrafacticidad involucra también la idea de los mundos posibles,⁴³ ya que si los escenarios hipotéticos no ocurren en el mundo actual, ocurren o son el caso en un mundo posible. De esta manera, cuando razonamos a través de un experimento mental se dice que estamos contrastando una situación de nuestro mundo actual con una situación de un mundo posible y a esta situación se le conoce como “contraria a los hechos”, justamente porque los hechos no ocurren de manera directa en nuestro mundo, sino en otro mundo posible. Sin embargo, en la configuración galileana se prioriza el mundo actual y aunque se razone a través de mundos posibles las leyes vigentes de la física deben considerarse por igual. Es decir, en los experimentos mentales de Galileo todos los mundos posibles obedecen las mismas leyes físicas que nuestro mundo actual.

La contrafacticidad media representa un elemento importante para entender el éxito metodológico de Galileo y al mismo tiempo cubre otro aspecto importante para la ciencia física, a saber, la realizabilidad y corroboración de los experimentos. La contrafacticidad media permite que los experimentos mentales puedan llevarse a cabo físicamente si se desea y si las circunstancias lo permiten, de lo contrario sería sólo cuestión de tiempo y desarrollo tecnológico para hacerlo. En cualquier caso la ejecución física del experimento no se clausura, existe como posibilidad ya sea inmediata o futura.

Por ello, la contrafacticidad media favorece la consolidación metodológica del experimento mental e influye positivamente en su aceptación y proliferación. Galileo utiliza este grado de contrafacticidad en sus experimentos mentales y se enfoca en escenarios mentales susceptibles de ser realizados físicamente, aunque al final se opte por aceptar las conclusiones lógicas que de estos escenarios se derivan, sin necesidad de recurrir a su ejecución física. Para Nersessian, esto es de hecho una

⁴³ La propuesta de David Lewis sobre los mundos posibles es un realismo modal, desde el cual sostiene que el mundo del que somos parte es uno de una pluralidad de mundos y que nosotros -los que habitamos este mundo- somos sólo unos pocos de todos los habitantes de todos los mundos. Para Lewis el realismo modal se refiere a la pluralidad de mundos, a las diferentes formas en que el mundo puede ser, el mundo actual es sólo una de esas formas. De esta manera, hay tantos mundos como formas distintas en las que un mundo puede ser. Para profundizar más sobre esta propuesta consultar *On the Plurality of Worlds* (1986) de David Lewis.

de las características más importantes de los experimentos mentales, a saber, su capacidad para convencer que los resultados o la conclusión es lógicamente correcta. Incluso en los casos donde es posible realizarlos, los resultados son tan convincentes que no se siente la necesidad de llevarlos a cabo para corroborarlo (Cfr. Nersessian, 1992, p. 296).

Con la posibilidad física Galileo conecta la experimentación mental con las leyes y teorías de la física⁴⁴, ya fueran las suyas o las de otros. Y este es el tercer factor que considero decisivo en su configuración, ya que a través de éste Galileo aseguró que la experimentación mental fuese una herramienta relevante y significativa al servicio de la ciencia. A la ciencia física lo que le interesa explorar y evaluar son los escenarios hipotéticos donde se consideren las leyes físicas que rigen nuestro mundo actual, es decir, las leyes que se aceptan como vigentes. Para la física no es de interés evaluar, en el sentido estricto, escenarios hipotéticos que apelen a posibilidades conceptuales, epistémicas o lógicas, lo será para la lingüística, la epistemología y la lógica, respectivamente, pero no para la física. Lo que a la física le interesa en todo caso, son los escenarios hipotéticos donde se apelen de manera central a posibilidades físicas o nomológicas, pues sólo en estos escenarios es donde podemos explorar y analizar el sistema de leyes, axiomas y principios que nos interesa estudiar.

En este sentido, la posibilidad física es la única que permite expresar proposiciones de interés y relevancia científica para la física. En otras áreas del conocimiento, como en filosofía de la mente por ejemplo, la posibilidad metafísica es la más utilizada y valorada en la experimentación mental, ya que con ella se exploran situaciones hipotéticas donde *P* no necesita ser verdadero en el mundo actual, sino únicamente en algún mundo metafísicamente posible. Así tenemos una variedad de experimentos mentales que apelan a posibilidades metafísicas, como “la habitación china” de Searle (1980), “el hombre del pantano” de Davidson (1987), entre otros. Sin embargo, para la física lo que importa es analizar si *P* es el caso en el mundo actual y para ello es necesario considerar las leyes físicas y las teorías aceptadas

⁴⁴ Retomando el modelo de Einstein, esto conecta con el Plano de la experiencia (E).

en éste, ya sea para ponerlas a prueba, corroborarlas, fortalecerlas o incluso debilitarlas y argumentar en su contra.

Con este tipo de posibilidad Galileo establece un vínculo importante entre la experimentación mental y los aspectos que le interesan a la física. La experimentación mental se presenta así, como una herramienta útil, precisamente, porque se pueden construir y evaluar escenarios hipotéticos significativos para la ciencia. Con la posibilidad física se establecen de mejor manera los límites y alcances que la propia ciencia física encuentra relevantes.

Estos tres factores, la imaginación icónica, la contrafacticidad media y la posibilidad física, permiten conectar el plano hipotético de la experimentación mental con el plano de las experiencias sensoriales (E), ese del que Einstein habla. Por eso la configuración de Galileo es exitosa, porque considera el plano más importante para la física como punto de partida y como punto de corroboración. La imaginación icónica está guiada por los datos obtenidos de las observaciones, por el sistema de conceptos y por el razonamiento lógico. La contrafacticidad media asegura la corroboración empírica y pone al alcance la posibilidad de contrastar que las consecuencias y predicciones sean consistentes con el plano de la experiencia (E). Y finalmente, la posibilidad física permite guiar la construcción de los escenarios hipotéticos y mantenerlos en un terreno significativo para la ciencia.

La configuración galileana es pues, una metodología que incorpora, con estos tres elementos, los aspectos básicos que la nueva ciencia valora y prioriza, como la autoridad de la naturaleza, las observaciones empíricas, la matematización, las abstracciones, las idealizaciones, la cuantificación de datos, el razonamiento lógico, el pensamiento *a priori*, entre otros; y resulta útil para entender y explicar el proceso de transformación y consolidación del experimento mental en la ciencia del siglo XVI y XVII.

Galileo implementó esta configuración en sus investigaciones y la comunidad científica la aceptó como una forma válida de investigar, argumentar y producir explicaciones científicas. Por ello, la experimentación mental proliferó y se afianzó

como metodología y como una de las características de la época, ya que esta configuración incorporó los aspectos más importantes que para la ciencia cualquier metodología fiable tenía que tener, esto es, i) considerar la autoridad de la naturaleza, lo cual se ve reflejado en la construcción de escenarios claros, bien definidos y basados en los datos observados, ii) la consideración de las leyes vigentes de la física, lo cual podemos encontrar en las posibilidades físicas y iii) garantizar la verificación o corroboración, lo cual observamos en la construcción de escenarios hipotéticos realizables si así se decidiera hacerlo.

Así mismo, cabe mencionar que estos tres factores que se han presentado para analizar la configuración de Galileo no son exhaustivos, puede haber otros elementos que puedan sumarse, como la imaginación constructiva, el razonamiento abductivo, la idealización subjuntiva, entre otros, pero los descritos de manera específica aquí son suficientes para explicar los cambios que favorecieron la transformación, proliferación y consolidación de la experimentación mental en ese periodo.

En este sentido el mérito de Galileo no fue establecer una nueva metodología, sino una nueva configuración para una metodología ya existente. La experimentación mental había estado presente en la ciencia desde la antigüedad pero la forma en que Galileo configura e integra estos tres aspectos constituye una diferencia importante y es desde mi perspectiva su aportación más valiosa en este ámbito.

Galileo lleva a cabo una renovación metodológica al configurar de esta forma la experimentación mental y con ello transformó la forma tradicional de investigación, los procesos de visualización, la exploración de hipótesis, la argumentación, la producción de explicaciones científicas y la propia valoración y apreciación del experimento mental; y es en este sentido, que la experimentación mental se transformó y se consolidó como una herramienta metodológica útil y significativa para la ciencia durante este periodo revolucionario.

CAPÍTULO 3. LOS EXPERIMENTOS MENTALES DE GALILEO

En este capítulo presentaré cinco experimentos mentales de Galileo y mostraré que su estructura descansa en los tres elementos mencionados en el capítulo anterior, a saber, i) la imaginación icónica, ii) la posibilidad física y iii) la contrafacticidad media.

Algunos de estos experimentos mentales son bien conocidos y podríamos considerarlos casos paradigmáticos, como el experimento de la torre inclinada, mientras que otros no son tan populares, ya sea por ser casos donde se ejemplifican las mismas ideas, aunque de una forma diferente, o por ser casos que han pasado a la historia de la ciencia de una forma menos espectacular; cualquiera que sea la razón, mi objetivo es mostrar que en cada uno de ellos, ya sean casos paradigmáticos o menores, se encuentra la misma configuración.

En la sección 3.1 presentaré tres narraciones diferentes del experimento mental de la torre inclinada y argumentaré que la referencia original del experimento no es la narración de Viviani, como algunos historiadores se han enfocado en señalar, sino la narración que Galileo presenta en los *Discorsi*. Después de hacer lo anterior, me enfocaré en analizar la estructura del experimento y en mostrar los tres elementos que conforman la configuración galileana.

En la sección 3.2 presentaré el experimento del navío con moscas, contextualizaré su lugar en la obra de Galileo y finalmente analizaré su estructura. Lo mismo haré en las secciones 3.3, 3.4 y 3.5 donde presentaré el experimento mental del plano inclinado, el experimento mental del aire y el experimento mental del cubo con agua, respectivamente.

3.1 La torre inclinada

El experimento de la torre inclinada es ampliamente conocido en el ámbito de la física y de la ciencia en general, ya que a través de éste Galileo argumentó en contra de la teoría aristotélica del movimiento y sentó, al mismo tiempo, los fundamentos de la nueva dinámica (Koyré, 1977, pp. 198-205). Sin embargo, la versión que comúnmente se conoce del experimento, esa que sitúa a Galileo en lo alto de la torre inclinada de Pisa, ante todos los académicos y alumnos de la universidad, no se encuentra narrada así por Galileo, sino por sus historiadores, quienes se encargaron de glorificar el experimento, algunos de una manera más vívida y detallada que otros. Galileo se limita a presentar el experimento en los *Discorsi* y se enfoca más en el argumento central. Por ello, algunos autores como Álvarez y Marquina⁴⁵ han señalado que este experimento es *mítico*, esto es, el tipo de experimento que *nunca aparece en sus escritos pero que forma parte de la imagen popular que tenemos de Galileo* (Álvarez y Marquina, 1992, p. 15). Claro está que el carácter mítico se refiere a las versiones populares del experimento, esas que han agregado elementos y han hecho del suceso un momento memorable, pero no a la referencia directa del experimento que encontramos en los *Discorsi*.

De acuerdo con Koyré el experimento mental de la torre inclinada que conocemos popularmente, es decir, la versión mítica, descansa en las reconstrucciones que se han hecho de al parecer la única fuente auténtica de los experimentos de Galileo en Pisa, a saber, el texto *Racconto istorico della vita di Galilei* de Vincenzo Viviani:⁴⁶

⁴⁵ Para Álvarez y Marquina existen cuatro tipos de experimentos en torno a la figura de Galileo Galilei. Los tres que señala James MacLachlan (1973): reales, pensados, imaginarios y los del tipo mítico. Los reales son los que Galileo efectivamente hizo; los pensados son los que no pueden realizarse por razones lógicas o por falta de equipo adecuado; los imaginarios los que pudo haber realizado pero no los hizo, tal vez convencido de lo que iba a ocurrir; y los míticos los que nunca aparecen en sus escritos pero forman parte de la imagen popular que tenemos de Galileo.

⁴⁶ Viviani, Vincenzo, *Racconto istorico della vita di Galilei*, Opere, Ed. Naz., Vol. XIX, p. 606. Citado en Koyré, Alexander, (1977 [1961], Estudios de historia del Pensamiento Científico, tr. Encarnación Pérez Sedeño y Eduardo Bustos, Siglo XXI de España Editores S. A. Las cursivas en la cita son de Koyré.

En esta época (1589-1590) se convenció de que la investigación de los efectos de la naturaleza exige necesariamente un verdadero conocimiento de la naturaleza del movimiento, conforme al axioma a la vez filosófico y vulgar *ignoratu motu ignoratur natura*⁴⁷, fue entonces cuando, ante la gran indignación de todos los filósofos, demostró –con la ayuda de experimentos, pruebas y razonamientos exactos- la falsedad de numerosas conclusiones de Aristóteles sobre la naturaleza del movimiento; conclusiones que hasta entonces eran tenidas por claras e indudables. Así, entre otras, la de que las velocidades de móviles de la misma materia, pero de pesos diferentes y que se mueven a través del mismo medio, no siguen en modo alguno de la proporción de su gravedad, tal como dice Aristóteles, sino que se mueven todos con la misma velocidad. *Lo que demostró por repetidos experimentos hechos desde lo alto del campanario de Pisa en presencia de todos los demás profesores y filósofos y de toda la Universidad.*

[Demostró también] que las velocidades de un mismo móvil que cae a través de diferentes medios no siguen tampoco la proporción inversa de la densidad de estos medios, infiriendo esto a partir de consecuencias manifiestamente absurdas y contrarias a la experiencia sensible.

(Viviani, citado en Koyré, 1977 [1961], p. 200)

Para Koyré la narración de Viviani es la versión más fiel del experimento, mientras que el resto de los relatos solamente se ha encargado de alterar y glorificar el episodio (Cfr. Koyré, 1977 [1961], p. 200). Por ejemplo, la narración del historiador Emile Namer:

⁴⁷ *Ignoratu motu ignoratur natura*: “Ignorar el movimiento es ignorar la naturaleza”. Esta expresión se refiere a un viejo principio de la filosofía natural que establece que toda doctrina que aspire a ser considerada como válida, debe explicar el fenómeno del movimiento.

Cuando Galileo supo que todos los otros profesores expresaban dudas referentes a las conclusiones del insolente innovador, aceptó el reto. Solemnemente invitó a estos graves doctores y a todo el cuerpo de estudiantes, en otros términos, a la Universidad entera, a asistir a uno de sus experimentos. Pero no en su marco habitual. No, éste no era suficientemente grande para él. Fuera, bajo el cielo abierto, en la ancha plaza de la catedral. Y la cátedra indicada claramente para estos experimentos era el Campanile, la famosa torre inclinada.

Los profesores de Pisa, como los de otras ciudades, habían sostenido siempre, conforme a la enseñanza de Aristóteles, que la velocidad de caída de un objeto dado era proporcional a su peso.

Por ejemplo, una bola de hierro que pese cien libras y otra que sólo pese una, lanzadas en el mismo momento, desde una misma altura, deben evidentemente tocar tierra en momentos diferentes y con toda seguridad la que pesa cien libras tocará tierra primero, puesto que justamente es más pesada que la otra.

Galileo, al contrario, pretendía que el peso no tenía nada que ver y que las dos tocarían tierra en el mismo momento.

Escuchar semejantes aserciones hechas en el corazón de una ciudad tan vieja y tan sabia era intolerable; y se pensó que era necesario y urgente afrentar públicamente a este joven profesor que tenía una opinión tan elevada de sí mismo y darle una lección de modestia de la que se acordase hasta el final de su vida.

Doctores con largos trajes de terciopelo y magistrados que parecían ir a una especie de feria de pueblo, abandonaron sus diversas ocupaciones y se mezclaron con los representantes de la Facultad dispuestos a burlarse del espectáculo, fuera cual fuera el final.

Lo más extraño quizás de toda esta historia es que no se le ocurrió a nadie hacer el experimento por sí mismo antes de llegar a la plaza. Atreverse a poner en duda algo que Aristóteles había dicho, era nada menos que una herejía a los ojos de los estudiantes de esta época. Era un insulto a sus maestros y a ellos mismos, una desgracia que podría excluirlos de la élite. Es indispensable tener presente constantemente esta actitud para apreciar claramente el genio de Galileo, su libertad de pensamiento y su valor, y estimar en su justo mérito el sueño profundo del que la conciencia humana debía despertarse. ¡Qué esfuerzo, qué luchas eran necesarias para dar nacimiento a una ciencia exacta!

Galileo subió a las escaleras de la torre inclinada, con calma y tranquilidad a pesar de las risas y gritos de la multitud. Comprendía bien la importancia del momento. En lo alto de la torre, formuló una vez más el problema en toda su exactitud. Si los cuerpos al caer llegaban a tierra al mismo tiempo, había conseguido la victoria, pero si llegaban en momentos diferentes, serían sus adversarios quienes tendrían razón.

Todo el mundo aceptó los términos del debate. Gritaban: 'Haced la prueba'.

Había llegado el momento. Galileo lanzó las dos bolas de hierro. Todos los ojos miraban arriba.

Un silencio. Y se vio salir juntas las dos bolas, caer juntas y juntas tocar tierra junto a la torre.

(Namer, citado en Koyré, 1977 [1961], p. 198-199)

Las diferencias entre la narración de Viviani y la de Namer son notorias. La narración de Namer es más extensa, adornada e histriónica y lo mismo pasa con el resto de las versiones que podemos encontrar en la literatura, en todas ellas se han

agregado elementos nuevos que expanden y embellecen el episodio en el que Galileo ataca públicamente al aristotelismo.

Como un tercer ejemplo, veamos la narración que el historiador inglés John Joseph Fahie hace del experimento:

Debemos decir aquí algo referente a sus famosos experimentos sobre la caída de los cuerpos, ya que están estrechamente asociados a la torre inclinada de Pisa, uno de los más curiosos monumentos de Italia. Dos mil años antes aproximadamente, Aristóteles había afirmado que si dos pesos diferentes de la misma materia caían de la misma altura, el más pesado llegaría a la tierra antes que el más ligero, y esto en proporción a sus pesos. El experimento no es ciertamente difícil; nadie sin embargo, tuvo la idea de argumentar así, y en consecuencia, esta aserción fue acogida entre los axiomas de la ciencia del movimiento, en virtud del *ipse dixit* de Aristóteles. Galileo, sin embargo, sustituía ahora la autoridad de Aristóteles por la de sus propios sentidos y pretendía que, salvo una diferencia insignificante, debida a la desproporción de la resistencia del aire, caerían al mismo tiempo. Los aristotélicos ridiculizaron esta idea, y se negaron a escucharle. Pero Galileo no se dejó intimidar y decidió forzar a sus adversarios a ver el hecho como él mismo lo veía. Así, una mañana, delante de la universidad reunida –profesores y estudiantes- subió a la torre inclinada llevando consigo una bola de diez libras y otra de una. Las colocó en el reborde de la torre y las dejó caer juntas. Juntas cayeron y juntas chocaron contra el suelo.

(Fahie, 1903, pp. 24-25)⁴⁸

⁴⁸ La versión original es la siguiente: We must, however, say something here of his celebrated experiments on falling bodies, on account of their associations with the Leaning Tower of Pisa –one of Italy's many curious monuments. Nearly two thousand years before, Aristotle had asserted that if two different weights of the same material were let fall from the same height, the heavier would reach the ground sooner than the lighter in the proportion of their weights. The experiment is certainly not

La diversidad de narraciones no implica mayor problema si solamente se trata de estilos de narración que no cambian el propósito del experimento, ni la metodología de Galileo. Álvarez y Marquina consideran por ejemplo, que en la mayoría de las versiones se destacan los mismos elementos: *ataque público* al aristotelismo, *experimento público* en la torre inclinada, *éxito del experimento* al caer los dos cuerpos simultáneamente y la consternación y persistencia de los adversarios tradicionalistas (1992, p. 23). Y al igual que Koyré, consideran que todos los relatos están basados, directa o indirectamente, en el relato de Viviani.

Ahora, a diferencia de las versiones de Viviani, Namer y Fahie, que son las que comúnmente conocemos del experimento, Galileo se limita a narrar el experimento en los *Discorsi* de la siguiente manera, me permito citar ampliamente:

SAGREDO. Estoy totalmente de acuerdo con los filósofos peripatéticos en negar la penetrabilidad de la materia. En cuanto al vacío, me gustaría escuchar una discusión a fondo de la demostración de Aristóteles en la que se opone a ellos, y lo que usted, Salviati, tiene que decir en respuesta. Te ruego, Simplicio, que nos des la prueba precisa del Filósofo y que tú, Salviati, nos des la respuesta.

SIMPLICIO. Por lo que recuerdo, Aristóteles se opone a la visión antigua de que el vacío es un requisito previo necesario para el movimiento y que este último no podría ocurrir sin el primero. En oposición a esta opinión, Aristóteles muestra que es precisamente el fenómeno del movimiento, como veremos, lo que hace insostenible la idea de un vacío. Su método es dividir el argumento en dos partes. Primero supone que cuerpos de diferentes pesos se muevan en el

a difficult one, but nobody thought of that method of argument, and consequently this assertion was received upon Aristotle's *ipse dixit* among the axioms of the science of motion. Galileo, however, now appealed from the authority of Aristotle to that of his own senses, and maintained that, with the exception of an inconsiderable difference due to the disproportionate resistance of the air, they would fall in the same time. The Aristotelians ridiculed and refused to listen to such an idea. But Galileo was not to be repressed, and determined to make his adversaries see the fact as he saw it himself. So one morning, before the assembled University, professors, and students, he ascended the leaning tower, taking with him a 10-lb. Shot and a 1-lb. Shot. He balanced them on the over-hanging edge and let them go together. Together they fell, and together they stuck the ground.

mismo medio; entonces supone que uno y el mismo cuerpo se mueven en diferentes medios. En el primer caso, supone que los cuerpos de diferente peso se mueven en un mismo medio con diferentes velocidades que se interponen entre sí en la misma proporción que los pesos; de modo que, por ejemplo, un cuerpo que es diez veces más pesado que otro se moverá diez veces más rápido que el otro. En el segundo caso, asume que las velocidades de un mismo cuerpo que se mueve en diferentes medios están en proporción inversa a las densidades de estos medios; así, por ejemplo, si la densidad del agua fuera diez veces mayor que la del aire, la velocidad en el aire sería diez veces mayor que en el agua. A partir de esta segunda suposición, muestra que, dado que la tenuidad de un vacío difiere infinitamente de la de cualquier medio lleno de materia, por raro que sea, cualquier cuerpo que se mueva en un pleno a través de un cierto espacio en un cierto tiempo debe moverse a través de un vacío instantáneamente, pero el movimiento instantáneo es una imposibilidad; por lo tanto, es imposible que un vacío sea producido por el movimiento.

SALVIATI. El argumento es, como se ve, *ad hominem*, es decir, está dirigido contra aquellos que pensaron que el vacío es un requisito previo para el movimiento. Ahora bien, si admito que el argumento es concluyente y también admito que el movimiento no puede tener lugar en un vacío, la suposición de un vacío considerado absolutamente y no con referencia al movimiento, no se invalida. Pero para decirles lo que posiblemente los antiguos pudieron haber respondido y para comprender mejor cuán concluyente es la demostración de Aristóteles, podemos, en mi opinión, negar sus dos suposiciones. Y en cuanto al primero, dudo mucho que Aristóteles haya probado alguna vez mediante un experimento si es verdad que dos piedras, una que pesa diez veces más que la otra, si se las deja caer, en el mismo instante, desde una altura de, digamos, 100 codos, diferirían tanto en velocidad

que cuando el más pesado hubiera alcanzado el suelo, el otro no habría caído más de 10 codos.

SIMPLICIO. Su lenguaje parece indicar que él había intentado el experimento, porque dice: *vemos más al más pesado*; ahora la palabra *ver* muestra que él había hecho el experimento.

SAGREDO. Pero yo, Simplicio, que he realizado la prueba, puedo asegurarle que una bola de cañón que pese 100 o 200 libras o más, no alcanzará el suelo tanto como un tramo por delante de una bola de mosquete que pesa solo media libra, siempre que ambos caigan desde una altura de 200 codos.

SALVIATI. Pero, incluso sin más experimentos, es posible demostrar claramente, por medio de un argumento breve y concluyente, que un cuerpo más pesado no se mueve más rápidamente que uno más liviano, siempre que ambos cuerpos sean del mismo material y, en resumen, como los mencionados por Aristóteles. Pero dígame, Simplicio, si admite que cada cuerpo que cae adquiere una velocidad definida fijada por la naturaleza, una velocidad que no se puede aumentar o disminuir excepto por el uso de la fuerza [*violenza*] o la resistencia.

SIMPLICIO. No cabe duda de que el mismo cuerpo que se mueve en un solo medio tiene una velocidad fija que está determinada por la naturaleza y que no puede aumentarse excepto mediante la adición de un impulso [*impeto*] o disminuirla, excepto por alguna resistencia que lo retarda.

SALVIATI. Si luego tomamos dos cuerpos cuyas velocidades naturales son diferentes, está claro que al unir los dos, el más rápido será retardado en parte por el más lento, y el más lento será acelerado un poco por el más rápido. ¿No estás de acuerdo conmigo en esta opinión?

SIMPLICIO. Indudablemente tienes razón.

SALVIATI. Pero si esto es cierto, y si una piedra grande se mueve con una velocidad de, por ejemplo, ocho mientras que una más pequeña se mueve con una velocidad de cuatro, entonces, cuando se unen, el sistema se moverá con una velocidad inferior a ocho; pero las dos piedras cuando están unidas hacen una piedra más grande que la que antes se movía con una velocidad de ocho. Por lo tanto, el cuerpo más pesado se mueve con menos velocidad que el más ligero; un efecto que es contrario a tu suposición. Por lo tanto, puedes ver cómo, a partir de tu suposición de que el cuerpo más pesado se mueve más rápidamente que el más ligero, deduzco que el cuerpo más pesado se mueve más lentamente.

SIMPLICIO. Estoy todo en el mar porque me parece que la piedra más pequeña, cuando se agrega a la más grande, aumenta su peso y al agregar peso no veo cómo puede dejar de aumentar su velocidad o, al menos, no disminuirla.

SALVIATI. Aquí nuevamente estás en error, Simplicio, porque no es cierto que la piedra más pequeña agregue peso a la más grande.

SIMPLICIO. Esto es, de hecho, bastante más allá de mi comprensión.

SALVIATI. No estará más allá de ti cuando te haya mostrado una vez el error con el que estás trabajando. Ten en cuenta que es necesario distinguir entre los cuerpos pesados en movimiento y los mismos cuerpos en reposo. Una piedra grande colocada en una balanza no solo adquiere peso adicional al tener otra piedra colocada sobre ella, sino que incluso al agregar un puñado de cáñamo, su peso aumenta de seis a diez onzas según la cantidad de cáñamo. Pero si atas el cáñamo a la piedra y permites que caigan libremente desde cierta altura, ¿crees que el cáñamo presionará la piedra y acelerará su movimiento o crees que el movimiento será retardado por una presión

parcial hacia arriba? Uno siempre siente la presión sobre sus hombros cuando evita el movimiento de una carga que descansa sobre él; pero si uno desciende tan rápido como caería la carga, ¿cómo puede gravitar o presionar sobre él? ¿No ves que esto sería lo mismo que intentar golpear a un hombre con una lanza cuando está huyendo de ti con una velocidad igual o incluso mayor que la que le sigues? Por lo tanto, debe concluir que, durante la caída libre y natural, la piedra pequeña no presiona sobre la más grande y, en consecuencia, no aumenta su peso como lo hace cuando está en reposo.

SIMPLICIO. Pero, ¿y si deberíamos colocar la piedra más grande sobre la más pequeña?

SALVIATI. Su peso aumentaría si la piedra más grande se moviera más rápidamente; pero ya hemos llegado a la conclusión de que cuando la piedra pequeña se mueve más lentamente retrasa en cierta medida la velocidad de la más grande, de modo que la combinación de las dos, que es un cuerpo más pesado que la más grande de las dos piedras, se movería menos rápidamente, una conclusión que es contraria a tu hipótesis. Por lo tanto, inferimos que los cuerpos grandes y pequeños se mueven con la misma velocidad siempre que se encuentren en la misma gravedad específica.

SIMPLICIO. Tu discusión es realmente admirable; sin embargo, no me resulta fácil creer que un perdigón caiga tan rápidamente como una bala de cañón.

SALVIATI. ¿Por qué no decir un grano de arena tan rápido como una piedra de afilar? Pero, Simplicio, confío en que no sigas el ejemplo de muchos otros que desvían la discusión de su intención principal y se unen a una declaración mía que carece de la verdad de un pelo y, bajo este pelo, oculta la culpa de otro que es tan grande como el cable de un barco. Aristóteles dice que "una bola de hierro de cien libras que

cae desde una altura de cien codos llega al suelo antes de que una bola de una libra haya caído un solo codo". Yo digo que llegan al mismo tiempo.

(Galileo, 1914 [1638], pp. 61-64)⁴⁹

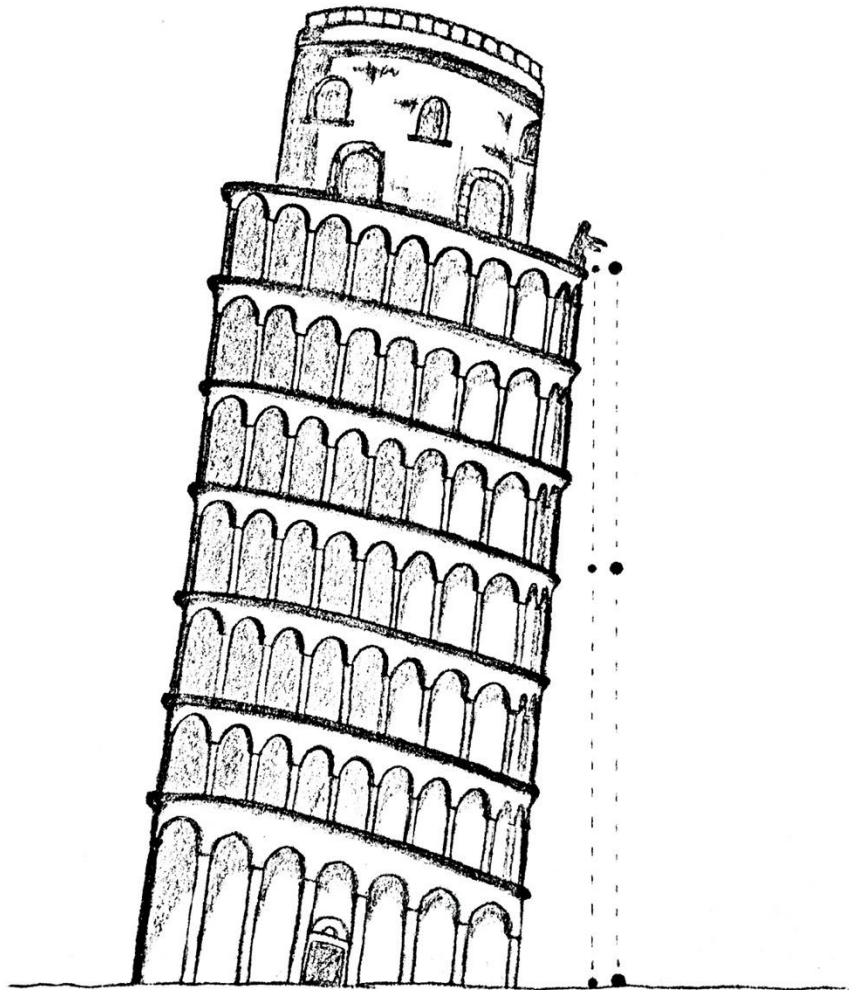


Fig. 7 La torre inclinada

Este pasaje de los *Discorsi* es la referencia original del experimento. Si bien Galileo reflexiona sobre la caída de los cuerpos desde los *Diálogos*, es en esta parte de los

⁴⁹ Mi traducción. La cita textual es demasiado extensa por lo que omitiré incorporar la versión en inglés en esta nota al pie.

Discorsi que presenta el experimento como tal; el resto de las versiones, incluyendo la de Viviani, son narraciones cuyo propósito, además de informar, es quizás deleitar y conmover al lector. Para Álvarez y Marquina, los autores que relatan este episodio lo hacen según su propia imaginación, inventando y agregando elementos adicionales a la versión de Viviani, quien desde su consideración fue el único que, sesenta años después, habló del suceso/ experimento. Les resulta extraño que ni los partidarios ni los adversarios de Galileo retomen este pasaje tan importante en la historia, sobre todo si ocurrió como Viviani y otros lo han contado. Es raro – afirman- que el propio Galileo, *orgulloso y siempre dispuesto a la polémica*, no haya narrado este glorioso experimento llevado a cabo en la torre inclinada de Pisa. (Álvarez y Marquina, 1992, p. 23).

Para Koyré resulta difícil creer que Galileo considerara abiertamente a sus colegas aristotélicos como sus adversarios, ya que eso implicaría que consideraba al mismo Aristóteles de manera pública como su adversario. De igual manera, señala que es muy claro que el texto original de Viviani ha sido alterado y expandido por los sucesores y admiradores de Galileo y según la fantasía de cada autor; el texto de Viviani –afirma- es breve y sobrio y es la única fuente auténtica de la que se dispone. Así mismo, Koyré también encuentra sospechoso que ni Galileo, ni sus amigos ni nadie de la época haya escrito sobre este famoso experimento y considera que este silencio muestra la inverosimilitud de que se haya llevado a cabo públicamente, como los historiadores de Galileo narran (Cfr. Koyré, 1977, p. 200-202). Koyré asegura que Galileo no realizó el experimento de la torre de Pisa, sino que sólo se limitó a imaginarlo:

Galileo no necesitaba tampoco esperar la elaboración de los *Discorsi* para saber que la resistencia del aire, siendo, *grosso modo*, proporcional a la superficie (en el caso de una bola, al cuadrado de su radio) y el peso a la masa (por lo tanto a su cubo), sería para una bola de mosquete relativamente mayor que para una bala de cañón. Lo sabía ya en la época en que inició sus trabajos en Pisa. No es en modo

alguno de extrañar: Benedetti lo había explicado efectivamente mucho antes que él.

Por eso, si podía –y debía– contar con que los cuerpos más y menos pesados caen con velocidades completamente distintas a las proporcionales a sus pesos, como hubiera debido ser según Aristóteles, si debía prever que el cuerpo menos pesado (la bala de mosquete) cae mucho más rápidamente de lo que habría debido hacerlo, había algo que *no podía admitir*, que este algo era su caída simultánea.

Y esta es la última razón por la que Galileo no hizo el experimento de Pisa [...]

(Koyré, 1977 [1961], p. 205)

Las diferentes narraciones sobre el experimento de la torre inclinada están pues basadas, directa o indirectamente, en la narración de Viviani. Y al analizar esa narración podemos observar que Viviani no agrega mucho al episodio narrado por Galileo en los *Discorsi*, a excepción de la última parte donde dice que Galileo *demonstró por repetidos experimentos hechos desde lo alto del campanario de Pisa en presencia de todos los demás profesores y filósofos y de toda la Universidad*. (Viviani, citado en Koyré 1977 [1961], p. 200). Quizás por esto se piensa que la narración de Viviani es la única fuente auténtica del experimento, ya que incorpora el lugar geográfico por el que se conoce popularmente el experimento⁵⁰. Sin embargo, estrictamente hablando, la referencia directa del experimento, es decir, del argumento que Galileo presenta, es la que el propio Galileo narra en los *Discorsi*.

El experimento de la torre inclinada de Pisa es sin duda un caso glorioso, ya sea que haya ocurrido o no como Viviani y el resto de los historiadores lo cuentan. Es decir, más allá de la variedad de relatos, reconstrucciones o alteraciones que

⁵⁰ El experimento de la torre inclinada también es conocido popularmente como el experimento de la Torre de Pisa, el experimento de las *balas de cañón* o el experimento de los *cuerpos cayendo* (Galileo's falling bodies), entre otras formas.

existan, el argumento de Galileo presentado en esas narraciones y sobre todo en el pasaje de los *Discorsi*, marcó la historia y el desarrollo de la ciencia.

Algunos historiadores como Koyré han considerado que su importancia no radica en que Galileo fuera el primero en rechazar las enseñanzas y concepciones de la antigüedad, sino en que fuera el primero en socavar realmente la autoridad de Aristóteles:

Aunque Galileo... no fue en modo alguno el primero en dudar de la autoridad de Aristóteles, fue indiscutiblemente el primero cuya duda produjo un efecto profundo y durable en los ánimos. La razón no es difícil de encontrar. Galileo vino en un buen momento, pero, ante todo, vino armado con un arma nueva: el experimento.

(Koyré, 1977, pp. 197-198)

La nueva arma de Galileo, el experimento, ya fuera físico o mental, le permitió argumentar en contra de las tesis aristotélicas por la vía lógica tan ampliamente aceptada. Y su destreza para combinar la experimentación mental, el razonamiento lógico, los cálculos matemáticos y dibujos geométricos, influyó en éxito y consolidación de esta metodología.

El experimento de la torre inclinada es un caso paradigmático, incluso sin la gloria pública que señala Viviani y el resto de los historiadores que se han encargado de relatarlo y divulgarlo. Brown (1991) por ejemplo, considera que este experimento mental es el más bello de la historia. De acuerdo con la taxonomía que presenta este experimento es del tipo platónico, es decir, destructivo y constructivo.⁵¹ Este es el tipo de experimentos más poderosos y especiales dentro de la taxonomía de

⁵¹ Brown clasifica a los experimentos mentales en tres categorías: constructivos, destructivos y platónicos. Los experimentos mentales constructivos se dividen a su vez en tres tipos: conjeturales, mediativos y directos. Y los platónicos, considera que son los más especiales, ya que éstos son simultáneamente destructivos y constructivos, en ese orden. Para Brown el papel que este tipo de experimentos tienen en la ciencia es de gran valor, ya que destruyen teorías o hipótesis pero al mismo tiempo presentan las bases de una nueva teoría. Para profundizar más en esta taxonomía y en su análisis, véase Brown, James Robert, (1991), *The Laboratory of the Mind: Thought Experiments in the Natural Sciences*. London: Routledge, p.76.

Brown, ya que no sólo derrumban una teoría, al identificar inconsistencias graves, sino que al mismo tiempo construyen una nueva teoría sobre las ruinas de la anterior.

En el experimento de la torre inclinada Galileo argumenta en contra de la teoría aristotélica del movimiento, muestra una falla al derivar una contradicción lógica y, al mismo tiempo, argumenta a favor de su propia teoría del movimiento.

En el experimento Galileo nos pide que imaginemos el siguiente escenario: *dos cuerpos cuyas velocidades naturales son diferentes, está claro que al unir los dos, el más rápido será retardado en parte por el más lento, y el más lento será acelerado un poco por el más rápido.* (Galileo, 1914 [1638], p. 63). O la tradicional pregunta de ¿qué pasaría si se liberara una bala de cañón pesada unida a una bala de mosquete ligera?

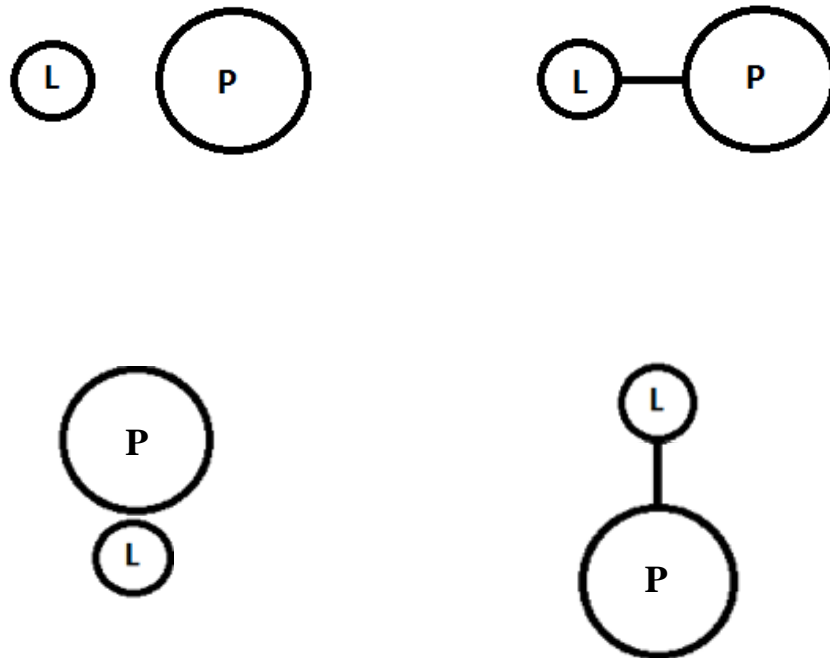


Fig. 8

Como ya vimos en el pasaje de los *Discorsi*, desde la teoría aristotélica del movimiento los cuerpos pesados caen más rápido que los cuerpos ligeros y en el

escenario anterior el cuerpo ligero (la piedra pequeña o la bala de mosquete L de la Fig. 8) hará más lento al cuerpo pesado (la piedra grande o la bala de cañón pesada P), actuando como una especie de arrastre, por lo que la velocidad del sistema combinado ($P+L$) sería más lento que la velocidad del cuerpo pesado P que cae solo ($P > P+L$). Por otro lado, el sistema combinado es más pesado que el cuerpo pesado, por lo que debería caer más rápido ($P+L > P$). De esta manera, Galileo muestra que desde la teoría aristotélica del movimiento se llega a una contradicción: el cuerpo pesado es más rápido y menos rápido que el sistema combinado. Para Galileo la contradicción anterior se resuelve afirmando que todos los cuerpos caen a la misma velocidad (omitiendo la resistencia del aire o en otras palabras en el vacío) $V(P) = V(L) = V(P+L)$.

Para Galileo, en voz de Salviati, *si una piedra grande se mueve con una velocidad de, por ejemplo, ocho, mientras que una más pequeña se mueve con una velocidad de cuatro, entonces, cuando se unen, el sistema se moverá con una velocidad inferior a ocho; pero las dos piedras cuando están unidas hacen una piedra más grande que la que antes se movía con una velocidad de ocho. Por lo tanto, el cuerpo más pesado se mueve con menos velocidad que el más ligero; algo que es contrario a la suposición de Simplicio –y por ende de Aristóteles. De esta manera, Galileo deduce a partir de la suposición de que el cuerpo más pesado se mueve más rápidamente que el más ligero, que el cuerpo más pesado se mueve más lentamente.* (Galileo, 1914 [1638], p. 63).

Por lo general esta parte del argumento –parte destructiva utilizando los términos de Brown- no se presenta en las narraciones del experimento de la torre inclinada, se opta por enfatizar únicamente el resultado final –parte constructiva⁵²: *los móviles*

⁵² Algunos podrían considerar que la razón de que no se mencione la parte destructiva en la narración popular del experimento de la torre inclinada, es porque en realidad se trata de dos experimentos diferentes: el experimento de la torre inclinada y el experimento de las balas de cañón. Sin embargo, se trata del mismo experimento mental, sólo que los historiadores de Galileo han elegido concentrarse, en sus narraciones, en la parte célebre del experimento (parte constructiva), mientras que la parte destructiva la reservan para el análisis y explicación posterior. En cambio, en el pasaje de los Discorsi podemos encontrar ambas partes, aunque no relatadas en la ubicación geográfica tan popular de Pisa, sino a manera de diálogo entre Salviati y Simplicio. En cualquier caso, el pasaje de las balas de cañón es el antecedente y el referente original del experimento de la

de la misma materia, pero de pesos diferentes y que se mueven a través del mismo medio, se mueven todos con la misma velocidad (Viviani); y se vio salir juntas las dos bolas, caer juntas y juntas tocar tierra junto a la torre (Namer); subió a la torre inclinada llevando consigo una bola de diez libras y otra de una, las colocó en el reborde de la torre y las dejó caer juntas, juntas cayeron y juntas chocaron contra el suelo (Fahie); todos los cuerpos caen a la misma velocidad, sin importar su peso; entre otros.

La parte destructiva del experimento o del argumento, es decir, donde Galileo muestra la contradicción de la teoría de Aristóteles por lo general se omite en estas narraciones. O en todo caso, la encontramos en el análisis y las explicaciones que los autores hacen del experimento, pero no como parte del experimento narrado en sí, a excepción, como ya vimos, del pasaje en los *Discorsi*. Sobre este punto considero que lo importante es identificar ambas partes del experimento, ya sea en las narraciones y análisis que los historiadores hacen o en el pasaje original de los *Discorsi*, ya que el resultado célebre que se realza en las narraciones populares no se puede entender adecuadamente si omitimos el proceso y razonamiento lógico – y destructivo diría Brown- que Galileo llevó a cabo.

Ahora bien, el éxito de este experimento no radica únicamente en ser destructivo y constructivo, sino en la configuración específica que Galileo implementó en esta metodología, a saber, el uso de la *imaginación icónica*, la *posibilidad física* y la *contrafactividad media*. Es decir, la taxonomía de Brown resulta útil al analizar este experimento mental pero no es suficiente para explicar su éxito en el campo de la física y sobre todo en el contexto de la nueva ciencia de los siglos XVI y XVII.

Un experimento mental *platónico* es valorado por su capacidad para destruir o socavar los pilares de una teoría y por presentar, al mismo tiempo, una teoría nueva que sustituya a la anterior. Sin embargo, esto no hubiese sido suficiente si la configuración específica del experimento mental hubiese ido en contra de los

torre inclinada, si suponemos que éste último es realmente diferente, en el sentido estricto del término, a saber, un experimento no escrito por Galileo, sino reconstruido por sus historiadores.

valores que la nueva ciencia priorizaba. Por ejemplo, un experimento mental del tipo platónico en el área de la filosofía de la mente⁵³, por más destructivo y constructivo que sea, difícilmente será aceptado en el área de la física; ya que los valores específicos que se priorizan en un área son distintos a los valores específicos que se priorizan en la otra. La configuración involucrada influye en la aceptación o rechazo del propio experimento mental. Y es en este sentido que la configuración galileana resulta fundamental para entender y explicar el éxito tan célebre de este experimento mental.

Así, en la primera parte del experimento –destructiva- Galileo considera la teoría de Aristóteles, sus principios y axiomas, y a partir de esto deriva una contradicción lógica. Podemos visualizar la teoría de Aristóteles en la siguiente imagen, siguiendo el modelo de Einstein.

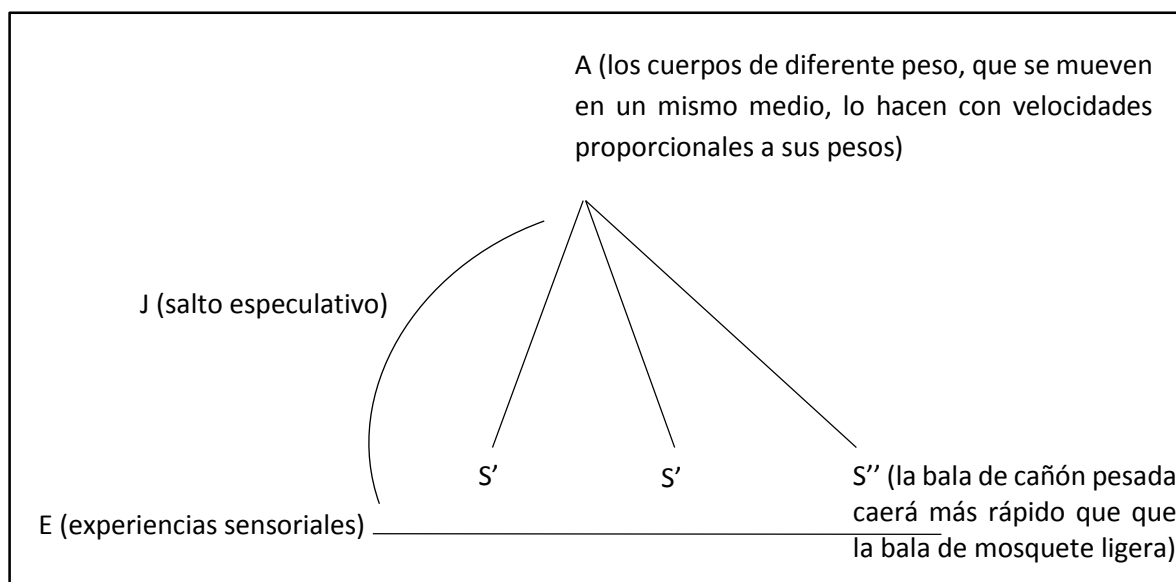


Fig. 9 Representación de la teoría del movimiento de Aristóteles, utilizando el modelo de construcción de una teoría según Einstein.

⁵³ En este trabajo utilizamos frecuentemente el caso de la filosofía de la mente como ejemplo opuesto, ya que en esta área se valoran las posibilidades metafísicas, mientras que en el área de la física se priorizan las posibilidades físicas o nomológicas. Esto no significa que en la primera no se consideren las posibilidades físicas y viceversa, sino únicamente que la tendencia en cada una es priorizar un tipo de posibilidad sobre la otra.

Aristóteles postula como axioma que *los cuerpos pesados se mueven más rápidamente que los cuerpos livianos*. Por lo que un cuerpo, siguiendo el ejemplo de Salviati, que sea *diez veces más pesado que otro se moverá diez veces más rápido que el otro, si son del mismo material y si se mueven en el mismo medio*. A partir de esto Galileo presenta la contradicción conocida, a saber, que *la combinación de dos cuerpos cuyas velocidades naturales sean diferentes, al unirlos, el más rápido será retardado en parte por el más lento y el más lento será acelerado un poco por el más rápido*.

La segunda parte del experimento –constructiva- se puede representar de la siguiente manera:

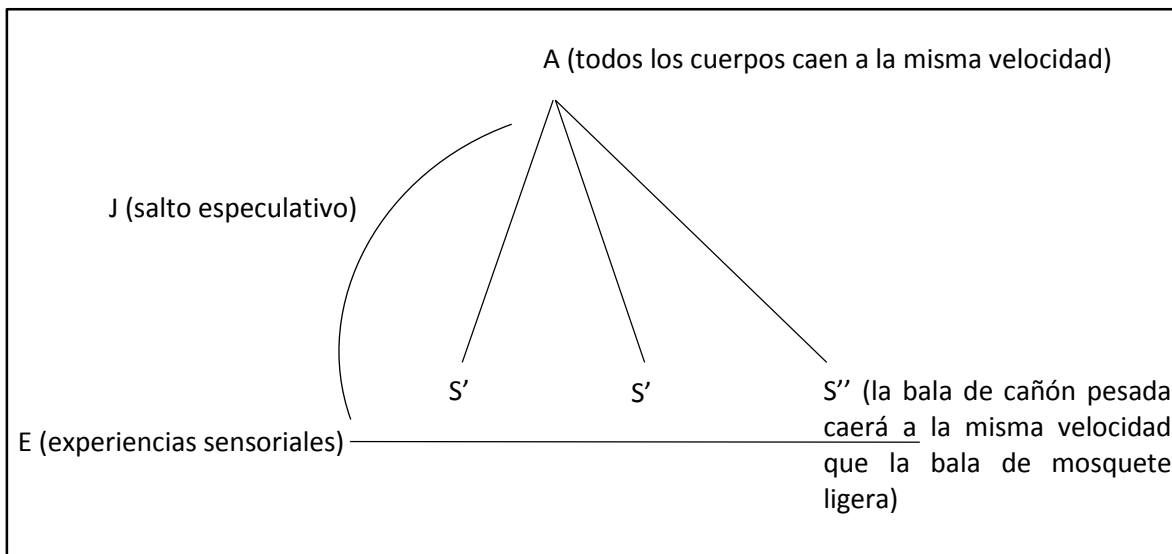


Fig. 10 Representación de la teoría del movimiento de Galileo, utilizando el modelo de construcción de una teoría según Einstein.

Galileo postula como axioma que *los cuerpos grandes y pequeños tienen la misma gravedad específica independientemente de su peso*, en otras palabras que *todos los cuerpos caen a la misma velocidad (en el vacío/sin resistencia/si se encuentran bajo misma gravedad específica)*. Y como predicción (S'') que *tanto la piedra grande como la piedra pequeña caerán a la misma velocidad y tocarán juntas el piso*.

Como podemos observar, en el experimento Galileo propone imaginar un escenario de interés para la ciencia, no en el sentido de que a la ciencia le interesara evaluar

las teorías de Aristóteles, al menos no a la ciencia tradicional y escolástica, sino más bien que la forma en que Galileo evaluó esto fue considerando los valores metodológicos que eran importantes para la nueva ciencia de los siglos XVI y XVII.

De esta manera, el escenario que propone Galileo no es un escenario fantasioso que apele a mundos imposibles y posibilidades metafísicas, sino más bien, a posibilidades físicas y nomológicas. Se trata de un escenario donde se puede evaluar una hipótesis enmarcada dentro de los principios y presupuestos de la teoría aristotélica del movimiento, considerando sus axiomas, para así poder obtener resultados que sean significativos y relevantes para el mundo actual y para la comunidad científica de la época.

Galileo considera la teoría de Aristóteles para construir el experimento, en los *Discorsi* explica brevemente sus principios y las razones para oponerse a la idea del *vacío*. Como es sabido, Aristóteles argumentó que *el movimiento era precisamente el fenómeno que hacía insostenible la idea de <vacío>* (Galileo, 1914 [1638], p. 61), algo con lo que Galileo no estaba de acuerdo, al menos no con que la idea del vacío, considerado absolutamente y no con referencia al movimiento, fuera inválida. Así pues, la teoría aristotélica le permite construir un escenario conocido, de entrada aceptable, pues era la teoría vigente y al mismo tiempo el escenario propuesto resulta simple y viable.⁵⁴

La contrafacticidad del experimento es moderada para la época, ya que la condición más complicada es evitar/lidiar con la resistencia de aire en los dos cuerpos al caer. Por ello, Galileo insiste en que los cuerpos deben ser del mismo material y moverse en el mismo medio sin que ninguna *violenza* [fuerza], *impeto* [ímpetu] o resistencia aumente o disminuya su velocidad (Galileo, 1914 [1638], p. 63); lo que se podría interpretar actualmente como una cámara de vacío⁵⁵. Fuera de esto lo demás es

⁵⁴ Thomas S. Kuhn (1982 [1977]), en *La tensión esencial*, cap. 10, “Una función para los experimentos mentales”, señala que los experimentos mentales empiezan con una situación familiar y luego generan algo extraño en ella.

⁵⁵ Aunque en la época de Galileo no era posible generar las condiciones de vacío que el experimento requería para evaluar la caída de los cuerpos, en todo caso era sólo cuestión de tiempo para que los avances tecnológicos permitieran construir el escenario adecuado. Mientras tanto, en esa época, las condiciones adecuadas se generaban mentalmente.

viable, no hay impedimentos teóricos, los materiales son simples, el escenario también, al igual que las indicaciones.

De hecho, aunque la contrafacticidad sea media, Galileo se asegura de que subir mentalmente a la torre y ejecutar el experimento de manera *a priori* sea suficiente para aceptar los resultados, los cuales son por sí mismos convincentes. No olvidemos que la lógica era una de las herramientas para argumentar más valoradas, por lo que esto fue indispensable para que Galileo pudiese argumentar con una herramienta establecida y ampliamente aceptada. Por ello, el argumento por reducción al absurdo en el experimento fue contundente en contra de la teoría de Aristóteles.

El tipo de posibilidad y el grado de contrafacticidad fueron fundamentales en el éxito y aceptación de este experimento. Si Galileo no hubiese involucrado posibilidades físicas y nomológicas el escenario hubiera sido poco significativo para sus colegas y para la nueva ciencia. Y lo mismo hubiese ocurrido si el grado de contrafacticidad hubiese sido alto.

La nueva ciencia priorizaba el razonamiento *a priori*, lógico y matemático, por lo que la posibilidad física y nomológica permitió que las hipótesis que Galileo estaba evaluando en el plano hipotético se mantuvieran en terreno de interés. Este tipo de posibilidad asegura la conexión con el plano de la experiencia sensorial (E)⁵⁶, tan importante para la nueva ciencia, ya que todos los resultados (predicciones) tienen que basarse y corroborarse con este plano (o por lo menos ser susceptibles de hacerlo). Y así mismo, para que esto último ocurra es necesario que la contrafacticidad lo permita, si la contrafacticidad del experimento hubiese sido alta, ello hubiese significado que el experimento, por más que considerara las leyes vigentes de la física, no hubiese sido susceptible de ser llevado a cabo, ya sea por cuestiones tecnológicas o debido a imposibilidades teóricas, y esto no hubiese sido

⁵⁶ El plano de la experiencia (E), como lo denomina Einstein en su modelo para la creación de teorías, es simplemente una forma para referirse al plano de las observaciones que eran importantes para la ciencia de los siglos XVI y XVII. Considero que la terminología resulta útil para referirnos a este aspecto de aquella época.

algo favorable para la aceptación del experimento porque, como vimos, la corroboración de las predicciones o al menos su posibilidad, era algo importante. No era suficiente pues, sólo considerar las teorías y leyes vigentes de la época (posibilidades físicas y nomológicas), sino que era indispensable considerar la corroboración, ya sea inmediata o futura (contrafactividad media). Y en este sentido, Galileo consideró ambas cosas en el experimento de la torre inclinada, dos valores importantes para él mismo y la metodología de la ciencia.

Galileo no cae en el libre juego de la imaginación, es decir, no le da rienda suelta a la fantasía, no construye quimeras explicativas, ni escenarios fantásticos, sino que la imaginación icónica le permite guiar de manera adecuada la construcción del escenario hipotético del experimento, con base en los principios teóricos de la teoría aristotélica y en los principios de su propia teoría del movimiento.

3.2 El navío con moscas

El experimento mental del *navío con moscas* se encuentra en la segunda jornada de los *Diálogos*. En esta segunda jornada Galileo se encargará de estudiar el movimiento de la Tierra, a saber, el movimiento de rotación que realiza al girar sobre sí misma y dar una vuelta completa cada veinticuatro horas. Mientras que en la jornada previa Galileo se había enfocado en reflexionar sobre las semejanzas y diferencias entre los astros y la Tierra y estableció que la Tierra es un cuerpo móvil que goza de las mismas perfecciones que los otros cuerpos celestes y que no es menos errante que los demás planetas.

Galileo establece que el movimiento de la Tierra debía ser semejante al movimiento de los otros cuerpos celestes, es decir, debía ser un movimiento común. Y a partir de esto, considera que el movimiento diurno es el movimiento más verosímil para la

Tierra, por ser el más general y el que nos parece que tienen el resto de los astros que se mueven de oriente hacia occidente en veinticuatro horas. Esta hipótesis explicativa contradecía a Aristóteles y Ptolomeo, quienes consideraban que la Tierra estaba inmóvil, por lo que Galileo se enfocará en lo subsiguiente en mostrar de diversas maneras que la Tierra se mueve y que su movimiento es imperceptible para sus habitantes. A lo largo de la segunda jornada presentará varios experimentos mentales, todos con el mismo objetivo, a saber, contradecir los argumentos de Aristóteles sobre la inmovilidad de la Tierra, en particular el argumento de los graves que caen. Y es en este contexto que se enmarca el experimento mental del *navío con moscas*.

El argumento aristotélico de los graves que caen es quizás el argumento más conocido de todos los que Aristóteles presenta para defender el reposo de la Tierra. El argumento se basa en la experiencia y afirma que los graves que caen de arriba abajo lo hacen de manera perpendicular sobre la superficie de la Tierra. Al igual que lo hacen los proyectiles lanzados perpendicularmente hacia arriba, éstos al caer vuelven perpendicularmente por las mismas líneas hacia abajo, no importa la altura. De esto se concluye que la Tierra no se mueve, ya que de hacerlo tanto los graves como los proyectiles caerían lejos de la base del edificio desde el cual fueron lanzados. Lo mismo pasaría si desde una torre se dejara caer una piedra o una bola de plomo desde la cima del mástil de una nave que esté quieta, el movimiento de rotación de la Tierra haría que la piedra y la bola de plomo cayeran lejos de la base de la torre y el mástil, respectivamente; sin embargo, para Aristóteles la experiencia nos muestra lo contrario, tanto la piedra como la bola de plomo caen en línea recta hacia abajo y eso se debe a que la Tierra está inmóvil.

En la siguiente figura podemos observar la estructura del argumento aristotélico:

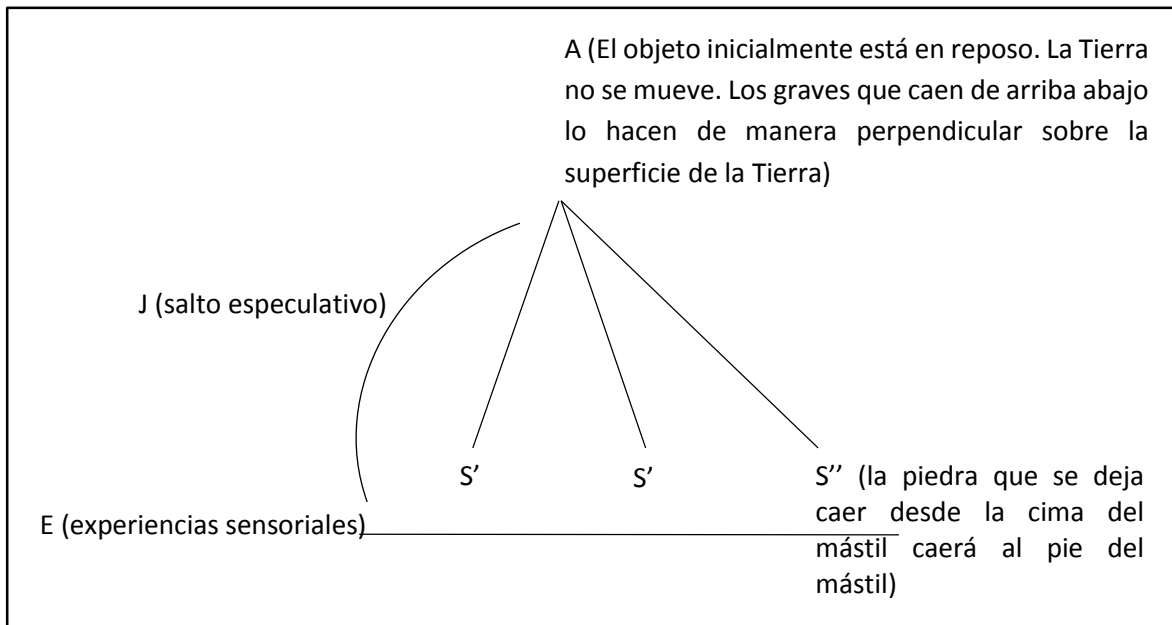


Fig. 11 Representación de la teoría aristotélica sobre la inmovilidad de la Tierra.

Para refutar el argumento anterior, Galileo primero trata de presentar al movimiento y al reposo como accidentes importantes de la naturaleza y por ende de la Tierra, ya que ésta es un cuerpo principal y considerable del universo, pero el argumento más importante en contra de los cuerpos graves que caen (inmovilidad de la Tierra) es la falacia de petición de principio que Galileo identifica en el argumento aristotélico.

Galileo en voz de Salviati comienza por suponer que, si la Tierra se moviese, el movimiento de la piedra que cae de la torre tendría que ser un conjunto de movimientos, en particular de dos, el movimiento perpendicular que tendría que tener la piedra al caer desde lo alto de la torre y otro movimiento que tendría que tener para seguir a la torre.

Es decir, si la Tierra se moviese, el movimiento de la piedra sería un compuesto de dos movimientos y su trayectoria no sería ya en línea recta y perpendicular, sino transversal.

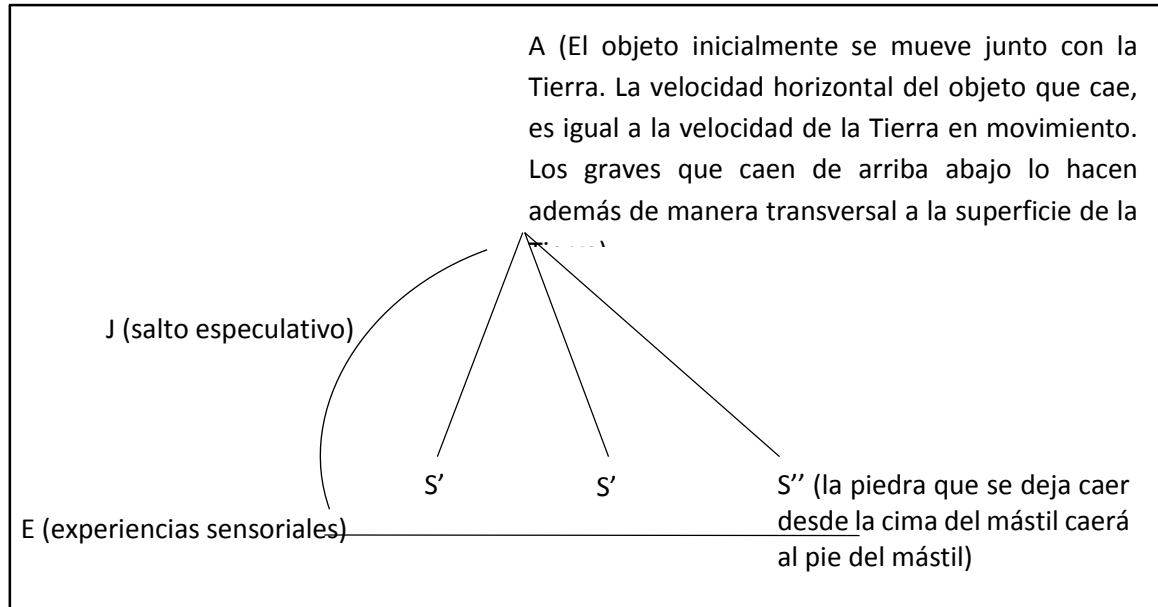


Fig. 12 Representación de la teoría galileana sobre la movilidad de la Tierra.

De lo anterior se sigue, continua explicando Galileo, que no se puede afirmar con seguridad que la piedra que cae desde la torre describa una línea recta y perpendicular sólo porque vemos que la piedra cae rozando la torre. Para afirmar lo anterior, a saber, que la trayectoria es recta y perpendicular, tenemos que suponer primero que la Tierra esta inmóvil. Y en esto radica la petición de principio, ya que en la situación anterior, se supone como conocido lo que se trata de demostrar.⁵⁷

De esta manera, el argumento de los graves que caen no puede ser un argumento valido para defender la inmovilidad de la Tierra; ni tampoco, dice Galileo, para atacar su movilidad. La discusión la podemos observar en los *Discorsi* como sigue:

⁵⁷ En el argumento aristotélico de la falacia se puede leer de la siguiente manera:

1. La piedra que cae desde la cima del mástil lo hace en una línea recta y perpendicular, Debido a la inmovilidad de la Tierra
2. La piedra cae al pie del mástil en línea recta y perpendicular
3. Por lo tanto, la Tierra está inmóvil

SALVIATI. He aquí, pues, el paralogismo de Aristóteles y de Ptolomeo claro y evidente y descubierto por vos mismo, en el que se supone como conocido lo que se trata de demostrar.

SIMPLICIO. ¿De qué modo? A mi me parece un silogismo formalmente correcto y no una petición de principio.

SALVIATI. He aquí como. Decidme: ¿en la demostración no se tiene a la conclusión por desconocida?

SIMPLICIO. Desconocida, porque de otro modo el demostrarla sería superfluo.

SALVIATI. Pero, ¿no conviene que el término medio sea conocido?

SIMPLICIO. Es necesario, porque de lo contrario sería un querer probar *ignoratum per aequae ignotum*.

SALVIATI. Nuestra conclusión que debe probarse, y que es desconocida, ¿no es el estatismo de la Tierra?

SIMPLICIO. Eso es.

SALVIATI. El término medio, que debe ser conocido, ¿no es la caída recta y perpendicular de la piedra?

SIMPLICIO. Ese es el término medio.

SALVIATI. Pero, ¿no hemos concluido hace poco que no podemos tener conocimiento de que tal caída sea recta y perpendicular, si antes no es conocido que la Tierra está quieta? Así pues, en vuestro silogismo la certeza del término medio se deduce de la incertidumbre de la conclusión. Ved, pues, cuál es el paralogismo y hasta qué punto lo es.

(Galileo, 2011 [1632], p. 124)

En el argumento aristotélico de los graves, la conclusión que se pretende probar se asume como parte de las premisas, al considerar que la trayectoria de la piedra es recta y perpendicular. Galileo busca refutar el argumento más importante a favor de la inmovilidad de la Tierra, o en todo caso debilitarlo, al decir que por lo menos no se puede estar seguro de que la trayectoria sea recta y perpendicular, ya que lo que observamos, a saber, que la piedra cae rozando la torre, bien podría deberse al movimiento compuesto de la piedra suponiendo que la Tierra se moviese.

Galileo también se enfoca en distinguir entre el movimiento natural y el movimiento no natural, para atacar la idea de que la piedra que se deja caer desde la cima del mástil de una nave, cae al pie del mástil si la nave está quieta pero si la nave avanza la piedra cae tan lejos del mismo punto cuanto la nave, en el tiempo de la caída de la piedra, se ha desplazado hacia adelante. Para Galileo no hay paridad entre el caso de la nave y el caso de la Tierra; y esto se debe precisamente al tipo de movimiento involucrado en cada caso. El movimiento de la nave es diferente del movimiento diurno de la Tierra -en caso de que lo tuviera aclara Galileo. El movimiento de la nave no es un movimiento natural, sino accidental, al igual que lo es para todas las cosas que están en ella. Sin embargo, el movimiento diurno es un movimiento propio al globo terrestre, impreso por la propia naturaleza y, en consecuencia, a todas sus partes de manera inherente. De esto se sigue, que el argumento de la piedra que cae del mástil de la nave en movimiento, tampoco sea un argumento concluyente en contra de la movilidad de la Tierra. Ya que si la Tierra se moviese, al igual que una nave en el mar, *su movimiento sería natural y no un movimiento extraño y artificial como el que se le confiera a una nave por la fuerza de los remos, y por ella a todas las cosas que contiene [...]* (Cfr. Galileo, 2011 [1632], p. 126).

El razonamiento aristotélico sobre la inmovilidad de la Tierra se resume hasta este punto como sigue. Galileo lo resume, en voz Salviati, de la siguiente manera:

SALVIATI. [...] si la nave está quieta, la piedra cae al pie del mástil, y si está en movimiento cae lejos del pie, por la inversa, del hecho de que la piedra caiga al pie se infiere que la nave está quieta, y del hecho

de que caiga lejos se deduce que la nave se mueve. Y puesto que lo que ocurre en el caso de la nave debe igualmente suceder en el caso de la Tierra, del hecho de que la piedra caiga al pie de la torre se infiere necesariamente la inmovilidad del globo terrestre [...]

(Galileo, 2011 [1632], p. 127)

La estrategia de Galileo se concentra en romper la analogía entre el caso de la nave que se mueve con el caso de la Tierra, ya que el tipo de movimiento involucrado es de naturaleza distinta. Por ello, el argumento de la nave que se mueve no tiene fuerza de inferencia para el argumento de la torre ni, por ende, para el caso de la Tierra. La Tierra si se moviese, lo haría con un tipo de movimiento distinto que afectaría el movimiento de las cosas que están en ella. Pero quizás el argumento más interesante de Galileo en este punto, no es disolver la analogía anterior, sino poner en duda los testimonios que han dado cuenta, de manera *a priori* o incluso falsa, de la experiencia de la nave.

Galileo le pregunta a Simplicio si ha tenido alguna vez la experiencia de la nave que se mueve, a lo que éste responde que no lo ha hecho, pero que seguramente los autores que la aducen sí la han observado cuidadosamente. Para Galileo esto constituye razón suficiente para poner en duda la experiencia de los otros autores, ya que si el mismo Simplicio está tan seguro de lo que pasaría, sin haberlo observado personalmente, es posible, y de hecho necesario, que también esos otros autores hayan hecho lo mismo, es decir, remitirse a sus antecesores, sin llegar nunca a alguien que la haya hecho en realidad (Cfr. Galileo, 2011 [1632], p. 127). En este punto, Galileo busca desestimar los testimonios que aseguran que la piedra que se deja caer desde lo alto del mástil de la nave en movimiento caería lejos de la base. Sin embargo no queda claro si la razón es el carácter *a priori* de los testimonios (experimentación mental) o el total escepticismo ante la posibilidad de que si quiera lo hayan realizado de manera física.

Sería algo extraño, aunque no ajeno al carácter de Galileo, que éste buscara desestimar los testimonios por la razón primera, ya que de hecho él mismo utiliza la

metodología *a priori* para defender la movilidad de la Tierra, a saber, con los diferentes experimentos mentales que presenta, en especial con el experimento del navío con moscas. De hecho, hacía poco le había dicho a Simplicio, discutiendo sobre que el movimiento del aire podía llevar consigo a las cosas ligeras pero no a las graves, que una experiencia se podría observar con el *ojo de la mente*; un término que se ha utilizado popularmente para referirse a la percepción a través de la experimentación mental:

SALVIATI. [...] Si queréis proponer una experiencia más ajustada al caso, debéis decir que se observaría, si no con el ojo de la frente, al menos con el de la mente, lo que sucedería si un águila llevada por el ímpetu del viento nos dejase caer de sus garras una piedra. Dado que al partir de las garras, la piedra ya volaba a la par con el viento, y una vez que ha partido entra en un medio que se mueve con la misma velocidad, estoy totalmente convencido de que no se vería caer hacia abajo perpendicularmente, sino que siguiendo el curso del viento y añadiéndole el de la propia gravedad, se movería con un movimiento transversal.

(Galileo, 2011 [1632], pp. 126-127)

Galileo asegura que los testimonios descansan en la buena fe hacia los antecesores, ya que la experiencia muestra en realidad lo contrario de lo que esos testimonios afirman y de lo que se ha escrito al respecto: *la piedra cae siempre en el mismo lugar de la nave, tanto si está quieta como si se mueve con cualquier velocidad* (Cfr. Galileo, 2011 [1632], p. 128).

Con el argumento anterior Galileo sigue socavando el supuesto paralelismo entre la argumentación del movimiento de la nave y el movimiento de la Tierra; ya había distinguido entre la naturaleza de esos movimientos, ahora intenta poner en duda la credibilidad de los testimonios que aseguran que la piedra caería lejos si la nave se moviese. Una vez más su objetivo es concluir, por lo menos, que de la observación de la piedra que cae siempre perpendicular al pie de la torre no se puede inferir

nada ni sobre el movimiento de la Tierra ni sobre su reposo.

Como es de esperarse, y como comentábamos anteriormente, Galileo asegura de la misma forma su afirmación, sin tampoco haber tenido ninguna experiencia física para sustentarla, excepto la del pensamiento. E incluso le responde a Simplicio con la famosa frase que ilustra su confianza en el razonamiento *a priori*:

SALVIATI. Yo sin experiencia estoy seguro de que el efecto se dará como os digo, porque es necesario que así suceda. Y además añado que también vos sabéis que no puede suceder de otro modo, por más que fingís o simuláis fingir que no lo sabéis. Pero yo soy tan buen domador de cerebros que os lo haré confesar a viva fuerza.

(Galileo, 2011 [1632], p. 128)

Lo anterior ha sido uno de los elementos del pensamiento galileano más discutidos, ya que algunos historiadores como Koyré consideran que esto ilustra claramente el aspecto platónico de Galileo, de su metodología y de su concepción de la nueva ciencia. Mientras que otros, como Drake [o Shapere], se concentran más bien en destacar la parte empirista y experimentalista de Galileo. Beltrán Marí, editor y comentarista de la obra de Galileo, considera que la declaración de Galileo es simplemente un recurso retórico y que Galileo en la *Lettera a francesco Ingoli in risposta alla <<Disputatio ded situ et quiete terrae>>* de 1624, mucho antes de la publicación de los Diálogos, afirmó que sí había tenido la experiencia: <<yo he hecho la experiencia, antes de la cual el razonamiento natural me había persuadido muy firmemente de que el efecto debía suceder como efectivamente sucede; y no me fue difícil conocer su engaño.>> (Opere, VI, p. 545). Para Beltrán Marí el apriorismo aludido por Galileo tiene como objetivo <<rehacer los cerebros>>, es decir, cambiar la percepción y el esquema conceptual de los que están inmersos en la teoría tradicional. El razonamiento *a priori* es una nueva forma de proceder en la ciencia, en el sentido de que no era la forma aceptada y tradicional para hacerlo, y Galileo se está encargando de presentarlo como un procedimiento confiable y seguro para investigar. Galileo está haciendo propaganda metodológica, de lo

contrario como bien señala Beltrán Marí, por qué simplemente no se limitó a decir que el experimento muestra que Salviati tiene razón. Por el contrario, la declaración que hace Galileo tiene la intención de mostrar la fuerza de la experimentación mental.

En este contexto argumentativo y acorde con lo anterior, Galileo presenta el experimento mental del navío con moscas, para argumentar una vez más a favor de la movilidad de la Tierra o por lo menos socavar los argumentos aristotélicos a favor de su inmovilidad. El experimento es el siguiente:

Encerraos con algún amigo en la mayor estancia que esté bajo cubierta de algún gran navío, y meted en ella moscas, mariposas y animalillos voladores parecidos. Haya también un recipiente grande de agua con pececillos dentro. Además manténgase en alto un cubo, que gota a gota vaya dejando caer el agua en otro recipiente de boca estrecha, situado debajo. Cuando la nave esté quieta, observad atentamente que los animalillos volantes se mueven en todas las direcciones de la estancia con igual velocidad. Veréis que los peces nadan indistintamente hacia todos los lados. Las gotas que caen entrarán todas en la vasija situada debajo. Y vos, a un tirar algo al amigo, si las distancias son iguales no tendréis que lanzarla con más fuerza hacia una parte que hacia otra, si las distancias son iguales. Y si saltáis, como suele decirse, con los pies juntos, os desplazareis igual espacio con independencia de la dirección. Una vez que hayáis observado diligentemente todas estas cosas aunque no haya ninguna duda de que mientras el bajel está parado tienen que suceder así, haced mover la nave con la velocidad que sea. Veréis que (con tal que el movimiento sea uniforme y no fluctuante hacia aquí y hacia allá) no observaréis el más mínimo cambio en ninguno de los efectos mencionados y que, a partir de ellos, no podréis determinar si la nave avanza o está quieta. Al saltar, os desplazareis en el entablado los mismos espacios que antes y no se dará el caso que, porque la nave

se mueva velocísimamente, daréis mayores saltos hacia popa que hacia proa aunque en el tiempo que estáis en el aire el entablado que está debajo de vos se desplace hacia la parte contraria a vuestro salto. Y al lanzar alguna cosa al compañero, no necesitaréis tirarla con más fuerza para que le llegue, si él está hacia la proa y vos hacia la popa, que si estuvieseis al revés. Las gotas caerán como antes en el vaso inferior, sin que ni siquiera una caiga hacia popa por más que, mientras la gota está en el aire, la nave se desplace muchos palmos. Los peces en su agua no requerirán mayor esfuerzo para nadar hacia la parte delantera del recipiente que hacia la posterior, sino que llegarán con igual facilidad a la comida puesta sobre cualquier lugar del borde del recipiente. Finalmente, las mariposas y las moscas continuarán su vuelo indistintamente hacia cualquier lado, y en ningún caso sucederá que se queden hacia la pared que mira a popa como si estuvieran fatigadas de seguir la veloz carrera de la nave, de la que habrán estado separadas por mucho tiempo, al mantenerse en el aire. Y si quemáis una lágrima de incienso se formará un poco de humo que se verá ascender y mantenerse en lo alto como una nubecilla totalmente indiferente al movimiento hacia uno u otro lado. La causa de la total correspondencia de estos efectos es que el movimiento de la nave es común a todas las cosas contenidas en ésta incluyendo el aire, porque por eso dije yo que se estuviese bajo cubierta. Puesto que si se estuviese sobre ésta, al aire libre que no sigue el curso de la nave, se verían diferencias más o menos notables en algunos de los efectos mencionados. No hay duda de que el humo quedaría atrás, como el aire mismo. Igualmente las moscas y las mariposas, obstaculizadas por el aire, no podrían seguir el movimiento de la nave si se separasen de ésta por un espacio considerable. Pero si se mantuvieran próximas, puesto que la nave, por estar construida con anfractuosidades lleva consigo el aire próximo, seguirían la nave sin dificultad o fatiga. Quizás por esta misma razón vemos que, cuando las caballerías corren, las

moscas importunas y los tábanos siguen a los caballos volando ahora en ésta ahora en aquella parte de su cuerpo. Pero por lo que hace a las gotas que caen la diferencia sería poca, y en los saltos y en los proyectiles graves totalmente imperceptible.

(Galileo, 2011 [1632], pp. 162-163)

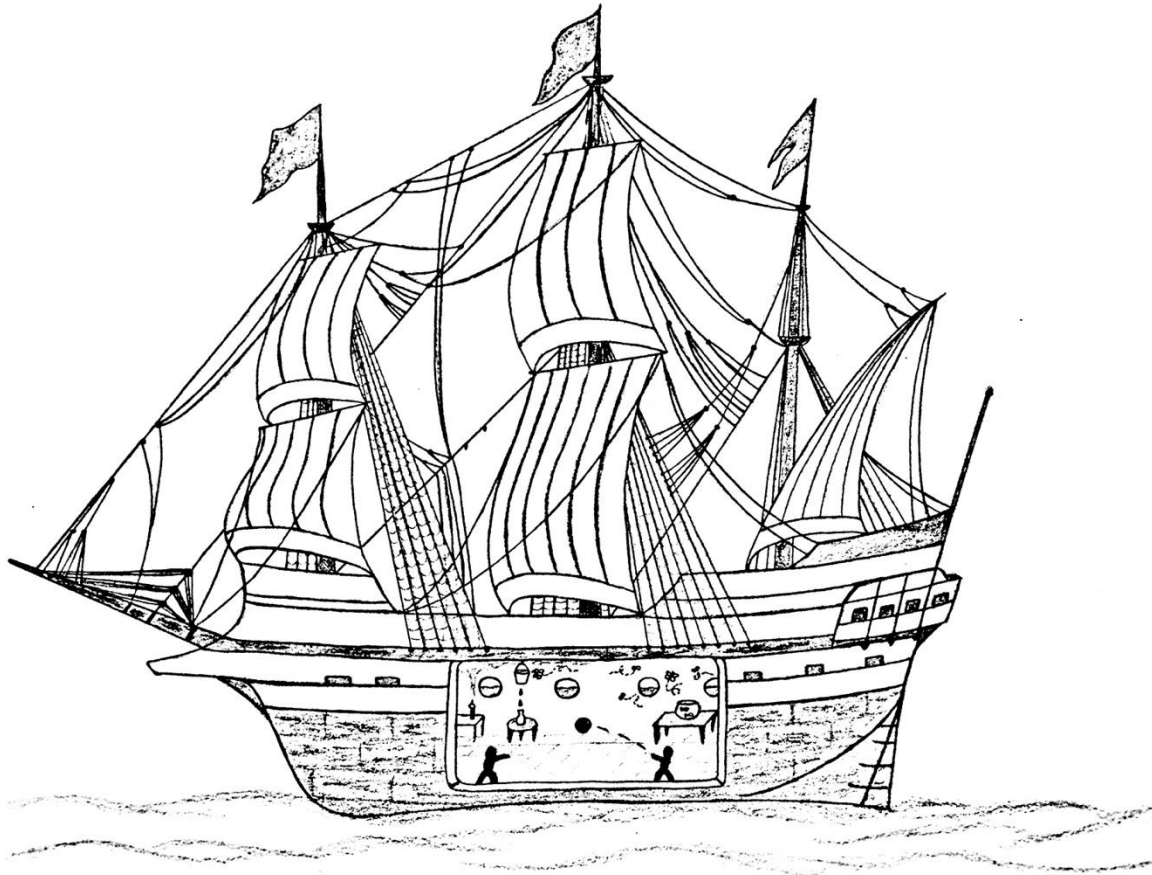


Fig. 13 El navío con moscas

Galileo retoma la diferencia entre el movimiento natural y el movimiento no natural para explicar que el movimiento en la estancia bajo cubierta de la nave es natural y común a todas las cosas contenidas en ésta, incluyendo el aire que está constreñido. La analogía que busca establecer es entre este tipo de movimiento que se observa en la estancia bajo cubierta y el movimiento de la Tierra, el cual afecta de igual manera a todas las cosas contenidas en ella.

La estructura del experimento cuida, como siempre, el aspecto imaginativo, contrafáctico y modal (necesidades y posibilidad físicas). Galileo no le da rienda suelta a la imaginación, al contrario cuida muy bien la situación hipotética que está construyendo, de tal manera que resulte clara, nítida, factible y sobre todo significativa para la ciencia.

El escenario está lleno de elementos y detalles que cumplen una función importante, a saber, lograr que el lector identifique mentalmente las condiciones necesarias para ejecutar el experimento, estos elementos forman parte sustancial para entender los resultados y, por ende, para aceptar o rechazar la conclusión. Por ello, Galileo cuida tanto estos detalles, se detiene en su consideración y no apresura la construcción del escenario, más bien se toma el tiempo de hacerlo claro, nítido y visible al pensamiento. La imaginación icónica está guiada por un propósito cognitivo bien definido, no se trata de incorporar cualquier elemento, sino sólo aquellos que servirán para el propósito; en este caso refutar los argumentos presentados en contra de la movilidad de la Tierra. La construcción del escenario, la cual es una parte del diseño del experimento mental, tiene que estar bien delimitada, de lo contrario el resultado que se quiere mostrar no será claro y el lector podría divagar o incluso perderse en un escenario ambiguo y confuso; en cualquier caso el resultado no sería el esperado.

Otro aspecto que se relaciona con la imaginación involucrada es la narración. En el experimento mental podemos observar que Galileo dirige la forma en la que hay que pensar y ejecutar el experimento, va dando indicaciones y los pasos que tenemos que seguir para edificarlo mentalmente: *Encerraos con algún amigo en la mayor estancia que esté bajo cubierta de algún gran navío, y meted en ella moscas, mariposas y animalillos voladores parecidos*. En este caso la imaginación icónica le permite a Galileo guiar la narración de manera clara y lograr que el recorrido mental esté dirigido de buena manera; cualquier otro tipo de imaginación científica hubiese dirigido la narración de forma diferente, por ejemplo la imaginación visual, hubiera involucrado un escenario más general, menos rico en detalles, más básico y difuso, con la imaginación metafórica se hubiera concentrado en los elementos poéticos y

literarios y con la imaginación temática hubiese procedido incluso en contra de la evidencia considerara por él mismo. Ninguno de estos otros tipos de imaginación comulga con el estilo metodológico de Galileo ni le hubieran permitido lograr la riqueza de detalles y la claridad narrativa que logró con la imaginación icónica. El estilo galileano se basa en el uso de los datos teóricos, las observaciones, el conocimiento previo y el razonamiento lógico, entre otros, por lo que la imaginación icónica fue la que le permitió construir de esa manera el escenario y establecer las condiciones para el objeto de estudio en una forma considerada relevante y significativa para la física de aquella época.

De esta manera, el escenario construido no se trata de un escenario fantasioso, donde la imaginación jugó de manera libre y arbitraria, sino de un escenario posible y real en el sentido de que puede reproducirse si así se desea de la forma descrita. Bastaría con ir a un muelle, encontrar un navío, entrar con un amigo y colocar el resto de los elementos mencionados para reconstruir el escenario y corroborar los resultados aludidos cuando la nave esté en movimiento. Ninguno de los elementos involucrados en el experimento mental es ficticio, por el contrario, son todos reales y relativamente fáciles de encontrar.

Lo anterior nos lleva a considerar el segundo elemento de la configuración de este experimento mental, a saber, su contrafactividad, la cual está estrechamente ligada al tipo de imaginación involucrada. Este caso, y en realidad en la mayoría⁵⁸ de los experimentos mentales galileanos, la contrafactividad utilizada es de grado medio y, como ya vimos, el tipo de imaginación es icónica. La imaginación se encarga de establecer desde el inicio los elementos que estarán presentes en el escenario hipotético y la forma en la que lo estarán, por lo que, si estos elementos son fantasiosos, su realización física será imposible. En cambio si los elementos no son fantasiosos, reproducir las condiciones del experimento será factible, si así se desea. En este caso, la contrafactividad del experimento del *navío con moscas* es

⁵⁸ Galileo utiliza un grado medio de contrafactividad en la mayoría de sus experimentos mentales, aunque en algunos casos se puede visualizar un grado bajo sobre todo en los experimentos mentales menores.

de grado medio, precisamente porque llevar a cabo dicho experimento es posible y, como ya mencionamos, relativamente fácil. No existen impedimentos teóricos o tecnológicos, ni en la época de Galileo ni ahora, para llevar a cabo el experimento descrito. Su realización física es posible y aunque no se sienta la necesidad de hacerlo, tener la posibilidad de corroboración es fundamental.

Para Galileo la ejecución del experimento en el pensamiento es por sí sola suficiente (no es necesario mencionar que dicha experimentación considera los datos teóricos, las observaciones, el conocimiento previo, el razonamiento lógico, entre otros) para saber si la conclusión derivada es necesaria, su confianza es notable, pero al mismo tiempo entiende que si quiere establecer la metodología *a priori* como una forma aceptable para investigar en la ciencia, y por ende, como una herramienta aceptable en sus propias investigaciones y escritos, tiene que hacerlo inteligentemente. Por ello, el grado medio de contrafacticidad es un elemento importante que está presente sobre todo como una especie de garantía para los otros, quienes no sólo están reacios a sus opiniones y argumentos en contra de Aristóteles y Ptolomeo, sino acostumbrados al sentido común, las observaciones cotidianas y a un empirismo ingenuo.

La posibilidad de realización física (contrafacticidad media) constituye así un elemento que inspira confianza, tanto para ejecutar el experimento en el pensamiento como para aceptar los resultados, ya que el escenario se basa en experiencias que consideramos cercanas, familiares o en todo caso fáciles de corroborar. El ingenio de Galileo para pensar en escenarios cotidianos es brillante y con ello deja de lado cualquier actitud escéptica que obstaculizaría desde el inicio la consideración de sus experimentos.

Por último, la configuración del experimento también considera el aspecto modal, el cual indica los elementos que son necesarios y posibles físicamente en el escenario construido. En el escenario hipotético es necesario, por ejemplo, que la estancia bajo cubierta se pueda abrir y cerrar, que el agua para que esté contenida tiene que estar en una vasija, que los peces, para poder nadar y seguir vivos, estén dentro de dicha vasija, que los animalillos que se introducen vuelen en diferentes direcciones

o que la nave que se pone en movimiento para navegar en el mar lo haga una velocidad uniforme y menor a la velocidad de la luz, etc., es decir, que todos los objetos y cosas que se encuentran en el interior de la estancia se comporten de acuerdo con las leyes físicas del universo, aceptadas en ese momento, ya sea para evaluar el comportamiento de dichos objetos y cosas o para problematizar incluso la verdad de dichas leyes y refutarlas. En este caso Galileo busca atacar el argumento de la inmovilidad de la Tierra y, por ende, refutar las leyes aristotélicas del movimiento. O por lo menos lograr una adaptación de dichas leyes en una Tierra móvil, como en el caso de la combinación de movimientos en la piedra que cae de la torre, el movimiento natural y el movimiento transversal. Esta es una adaptación del movimiento aristotélico que afirma que la piedra tiene la inclinación natural de caer de manera perpendicular hacia el centro de la Tierra y el movimiento transversal (Galileo) que afirma que sí cae hacia el centro de la Tierra pero no de manera perpendicular, sino transversal, ya que también sigue el movimiento de la torre en la Tierra; porque la torre ha lanzado a la piedra, como lo hace el águila, con una velocidad inicial horizontal.

El experimento considera así pues, las leyes vigentes pero también las modificaciones y adaptaciones hechas por Galileo, cuyo objetivo es mostrar que el comportamiento de los objetos y cosas que se encuentran en la estancia bajo cubierta de la nave en movimiento es similar al comportamiento de los objetos y cosas que se encuentran en la superficie de la Tierra en movimiento; y que el aire en todo caso es un factor que puede cambiar el comportamiento de dichos objetos y cosas, sobre todo de los objetos y cosas que están hechos de materiales ligeros. Y así como podemos observar en el escenario hipotético del experimento que *la causa de la total correspondencia de estos efectos es que el movimiento de la nave es común a todas las cosas contenidas en ésta incluyendo el aire [...]* Así observamos esos mismos efectos de las cosas y objetos que están en la Tierra en movimiento, un movimiento uniforme que es imperceptible precisamente porque nos afecta, nos incluye y nos es común. La inmovilidad de la Tierra no es necesaria como creían Aristóteles y Ptolomeo. El comportamiento de los objetos, cosas y fenómenos se pueden explicar desde la movilidad, ésta es una posibilidad física y

la razón principal de haber construido el experimento mental. En otras palabras, dentro de la cubierta, las piedras siguen cayendo a los pies de los mástiles, aunque la nave esté navegando.

El aspecto modal (necesidades y posibilidades físicas o nomológicas) va unido a los otros dos elementos previos, a saber, imaginación icónica y contrafacticidad media, de tal manera que los tres forman una relación coherente y consistente que ilustra el estilo galileano de configuración. Este estilo prioriza los escenarios reales, factibles y de interés cognitivo para la física; y lo podemos observar en el experimento del navío con moscas donde se presenta un escenario cercano a la realidad: un navío o un barco, con moscas y otros objetos, que se pone en movimiento. La dificultad más difícil en este escenario sería quizás lograr que *el movimiento sea uniforme y no fluctuante hacía aquí y hacia allá*, ya que las condiciones del mar no se pueden controlar como uno desearía, pero si el mar está en calma o si la nave se encuentra en un lago o una laguna, la velocidad puede ser tal que permita lograr un movimiento no fluctuante, sino uniforme en la medida de lo posible para poder observar los efectos aludidos.

Quizás algunos vean en lo anterior una razón suficiente para considerar que el grado de contrafacticidad del experimento es alto, sin embargo, dado que Galileo no establece una velocidad determinada, sino más bien dice [...] *haced mover la nave con la velocidad que sea. Veréis que (con tal que el movimiento sea uniforme y no fluctuante hacia aquí y hacia allá) no observaréis el más mínimo cambio en ninguno de los efectos mencionados y que, a partir de ellos, no podréis determinar si la nave avanza o está quieta*. La velocidad con que se hace mover la nave no tiene que ser grande, sino la suficiente para poder controlar las fluctuaciones de la nave, ya sea en un mar en calma o en un lago o una laguna igualmente en calma.

El objetivo no es, pues, evaluar los efectos en el interior de la estancia con distintas velocidades, sino observar los efectos con una velocidad que permita evitar las fluctuaciones; una velocidad que sea imperceptible, justo como lo es el movimiento de la Tierra. Precisamente por esto, Galileo insiste en que el experimento se desarrolle en el interior de la estancia, para constreñir o minimizar el factor del aire

que podría influir en el comportamiento de los objetos y animales; y con la velocidad pasa lo mismo, hay que minimizar las fluctuaciones de tal manera que no afecten en el mismo sentido. En última instancia, si la velocidad no es perfectamente uniforme y hay fluctuaciones o si, por ejemplo, el experimento se desarrollara afuera de la estancia al aire libre, Galileo dice que *se verían diferencias más o menos notables en algunos de los efectos mencionados*. A mayores fluctuaciones y resistencia del aire, mayores serán las diferencias y lo que Galileo desea es minimizar lo más que se pueda dichas diferencias; no busca minimizar a cero los factores que pueden afectar el comportamiento de los objetos y cosas, está consiente de que eso simplemente no es posible, al menos físicamente, lo que busca más bien es establecer las mejores condiciones para poder observar los efectos que describe y disminuir en la medida de lo posible las diferencias por la influencia de otros factores.

Si se logra lo anterior y aún así se observan algunas diferencias, Galileo sabe que éstas serían mínimas y no representarían un obstáculo mayor para aceptar la conclusión, a saber, que la Tierra se mueve con un movimiento natural que afecta el comportamiento de todas las cosas que están en ella, justo como sucede en la estancia bajo cubierta de la nave en movimiento uniforme.

3.3 El plano inclinado

Galileo presenta este experimento mental para ilustrar el movimiento continuamente acelerado que experimenta una bola esférica en un plano inclinado y el movimiento progresivamente enlentecido que experimenta en el mismo plano hacia arriba; su intención es establecer una comparación con los movimientos en una superficie similar, como el de la Tierra (dejando de lado sus montañas y otros accidentes) y el

agua en calma; y en particular con el movimiento de la piedra que cae del mástil de la nave en movimiento. El experimento tiene el mismo objetivo que ha caracterizado a toda la segunda jornada, a saber, argumentar a favor de la movilidad de la tierra; así como afianzar el razonamiento *a priori* como una herramienta metodológica confiable. El experimento es el siguiente:

SALVIATI. No deseo que digáis o respondáis que sabéis nada más que lo que sabéis con toda seguridad. Por tanto, decidme. Si tuvieseis una superficie plana, tan pulida como un espejo y de materia dura como el acero y que no estuviese paralela al horizonte, sino un poco inclinada, y sobre ésta pusieseis una bola perfectamente esférica, de materia grave y durísima como, v.g., de bronce, si la dejarais abandonada a sí misma, ¿qué creéis que haría? ¿No creéis (como creo yo) que se mantendría quieta?

SIMPLICIO. ¿Si la superficie estuviese inclinada?

SALVIATI. Sí, puesto que así ya lo he supuesto.

SIMPLICIO. Yo no creo que se quedase quieta en absoluto, más bien al contrario estoy seguro de que se movería espontáneamente hacia el declive.

SALVIATI. Fijaos bien en lo que decís, Sr. Simplicio, porque yo estoy seguro de que se quedaría quieta cualquiera que fuese el lugar en que la pusierais.

SIMPLICIO. Si vos, Sr. Salviati, os servís de esta clase de suposiciones, ya dejará de extrañarme que lleguéis a las conclusiones más falsas.

SALVIATI. Así pues, ¿estáis seguro de que la bola se movería espontáneamente hacia el declive?

SIMPLICIO. ¿Qué duda cabe?

SALVITATI. Y eso lo consideráis seguro, no porque yo os lo haya enseñado (porque yo trataba de persuadiros de lo contrario), sino por vos mismo y por vuestro juicio natural.

SIMPLICIO. Ahora entiendo vuestro truco. Vos habláis así para tantearme y (como dice el vulgo) sonsacarme, pero no porque lo creyeráis así realmente.

SALVIATI. Así es. ¿Y cuánto tiempo se movería la bola, y con qué velocidad? Notad que he mencionado una bola perfectísimamente redonda y un plano exquisitamente pulido para eliminar todos los impedimentos externos y accidentales. Además quiero que hagáis abstracción del aire, con la resistencia que ofrecería al estar a la intemperie, y de todos los demás obstáculos accidentales que se os pueden ocurrir.

SIMPLICIO. Lo he entendido todo muy bien. Y en cuanto a vuestra pregunta, respondo que la bola continuaría moviéndose hasta el infinito, si tanto se prolongase la inclinación del plano, y con movimiento continuamente acelerado; pues tal es la naturaleza de los móviles graves, que *vires acquirant eundo*. Y cuanto mayor fuese el declive mayor sería la velocidad.

SALVIATI. Pero si uno quisiera que la bola se moviese hacia arriba sobre la misma superficie, ¿creéis que lo haría?

SIMPLICIO. Espontáneamente no, sólo si la arrastraran o la arrojaran con violencia.

SALVIATI. Y si fuese empujada con algún ímpetu que se le imprimiera violentamente, ¿cuál y cuánto creéis que sería su movimiento?

SIMPLICIO. El movimiento, por ser contrario a la naturaleza, iría languideciendo y retardándose progresivamente, y sería más largo o

más breve según el mayor o menos ímpetu y según el mayor o menos declive.

SALVIATI. Entonces me parece que hasta aquí me habéis explicado los accidentes de un móvil sobre dos planos distintos. En el plano inclinado el móvil grave desciende espontáneamente y se va acelerando continuamente, y para mantenerlo en reposo hay que usar fuerza. Pero sobre el plano ascendente se requiere fuerza para empujarlo y también para detenerlo, y el movimiento que se le ha impreso va menguando continuamente, hasta que al final se aniquila. Decís además que tanto en un caso como en el otro la diferencia surge del hecho de que la cuesta hacia arriba o hacia abajo del plano sea mayor o menor. De modo que de la mayor inclinación hacia abajo se sigue mayor velocidad y, por el contrario, sobre el plano cuesta arriba el mismo móvil lanzado con la misma fuerza se mueve a tanta mayor distancia cuanto menos es la elevación. Ahora decidme lo que le sucedería al mismo móvil sobre una superficie que no estuviese inclinada ni hacia arriba ni hacia abajo.

(Galileo, 2011 [1632], pp. 128-130)

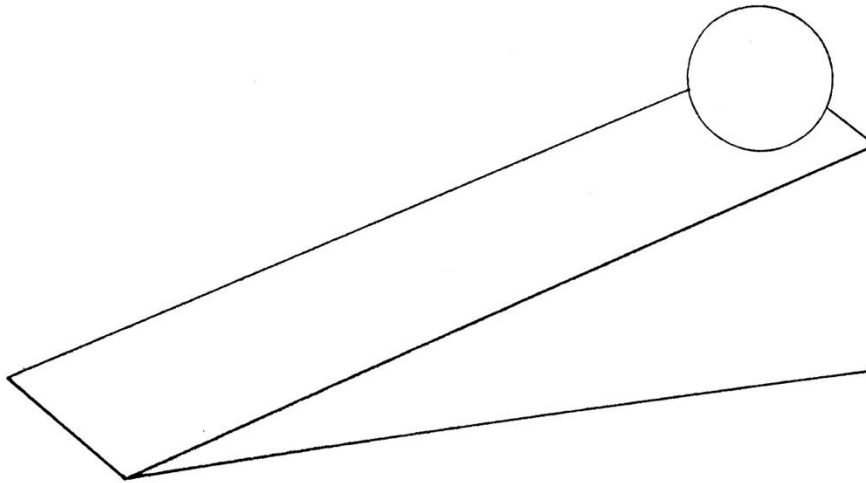


Fig. 14 Plano inclinado.

Galileo pretende mostrar que un móvil debería quedarse naturalmente quieto, si uno lo dejase así, en una superficie que no estuviera inclinada ni hacia arriba ni hacia abajo. Sin embargo, el móvil se movería si se le da un ímpetu hacia algún lado pero debido a que no hay ninguna inclinación en la superficie no habría causa ni de aceleración ni de enlentecimiento, el movimiento duraría lo mismo que la longitud de la superficie no inclinada, y si ésta fuera infinita y el móvil fuera de materia duradera, el movimiento entonces sería perpetuo.

La comparación que Galileo quiere establecer es, como ya se mencionó, entre la superficie hipotética del plano y la superficie de la Tierra. El móvil se mueve de manera natural hacia abajo sobre el plano inclinado, sin violencia, porque la inclinación de los cuerpos graves es la de moverse hacia el centro de la Tierra, y sólo con violencia hacia el lado contrario, esto es, hacia arriba del plano o hacia la circunferencia de la Tierra.

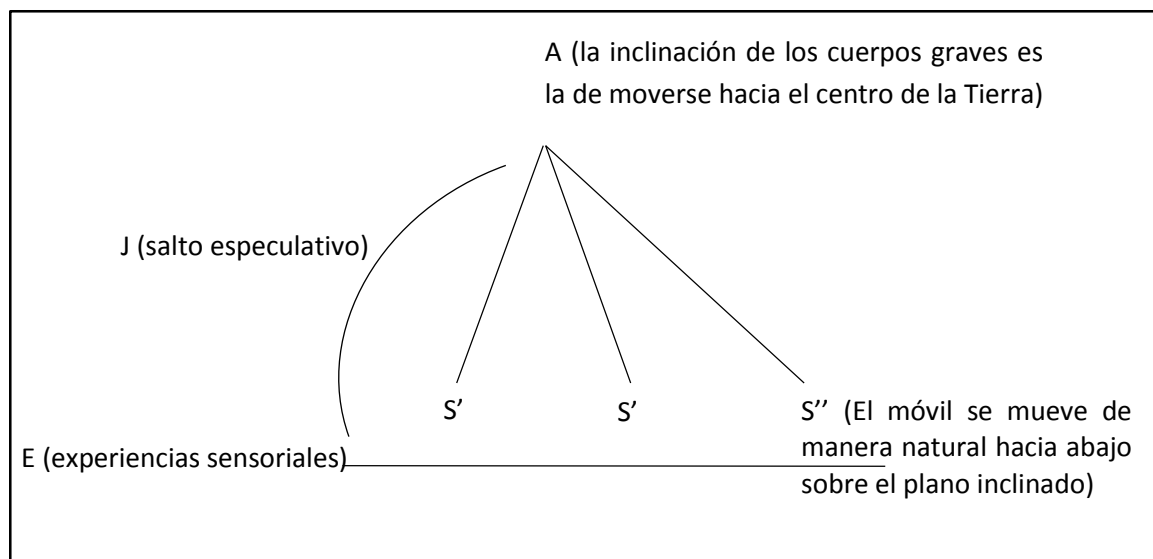


Fig. 15 Representación de la teoría galileana sobre el movimiento de los cuerpos graves.

La superficie de la Tierra o la superficie del agua, la cual es menos accidentada cuando está en calma que la de la Tierra, se comportaría de manera similar si se eliminaran todos los obstáculos, de tal manera que una nave pudiese moverse de manera uniforme (sin fluctuaciones) con el impulso recibido. De igual manera, la

pedra que se deja caer desde la cima del mástil de la nave en movimiento se tendría que mover con el mismo tipo de movimiento que el de la nave, la piedra sería llevada por la circunferencia y siempre inclinada a caer hacia el centro de la Tierra.

Galileo intenta mostrar con este experimento mental que al moverse la nave, la piedra que se deja caer desde la cima del mástil se moverá de igual manera, esto es, con un movimiento inherente que hará que caiga en el mismo lugar en el que caería si la nave estuviera quieta. La piedra no caería lejos del mástil, sino al pie de éste porque el movimiento de la nave la afecta y la incluye, como si fuera una especie de esfera, similar a lo que pasa en la estancia bajo cubierta.

Las dos objeciones que se presentan para la situación hipotética anterior son el impedimento del aire y la aparente contradicción entre el movimiento de caer hacia el centro de la Tierra y el movimiento de caer hacia adelante por el movimiento de la nave. Sin embargo, para Galileo ninguna de estas dos objeciones son en realidad un problema, para la primera admite que en todo caso la resistencia del aire podría influir en la caída del móvil si éste fuera de un material mas ligero, pero al no ser así, considera que el enlentecimiento es mínimo, la piedra cae y sin mayor impedimento atraviesa el aire. Para la segunda objeción, Galileo considera que no hay contradicción alguna entre ambos tipos de movimiento, al contrario los considera compatibles y naturales puesto que ambos se dirigen hacia el centro de la Tierra.

Ahora, el escenario presentado por Galileo, si bien es cercano a la realidad, lo cierto es que también involucra elementos ideales, por ejemplo, *una bola perfectamente esférica y un plano exquisitamente pulido*. Para algunos lograr dichas condiciones es simplemente imposible, ya que no existen las bolas perfectamente esféricas, ni los planos perfectamente pulidos; éstos sólo existen en nuestra mente como resultado de nuestra imaginación y de nuestras idealizaciones. Sin embargo, al igual que con el experimento anterior del navío con moscas, la intención de Galileo es eliminar mentalmente *todos los impedimentos externos y accidentales*, para minimizar las posibles diferencias en los efectos descritos, tanto en el pensamiento como físicamente si se llevara a cabo el experimento. Después de todo, los

resultados que interesan son los que se observarán en el mundo físico.

Las condiciones descritas son posibles físicamente si se considera la versión humanamente posible, tanto de una bola perfectamente esférica como de una superficie exquisitamente pulida. La superficie plana, por ejemplo, es perfectamente factible si se piensa como Galileo la describe al inicio del experimento: *tan pulida como un espejo y de materia dura como el acero*. Lo mismo con la bola esférica si ésta se piensa como una bola bien pulida: *de materia grave y durísima como, v.g., de bronce*. Es decir, si se minimizan las diferencias, entre el escenario ideal y el escenario físico, Galileo está consciente de que el salto epistémico de un escenario a otro sería aceptable, ya que las diferencias serían menores y no representarían un mayor problema para aceptar la conclusión. Por estas razones, considero que la contrafacticidad de este experimento es de grado medio o bajo, ya que el experimento se puede llevar a cabo físicamente si así se desea, sólo se tienen que procurar de la mejor manera posible las condiciones mencionadas.

Los elementos ideales anteriores tampoco hacen que la imaginación involucrada en la construcción del experimento esté desbordada, al contrario, como podemos observar, el escenario hipotético está bien delimitado y las condiciones generales son cercanas a la realidad, por lo que los dos elementos idealizados no constituyen ficciones problemáticas para la ejecución del experimento. Ambas idealizaciones, tanto la del plano como la de la bola esférica, tienen más bien una intención retórica, cuyo objetivo es simplemente acercar lo mejor posible las condiciones físicas a esas otras condiciones ideales. Galileo incorpora a veces este aspecto retórico en sus experimentos, sobre todo cuando se refiere a la resistencia del aire o en general a los factores accidentales: *Además quiero que hagáis abstracción del aire, con la resistencia que ofrecería al estar a la intemperie, y de todos los demás obstáculos accidentales que se os puedan ocurrir*. Sin embargo siempre termina por mencionar que la finalidad es disminuir las diferencias, entre los efectos que se darían en un escenario y otro. Y esto muestra que Galileo está considerando la (posible) corroboración física, si no por su parte, al menos sí por parte de sus adversarios y seguidores. La idealización de algunos elementos tiene así una doble función,

establecer las condiciones óptimas del experimento para que los resultados sean los descritos (con diferencias mínimas en todo caso) y de no ser así, fungir como una especie justificación metodológica, es decir, si las predicciones de Galileo no se cumplen (diferencias máximas) será porque las condiciones no fueron las mejores, esto es, las más cercanas a las condiciones ideales. Así lo muestra Galileo en sus razonamientos con Simplicio:

SALVIATI. Así es. ¿Y cuánto tiempo se movería la bola, y con qué velocidad? *Notad que he mencionado*⁵⁹ una bola perfectísimamente redonda y un plano exquisitamente pulido para eliminar todos los impedimentos externos y accidentales. Además quiero que hagáis abstracción del aire, con la resistencia que ofrecería al estar a la intemperie, y de todos los demás obstáculos accidentales que se os puedan ocurrir.

SIMPLICIO. *Lo he entendido todo muy bien*⁶⁰. Y en cuanto a vuestra pregunta, respondo que la bola continuaría moviéndose hasta el infinito, si tanto de prolongase la inclinación del plano, y con movimiento continuamente acelerado; pues tal es la naturaleza de los móviles graves, que *vires acquirant eundo*. Y cuanto mayor fuese el declive mayor sería la velocidad.

(Galileo, 2011 [1632], pp. 128-130)

La imaginación involucrada (icónica) está controlada por este propósito y lo podemos observar claramente en el experimento, el cual presenta una situación hipotética en la que las condiciones y los elementos guardan una estrecha relación con el mundo físico. La iconicidad se mantiene, a pesar de las dos idealizaciones, es decir, los objetos y elementos del escenario hipotético representan objetos y elementos del mundo real: la superficie plana e inclinada, el espejo, la bola esférica, el bronce, etc., todos estos elementos significan lo mismo dentro de ese escenario

⁵⁹ Las cursivas son mías.

⁶⁰ Las cursivas son mías.

hipotético como fuera, esto es, todos tienen un referente físico. No hay pues quimeras narrativas, ni fantasías que romperían dicha iconicidad.

Así mismo, las posibilidades involucradas en el experimento son de tipo físicas o nomológicas, es decir, lo que interesa evaluar es el comportamiento de la bola tanto en la superficie plana como en la superficie inclinada en el mundo físico y actualmente observable. Para la bola esférica es físicamente posible quedarse quieta en el primer caso como deslizarse en el segundo caso hacia la dirección en la que ha sido empujada. De igual manera, para la bola esférica es físicamente posible moverse de forma infinita en el plano inclinado, con un movimiento continuamente acelerado, si no hay impedimentos externos que obstruyan su trayectoria o disminuyan su velocidad. O moverse hacia arriba en el plano inclinado si la arrojaran con fuerza y disminuir su velocidad progresivamente. Todas estas son posibilidades físicas que se consideran en el experimento y forman parte de la intención cognitiva del mismo.

A Galileo no le interesa mostrar o evaluar el comportamiento de la bola en un mundo metafísicamente posible, donde es posible para la bola comportarse quizás de forma opuesta o simplemente diferente, sino precisamente mostrar y evaluar el comportamiento que tendrá la bola en el plano inclinado en nuestro mundo actual, ese que observamos todos los días y que es nuestra referencia principal para corroborar los diferentes tipos de movimientos que la bola experimentará.

Este tipo de posibilidades son las que le interesan a la física porque son las que se relacionan con los fenómenos que observamos en la naturaleza y, por ende, con las leyes vigentes de la propia física; o incluso con las nuevas leyes físicas, como ocurre en diferentes casos con Galileo, quien utiliza las leyes vigentes, que en realidad son las aristotélicas y ptolemaicas, para refutarlas con reducciones al absurdo y contradicciones teóricas internas. En este caso, Galileo utiliza el experimento del plano inclinado para mostrar que, así como la bola esférica puede experimentar varios tipos de movimiento y tener siempre la inclinación natural de ir hacia abajo, es decir, hacia el centro de la Tierra, como cuando está quieta en el plano sin inclinación ni elevación, así también la piedra que cae desde la cima del mástil de

la nave en movimiento, puede tener dos tipos de movimiento, el movimiento aristotélico de inclinación natural y un segundo tipo de movimiento llamado transversal que daría cuenta del movimiento hacia adelante. La originalidad del pensamiento de Galileo radicó precisamente en la descomposición de los movimientos, uno vertical y uno horizontal.

La combinación de estos dos tipos de movimientos, hacia abajo y hacia adelante o hacia atrás, como prefiera verse, es la analogía con el plano inclinado y la explicación que Galileo utiliza para mostrar que el argumento de la piedra que cae al pie del mástil de la nave en movimiento, caerá siempre al pie del mástil, tanto si la nave está quieta como si ésta está en movimiento, siempre y cuando los impedimentos externos, como las fluctuaciones y la resistencia del aire, sean mínimas o nulas, como en el plano inclinado.

La aceptación del experimento anterior y, por ende, de la conclusión es sumamente relevante tanto para la física terrestre y como para la celeste. Galileo utiliza el movimiento de la bola en el plano inclinado para argumentar a favor del movimiento de la Tierra; y si se acepta lo primero, eso transformaría no sólo la concepción vigente sobre el movimiento de los graves que caen de arriba a bajo (explicación aristotélica), sino también derribaría la concepción astronómica sobre el estatismo de la Tierra.

3.4 El experimento del aire

Para Simplicio y los aristotélicos, los móviles, como el caso de los proyectiles, son movidos por el medio (aire) y no por la virtud impresa (ímpetu o fuerza) que confiere el proyectil. En cambio para Galileo el medio (aire) no tiene nada que ver en la

continuación del movimiento de los proyectiles una vez que éstos se han separado del proyector. El siguiente párrafo ilustra la postura aristotélica, como es el caso siempre que habla Simplicio:

SIMPLICIO: El proyector tiene la piedra en la mano. Mueve con velocidad y fuerza el brazo, con cuyo movimiento se mueve no más la piedra que el aire de alrededor, por lo que la piedra, al ser abandonada por la mano, se encuentra en el aire que ya se mueve con ímpetu, y es transportada por dicho aire. De modo que si el aire no actuase, la piedra caería de la mano al pie del proyector.

(Galileo, 2011 [1632], p. 133)

Para los aristotélicos el aire es quien transporta a los móviles, ya sea velozmente o lentamente según su composición.

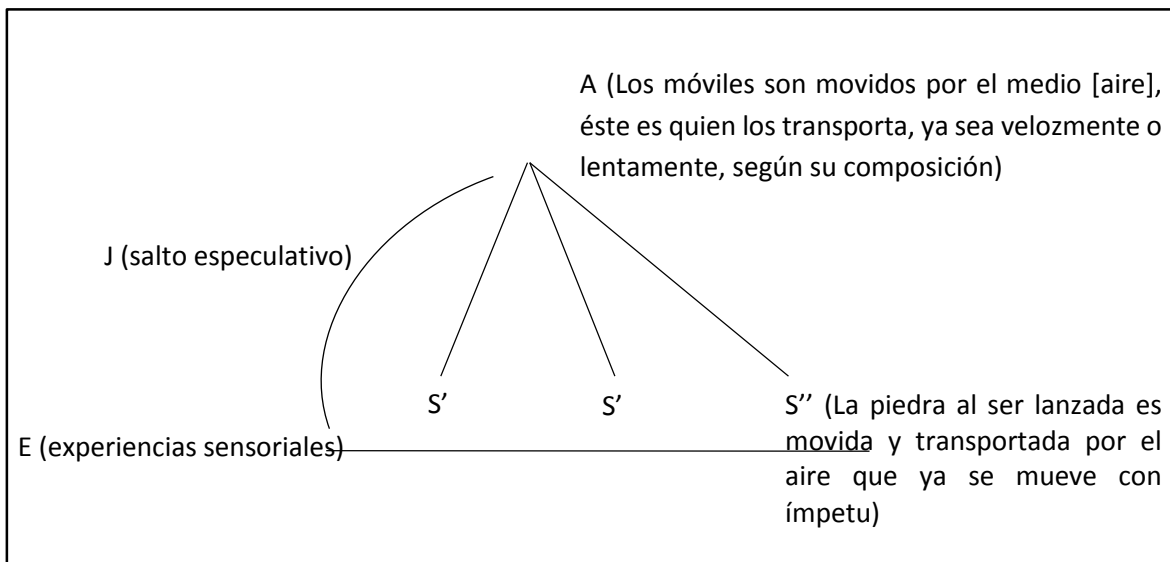


Fig. 16 Representación de la teoría aristotélica sobre el movimiento de los cuerpos graves.

En cambio, Galileo no está de acuerdo en que el medio (aire) sea por sí solo la causa de la continuidad del movimiento; el aire necesita ser movido, impulsado y que algo o alguien le confiera movimiento.

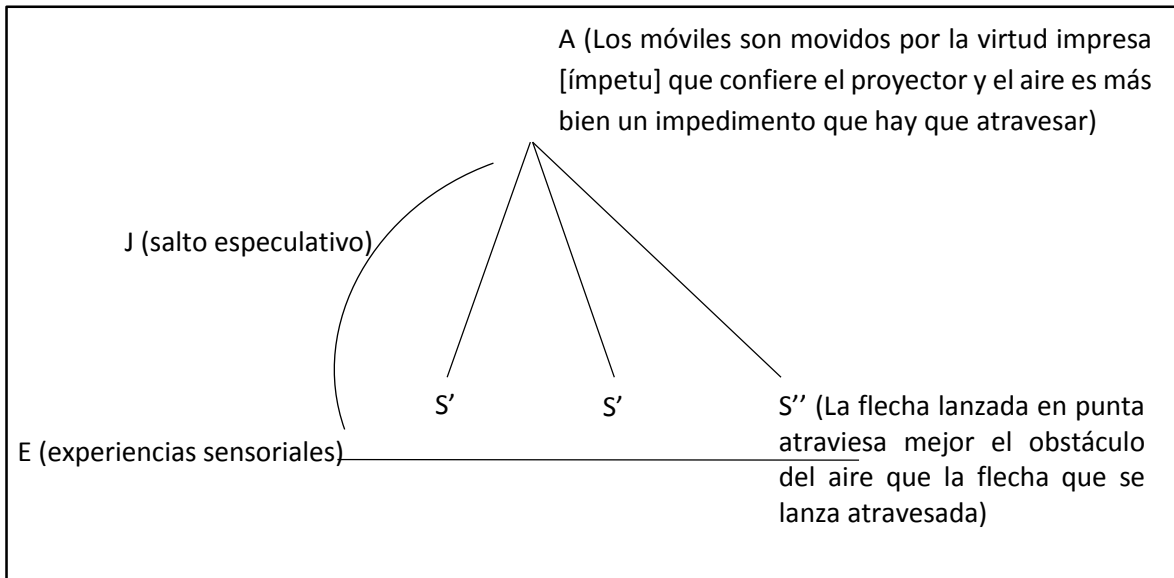


Fig. 17 Representación de la teoría galieana sobre el movimiento de los cuerpos graves.

Para Galileo es necesario, pues, que el proyector confiera al aire movimiento con el que después el aire mueva el proyectil. (Galileo, 2011 [1632], p. 134). Y para mostrar lo anterior Galileo presenta el siguiente experimento:

SALVIATI. [...] Entremos en la habitación, y con una toalla agitemos el aire todo lo posible, y detenida la tela llévese una velita encendida dentro de la habitación, o déjese ir volando una lámina de oro. Por el vagar tranquilo de una y otra os daréis cuenta de que el aire ha vuelto inmediatamente a la calma. Podría aduciros mil experiencias, pero si una de estas no bastase, habría que considerar el intento totalmente desesperado.

(Galileo, 2011 [1632], p. 134)

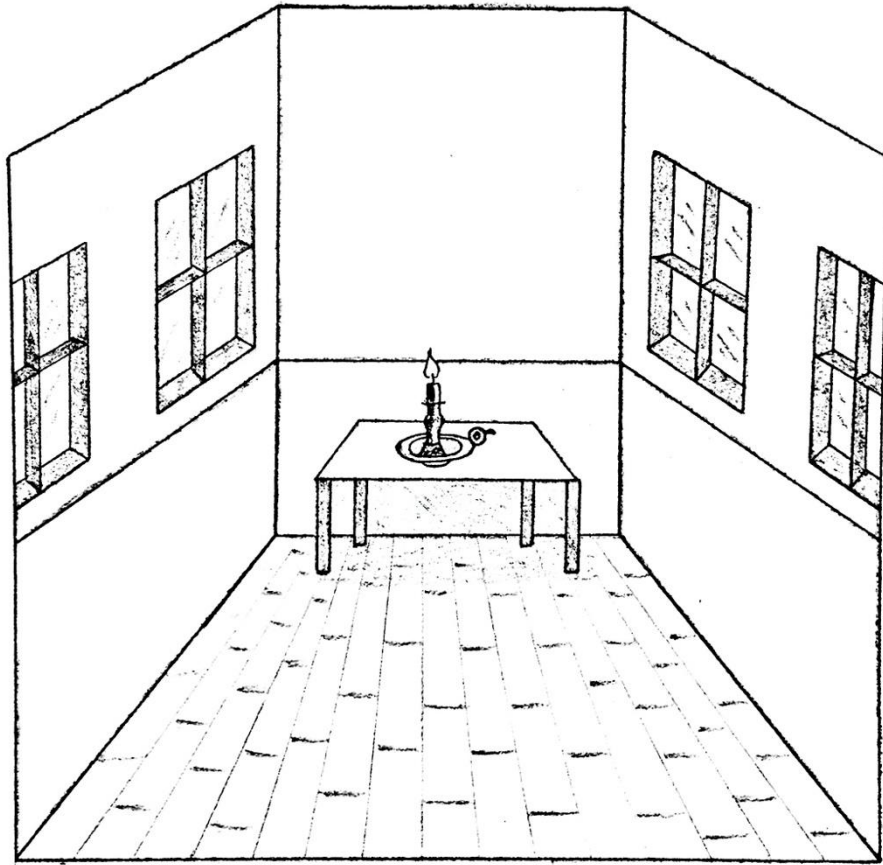


Fig. 18 La habitación

Para Galileo es falso que el medio (aire) confiera el movimiento a los móviles y considera más bien que éste representa un impedimento, un obstáculo que el móvil tiene que atravesar. Como en el caso de las dos flechas⁶¹, una de punta y la otra atravesada, cuando éstas están quietas, sobre la superficie de una mesa por ejemplo, y el aire se mueve, se lleva consigo mucho mejor y más lejos a la segunda que a la primera, porque es más aire el que la empuja, por estar atravesada, pero

⁶¹ El ejemplo de las dos flechas que presenta Galileo no es un experimento mental porque no tiene la estructura completa, es decir, no hay un resultado o conclusión definida, sino que su estructura más bien deja abierta la posibilidad para reflexionar sobre el posible resultado. Es decir, no es una estructura con premisas o condiciones claras a partir de las cuales Galileo está derivando un resultado o conclusión. Si el ejemplo de las dos flechas, en voz de Sagredo, hubiese sido presentado afirmando un resultado en específico, el ejemplo hubiese tenido la estructura clara de un experimento mental.

si se lanzan con un arco, la flecha atravesada choca con más aire, porque este es un impedimento que obstaculiza el movimiento de la flecha, en cambio la flecha en punta atravesará mejor el obstáculo, ya que su posición le implica atravesar una menor cantidad de aire.

Una vez más Galileo aprovecha este episodio para argumentar que la piedra que se deja caer desde la cima del mástil de la nave en movimiento caerá en el mismo lugar que cuando la nave está quieta. Ya que la piedra atraviesa fácilmente la resistencia e impedimento del aire, sólo en el caso de que el móvil que se dejara caer fuese de un material más ligero que el de la piedra podría observarse una diferencia notoria en el lugar en el que caería, ya que la resistencia e impedimento del aire serían mayores y obstaculizarían más la caída del móvil; o siendo la piedra el móvil, otro factor que influiría en contra es que la velocidad del aire fuese mayor que el de nave, ya sea hacia adelante o en contra o hacia un lado, en cualquier situación también se observaría que el móvil no cae al pie del mástil de la nave en movimiento.

La intención de Galileo es mostrar en este caso que el medio (aire) constituye más bien un obstáculo para el movimiento de los móviles, sobre todo cuando éste va en contra de la dirección del móvil. Galileo quiere refutar las experiencias y argumentos aducidos a favor de la inmovilidad de la Tierra por los aristotélicos y ptolemaicos y al mismo tiempo presentar evidencia a favor de su movilidad. Aunque en diversas partes, y por cuestiones políticas, asegure que no es así, como en el siguiente pasaje que se encuentra después del experimento del aire:

SIMPLICIO. Nada, sino que hasta aquí no veo probada la movilidad de la Tierra.

SALVIATI. Ni tampoco yo he pretendido probarla, sino sólo mostrar que de la experiencia aportada por los adversarios como prueba del estatismo no se puede deducir nada. Y así creo poder demostrarlo de las otras.

SAGREDO. Por favor, Sr. Salviati, antes de pasar a otra cosa, permitidme que yo exponga cierta dificultad que se me ha ocurrido mientras vos, con tanta flema, estabais desmenuzando la experiencia de la nave al Sr. Simplicio.

SALVIATI. Estamos aquí para discurrir y bien está que cada cual proponga las dificultades que se le ocurren, puesto que este es el camino para llegar a conocer la verdad. Por tanto decid.

(Galileo, 2011 [1632], p. 135)

Galileo dice en voz de Salviati que su intención no es probar la movilidad de la Tierra pero al mismo tiempo ve como *adversarios* a todos aquellos que han intentado probar y argumentar a favor del estatismo de la Tierra. Es cuidadoso al repetir, en diversas ocasiones, que su intención no es ésta pero todas esas declaraciones son únicamente por conveniencia política. Galileo no podía, aunque así lo deseara, contradecir abiertamente a Aristóteles y a Ptolomeo, quienes representaban en esa época la visión del universo y cuya tradición estaba firmemente respaldada por la iglesia⁶², por lo que busca debilitar esa tradición de una forma sutil, a manera de diálogo, a manera de *dificultades que se la han ocurrido*, ya sea en voz de Salviati o de Sagredo. Sin embargo, por más diplomático que quisiera verse, por más cuidadoso y sutil que pretendiera ser, su intención era clara: no buscaba únicamente mostrar que *de la experiencia aportada por los adversarios como prueba del estatismo no se puede deducir nada*, sino mostrar la conclusión contraria, a saber, el movimiento de la Tierra.

Lo podemos ver justo un párrafo antes de su cuidadosa -y falsa- declaración de intenciones:

⁶² Recordemos que Giordano Bruno (1548-1600) ya había sido quemado en la hoguera por sus ideas herejes, como el rechazo de la transustanciación, la negación de la trinidad, entre otras. La Santa Inquisición lo acusó de apóstata, herético, pertinaz, obstinado e impenitente. Aunque también se considera comúnmente que su juicio fue a causa de su afiliación al copernicanismo, teoría astronómica anti-católica. Ver Marquina Fabrega, José Ernesto y Álvarez, José Luis, (1998), "A 450 años del nacimiento de Giordano Bruno", *Ciencias* 50, 4-9.

SALVIATI. ¡Cuántas proposiciones he encontrado yo en Aristóteles (entendiendo siempre en la filosofía natural), que son no ya falsas, sino falsas de manera tal que la proposición diametralmente contraria es verdadera, como sucede en este caso! [...]

(Galileo, 2011 [1632], p. 135)

En la cita anterior, Galileo está haciendo referencia al caso del aire, a saber, que el medio impide el movimiento del proyectil, en lugar de conferírsele. Sin embargo, su verdadera intención es declarar algo más allá, a saber, que las opiniones de Aristóteles y Ptolomeo sobre la inmovilidad de la Tierra están equivocadas. Y que la opinión verdadera es en realidad la opuesta, a saber, su movilidad.

Como podemos observar, las declaraciones de Galileo se contradicen pero lo hacen de manera deliberada, finge falsedad intencional donde no la hay y expresa verdades a medias, ocultas y ambiguas para argumentar malentendidos de ser necesario. Sus verdaderas intenciones están a la vista y al mismo tiempo disfrazadas de ocurrencias, de dificultades y de hipótesis especulativas. Incluso dice que así como ha podido mostrar que de las experiencias de los adversarios no se puede deducir nada sobre la movilidad de la Tierra, así también cree ser capaz de demostrarlo de las otras experiencias que se han dado. Con esto, Galileo muestra su verdadero compromiso, el cual es no sólo refutar los argumentos aristotélicos y ptolemaicos sobre el reposo de la Tierra, sino mostrar pues, por oposición y utilizando las refutaciones hechas, la hipótesis contraria.

En voz de Sagredo presenta la expectativa anterior y la actitud que espera que adopten sus seguidos y adversarios:

SAGREDO. Aunque al navegar no se me han ocurrido hacer estas observaciones aposta, estoy más que seguro de que sucederán de la manera contada. En confirmación de esto, me acuerdo de que más de cien veces me ha ocurrido preguntar, estando en mi camarote, si la nave avanzaba o estaba parada y a veces habiendo fantaseado al

respecto, he creído que estaba avanzando hacia un lado, cuando el movimiento era el contrario. Por tanto yo, con lo dicho hasta aquí, me doy por satisfecho y he entendido perfectamente que todas las experiencias aducidas para probar más bien la negación que la afirmación de la rotación de la Tierra no tienen ningún valor. [...]

(Galileo, 2011 [1632], p. 164)

Destaca nuevamente su confianza en el razonamiento *a priori* al igual que el objetivo de refutar las experiencias presentadas a favor de la inmovilidad de la Tierra. Y en palabras de su interlocutor Sagredo dice: *Las experiencias aducidas para probar la negación de la rotación de la Tierra no tienen ningún valor.*

El medio (aire) no es pues, el responsable del movimiento de los móviles (proyectiles), sino que es el ímpetu quien confiere la movilidad, la cual se conserva más en las materias graves que en las ligeras. El aire necesita ser movido, es necesario que el proyector le confiera movimiento, como en la habitación cuando al agitar el aire con la toalla se puede ver y sentir que el aire se mueve pero cuando se deja de agitar la toalla, se experimenta que el aire está en calma. De esto concluye Galileo que el aire no puede conservar el movimiento que se le confiere, éste es más bien un impedimento que afecta el movimiento y la trayectoria de los móviles. Por ello, en el escenario hipotético cuando se ha dejado de agitar el aire con la toalla, la llama de la vela encendida dentro de la habitación se mueve tranquilamente, precisamente porque el aire (en calma) no le opone ninguna resistencia.

La configuración del experimento del aire es coherente con el estilo galileano. La imaginación utilizada es de tipo icónica, todos los objetos y elementos imaginados en el escenario tienen un referente en el mundo real. No hay sentidos figurados, sino todo lo contrario, la representación literal se mantiene entre los objetos del experimento y los objetos del mundo real.

De igual manera, la situación y las cosas imaginadas se comportarían de la misma forma que lo harían en la experiencia sensorial, para la toalla es posible físicamente

agitar el aire, para la llama de la vela encendida es posible físicamente agitarse con el movimiento del aire, así como permanecer si éste está en calma, lo mismo con la lamina de oro; es decir, todo lo descrito en el experimento hace referencia a lo que es posible físicamente que ocurra e incluso necesario. Todos los objetos y elementos descritos se comportan de la misma manera en la que lo hacen en el mundo físicamente observable. A Galileo no le interesa analizar qué pasaría si el aire no se agitate con el movimiento de la toalla, al contrario, está seguro de que el aire se movería, precisamente porque su conocimiento previo en la experiencia le dice que así sucedería. Las posibilidades físicas de cada uno de los objetos involucrados es el punto de interés.

Lo anterior hace que la contrafacticidad del experimento sea de grado bajo a medio, ya que las condiciones descritas son fáciles de reproducir. El elemento que podría representar quizás una dificultad es conseguir la lámina de oro, pero podría sustituirse por una pluma de ave y, en todo caso, no es un impedimento absoluto para ejecutar el experimento, simplemente una dificultad en comparación en el resto de los objetos que pudiesen encontrarse con una mayor facilidad. Llevar a cabo físicamente el experimento es posible y las dificultades son menores. Para Galileo entre menor grado de contrafacticidad tengan los experimentos, menor será la suspicacia y la actitud escéptica de sus adversarios y seguidores. No olvidemos que lo que intenta, entre otras cosas, es fortalecer la confianza en el razonamiento *a priori*, por lo que entre más factibles sean estos escenarios hipotéticos mayor será la disposición para aceptar sus conclusiones, ya que la corroboración es una opción segura.

3.5 El cubo con agua

El argumento ptolemaico sobre la inmovilidad de la Tierra dice que "la Tierra no se mueve, porque las fieras, los hombres, los edificios, ya puestos en la Tierra, se precipitarían" (Galileo, p. 165). Para Galileo la formulación del argumento muestra que Ptolomeo está dirigiéndose a aquellos que afirman que la Tierra se mueve pero que también ha estado inmóvil por algún tiempo. La Tierra estaba quieta, lo cual permitió construir los edificios y que los animales y los hombres estuvieran sobre la Tierra. De lo contrario, es decir, si la Tierra hubiera estado en movimiento desde siempre, la rotación de ésta hubiera hecho imposible la construcción de los edificios y la estancia de las demás cosas sobre la Tierra. En cualquier caso, Ptolomeo ataca la idea de que la Tierra se mueve, ya sea que desde siempre o a partir de Pitágoras quien la estimo así.

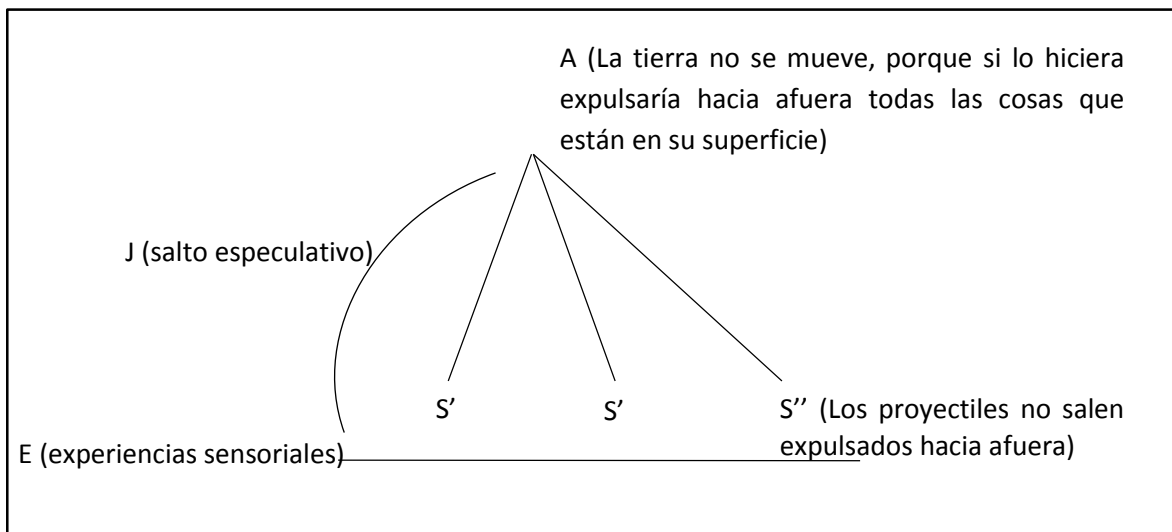


Fig. 19 Representación de la teoría aristotélica y ptolemaica sobre la inmovilidad de la Tierra y el movimiento de los cuerpos graves.

El argumento de Ptolomeo se basa en la observación de que *una rotación veloz tiene la facultad de expulsar y dispersar las materias adheridas al artefacto que gira. [...] si la Tierra girase sobre sí misma con tanta velocidad, las piedras y los animales tendrían que ser lanzados hacia las estrellas, al igual que los edificios, pues no habría argamasa tan fuerte para mantenerlos unidos a sus cimientos.* (Cfr. Galileo,

p. 164). De esta manera, la rotación expulsaría todo lo que sobresaliera de la superficie de la Tierra, por lo que es necesario que la Tierra no se mueva, ya que la experiencia confirma que no hay expulsión alguna.

Para Galileo la creencia de que la Tierra primero estaba quieta y que no fue sino hasta el tiempo de Pitágoras que empezó a moverse, le resulta simplemente absurda. Y por otro lado, considera que el error en el razonamiento de Ptolomeo es no considerar el peso de los proyectiles y su inclinación natural de ir hacia el centro de la Tierra.

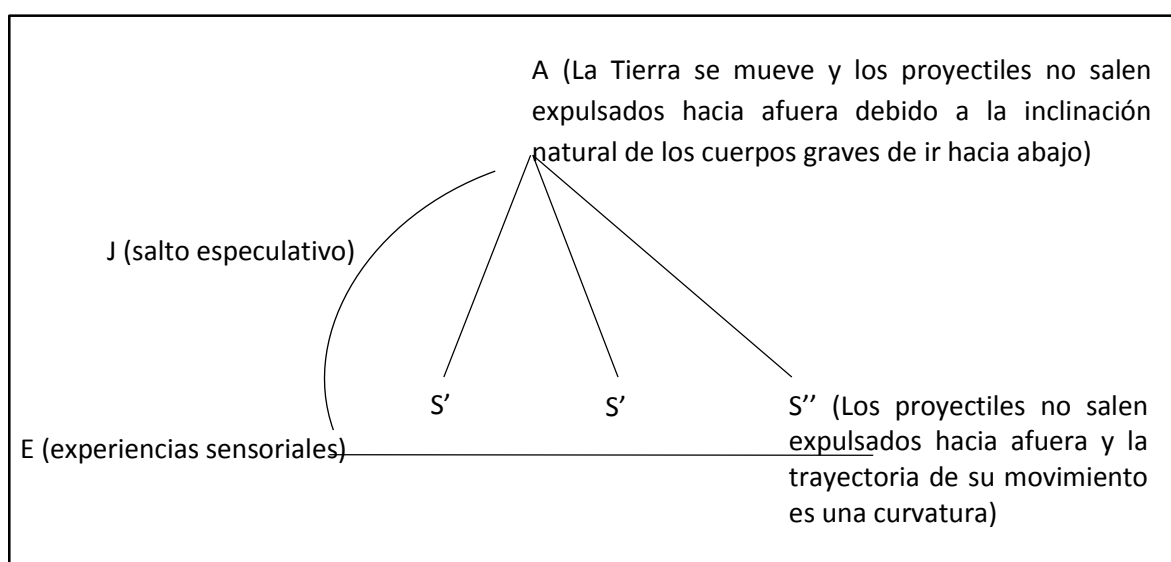


Fig. 20 Representación de la teoría galileana sobre la movilidad de la Tierra y el movimiento de los cuerpos graves.

Para ilustrar lo anterior presenta el experimento mental del cubo con agua, en el cual asume como verdadero que *los cuerpos graves que se hacen girar velozmente en torno a un centro fijo, adquieren ímpetu de moverse alejándose de dicho centro* (Galileo, p. 165). Sin embargo, su objetivo no es, evidentemente, argumentar que si la Tierra se moviera expulsaría hacia el cielo los edificios, animales, piedras y demás objetos, sino señalar que esto no sería el caso debido a que el peso de los cuerpos graves afecta la trayectoria del movimiento que se les confiere. El experimento es el siguiente:

SALVIATI. [...] Átase al extremo de una cuerda un cubo pequeño, en

cuyo interior haya agua y, aguantando firmemente el otro extremo, formando un semidiámetro con la cuerda y el brazo, y haciendo de centro la articulación del hombro hágase girar el cubo velozmente, de modo que describa la circunferencia de un círculo. Tanto si este es paralelo al horizonte, como si le es perpendicular, o inclinado de cualquier modo, siempre sucederá que el agua no caerá fuera del cubo; al contrario quien lo gira sentirá en todo momento que la cuerda tira y hace fuerza para alejarse más del hombro. Y si en el centro del fondo del cubo se hiciera un agujero, se vería que el agua chorrea fuera tanto hacia el cielo, como lateralmente, como hacia tierra. Y, si en lugar de agua se meten piedrecillas, girando del mismo modo se sentirá que hacen la misma fuerza contra la cuerda. Y, finalmente, se ve que los niños tiran las piedras a gran distancia haciendo girar un trozo de caña, en cuyo final está encajada la piedra. Todos estos argumentos muestran la verdad de la conclusión, es decir de que la rotación, si el movimiento es veloz, confiere al móvil ímpetu hacia la circunferencia. Por tanto, si la Tierra girase sobre sí misma, el movimiento de la superficie, máxime en el círculo máximo dado que es incomparablemente mayor que los mencionados, debería despedirlo todo contra el cielo.

(Galileo, 2011 [1632], pp. 165-166)

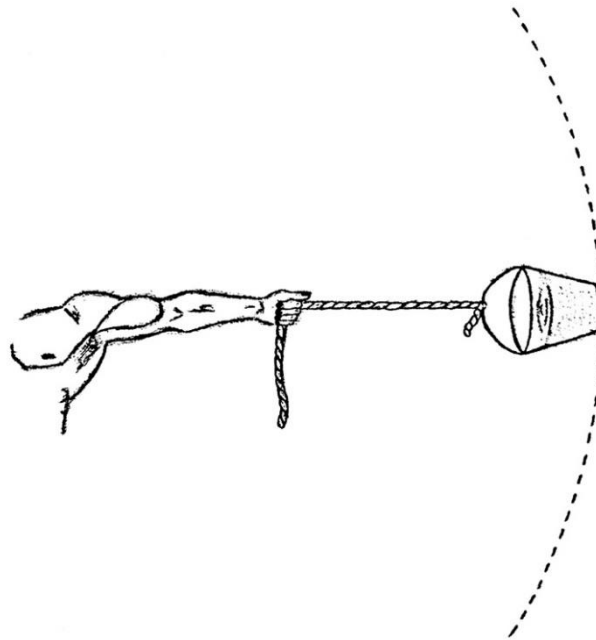


Fig. 21 Cubo con agua

Galileo explica que los proyectiles como, por ejemplo, las piedrecillas que salen disparadas del fondo del cubo o la piedra que escapa de la caña, adquieren *ímpetu de moverse por la tangente del arco descrito por el movimiento del proyectador en el punto en que el proyectil se separa del proyectador* (2011 [1632], p. 167). La tangente en geometría se define como una recta que toca a una curva en un punto P (llamado punto de tangencia) y la cual forma un ángulo nulo ($0'$) con la curva donde la toca. En la siguiente imagen podemos apreciar la tangente en una curva.

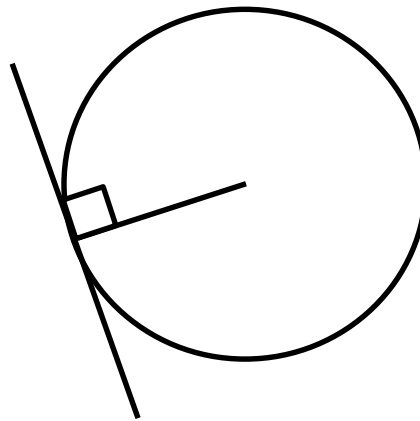


Fig. 22 Tangente en una curva

De esta manera, los proyectiles que salen disparados, no siguen una trayectoria circular, como la del movimiento que los hace girar, sino una línea recta por la tangente que toca al círculo en el punto donde se libera el proyectil y hacia la dirección en la que el proyectil se libera, de manera progresiva y cada vez más lejos del centro del círculo del movimiento hecho por el proyector. Hasta aquí, la explicación no contradice lo que afirma el argumento de Ptolomeo, sin embargo Galileo señala los factores que afectan el movimiento de las cosas (proyectiles) y explica que los proyectiles seguirían su movimiento rectilíneo uniforme de no ser por los impedimentos accidentales, como la resistencia del aire y su propio peso, el cual los lleva hacia abajo (centro de la Tierra) por inclinación natural (argumento aristotélico) y deforma la trayectoria de su movimiento rectilíneo en una curvatura.

El peso de los proyectiles los atrae hacia el centro de la Tierra y la atracción es tan rápida que en el momento en que los proyectiles salen disparados por la tangente su trayectoria comienza a declinar, en mayor o menor medida, dependiendo de la composición de los proyectiles y de las condiciones externas que pudieran afectar su movimiento. Y de lo anterior se deduce que lo mismo pasa con el movimiento de rotación de la Tierra y la trayectoria de las cosas que contiene.

A continuación me permito citar ampliamente un par de párrafos que vienen después del experimento del cubo con agua y donde podemos observar la comparación con el movimiento de rotación de la Tierra, así como un elemento clave que hace referencia a la imaginación icónica y a las posibilidades físicas:

SALVIATI. De modo que si la piedra, que lanzada desde la rueda que se hace girar a gran velocidad, tuviese propensión natural a moverse hacia el centro de la propia rueda como la tiene a moverse hacia el centro de la Tierra, sería fácil que volviese a la rueda o más bien que no se separase de ésta. Porque estando al principio de la separación, siendo el alejamiento tan pequeño debido a la infinita agudeza del ángulo de contacto, por poco que la inclinación lo volviese a atraer hacia el centro de la rueda, bastaría para retenerlo sobre la circunferencia.

SIMPLICIO. No dudo en lo absoluto que, supuesto lo que no es ni puede ser, es decir, que la inclinación de los cuerpos graves fuese ir hacia el centro de la rueda, no serían arrojados ni despedidos.

SALVIATI. Ni yo supongo, ni tengo necesidad de suponer, lo que no es, porque no pretendo negar que las piedras sean lanzadas. Pero hablo así, de modo hipotético, para que vos me digáis el resto. Imaginaos ahora que la Tierra sea la gran rueda que, movida con tanta velocidad, deba despedir las piedras. Vos mismo me habéis sabido decir muy bien que el movimiento del proyectil deberá hacerse por la línea recta que toque la Tierra en el punto de la separación. Y esa tangente, ¿cómo va separándose de modo perceptible de la superficie del globo terrestre?

SIMPLICIO. Creo que en mil brazas no se aleja ni un dedo.

SALVIATI. ¿Y no decís vos que el proyectil, atraído por su propio peso, declina desde la tangente hacia el centro de la Tierra?

SIMPLICIO. Lo he dicho. Y añado el resto, y entiendo perfectamente que la piedra no se separará de la Tierra, porque su alejamiento al principio sería tan y tan mínimo, que la inclinación que tiene la piedra de moverse hacia el centro de la Tierra viene a ser más de mil veces mayor. Dicho centro es también, en este caso, el centro de la rueda. Y ciertamente es preciso aceptar que las piedras, los animales y demás cuerpos graves no pueden ser despedidos.

(Galileo, 2011 [1632], p. 169)

La piedra lanzada desde la rueda que gira es un ejemplo que forma parte del experimento del cubo con agua, al igual que la piedra que lanzan los niños con el trozo de caña. Galileo va transitando del ejemplo inicial a otros ejemplos que encuentra cada vez más apropiados para establecer la comparación deseada. Y

con ello, va sumando explicaciones geométricas, ya que éstas aportan *lucidez, claridad y necesidad a la conclusión* (Cfr. Galileo, 2011 [1632], p. 172).

En la cita podemos observar que Galileo busca establecer una comparación entre el movimiento de la rueda que gira y el movimiento de rotación del globo terrestre. La inclinación natural de la piedra es ir hacia el centro de la rueda que gira como lo es para cualquier móvil ir hacia el centro de la Tierra. De tal manera que dicha inclinación natural supera el ímpetu de ir hacia afuera y alejarse del centro. La objeción que se presenta en este punto es en torno a los cuerpos ligeros, como las plumas, lana, algodón y similares, los cuales parecen que tienen una inclinación natural más débil de ir hacia el centro de la Tierra y elevarse con mayor facilidad. Sin embargo no nos detendremos en esta parte ya que no es necesaria para analizar la configuración galileana del experimento mental. Bastará con decir que Galileo la resuelve explicando que el movimiento de proyección (hacia la tangente creada y el cual equivale al movimiento de rotación diurna de la Tierra) no supera nunca al movimiento de inclinación (hacia el centro de la Tierra); la inclinación de los cuerpos ligeros por más mínima que sea siempre supera la velocidad de proyección.

Ahora, en la cita podemos observar que Galileo dice: *Ni yo supongo, ni tengo necesidad de suponer, lo que no es, porque no pretendo negar que las piedras sean lanzadas*. Esta respuesta a Simplicio muestra que las posibilidades que le interesa a Galileo analizar en el experimento son físicas y nomológicas. Es decir, aunque utiliza el caso de la rueda que gira (para compararlo con la rotación de la Tierra) y podría parecer inadecuado porque la piedra no tiene la inclinación natural de ir hacia el centro de la rueda (suposición que no es el caso), Galileo defiende esta formulación hipotética para establecer una relación de similitud con un escenario que sí es el caso en el mundo físico. A Galileo no le interesa involucrar posibilidades metafísicas, ni suponer efectos en los proyectiles (piedra) que no corresponderían a los efectos que esos mismos proyectiles tendrían en la superficie de la Tierra. Al contrario, considera lo que sucedería en el mundo físico y si le atribuye a la rueda la característica de ser como el centro de la Tierra es precisamente porque en la

comparación la rueda representa a la Tierra. Sin embargo, para Galileo es importante que no se desestimen sus razonamientos y argumentos sólo porque considera una serie de escenarios hipotéticos cuya única finalidad es la comparación con escenarios no hipotéticos, por ello, aclara este punto y después pasa directamente a la comparación buscada: la Tierra es esa gran rueda que gira.

Las posibilidades físicas son buscadas en cada una de las ejemplificaciones de este experimento mental. En el primer caso, el cubo con agua, el cual es la versión inicial del experimento, Galileo considera las posibilidades físicas en todo momento, al describir, por ejemplo, el comportamiento del agua cuando está contenida en el cubo o al describir la circunferencia que dibujaría el hombro al girar, etc., todas estas son posibilidades físicas para estos objetos y de hecho, en este caso, necesarias según se observa en la experiencia. Galileo no busca involucrar pues posibilidades metafísicas que describirían comportamientos anormales en los objetos del escenario hipotético, por ejemplo, que el agua no se contenga en el cubo a pesar de ponerla ahí o que el hombro al girar velozmente en lugar de dibujar una circunferencia dibuje un triángulo, etc., al contrario, Galileo busca respetar fielmente el comportamiento que esos objetos tienen en el plano de la experiencia física. Y así continúa con el resto de las ejemplificaciones, cuando sustituye, por ejemplo, el agua en el cubo por piedras, describe igualmente el movimiento físico que éstas tendrían al girar y ser expulsadas por el orificio en el fondo del cubo, un efecto que es el caso en el mundo físicamente observable. Lo mismo pasa con la piedra que escapa de la caña, el comportamiento descrito involucra posibilidades físicas para la piedra, a saber, que para la piedra es físicamente posible salir expulsada por el movimiento veloz de la caña. Y finalmente con el caso de la rueda que gira, Galileo considera que la piedra es lanzada por la tangente, igual que sucederían con una piedra en la superficie de la Tierra; las posibilidades físicas son así, el elemento de interés en cada una de las derivaciones de este experimento mental.

De igual manera, la expresión de Galileo *Ni yo supongo, ni tengo necesidad de suponer, lo que no es*, muestra que el tipo de imaginación utilizada es de carácter icónico. La situación imaginada no es una mera divagación, sino una situación

donde lo que se representa corresponde a situaciones de la experiencia física. Cada objeto y cada efecto imaginado guarda una estrecha relación con el mundo. Galileo no imagina, ni supone objetos ni efectos que no son el caso, sino que cada escenario es una construcción icónica. Cada caso sirve para representar el movimiento de rotación de la Tierra y sobre todo para refutar el argumento de Ptolomeo.

La imaginación icónica permite que la transición de escenarios se mantenga cercana a *lo que es*, precisamente porque lo que prioriza es la *iconicidad*. En todas las situaciones que se contemplan en este experimento la similitud entre los objetos y efectos imaginados y lo que representan es clara. Y otra cosa que también es clara es la intención de Galileo de no caer en suposiciones irrelevantes o poco significativas para la ciencia. Lo que importa imaginar son representaciones pertinentes que le permitan argumentar que la fuerza que atrae a los proyectiles hacia abajo es mayor que la fuerza que los expulsa hacia arriba. Y el tipo de imaginación para lograr lo anterior es la icónica.

Por otro lado, la contrafacticidad de este experimento, considerando cada uno de los escenarios presentados, es de grado bajo. Desde el escenario inicial del cubo con agua hasta la rueda que gira velozmente, en cada caso es posible reunir las condiciones para ejecutarlos físicamente. No hay impedimentos mayores en ningún caso, incluso el propio Galileo dice *se ve que los niños tiran las piedras a gran distancia haciendo girar un trozo de caña, en cuyo final está encajada la piedra*, aludiendo a que ese caso es una experiencia cotidiana aunque pensada e imaginada en el marco del experimento. De ahí, que la posibilidad de su realización física y corroboración sea completamente factible.

CAPÍTULO 4. EL ESTILO GALILEANO DE CONFIGURACIÓN COMO GUÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE EXPERIMENTOS MENTALES EN LA CIENCIA

En este capítulo defenderé que el estilo galileano de configuración debilita las principales preocupaciones que existen sobre la experimentación mental y que constituye, en este sentido, una buena guía para la construcción de experimentos mentales relevantes y significativos para la ciencia.

Las preocupaciones que existen actualmente en torno a los experimentos mentales son varias y en los debates actuales se habla de los peligros que esta metodología encierra. Por ejemplo, a menudo se retoman las inquietudes de Pierre Duhem (1914 [1906]) respecto a esta metodología, cuya preocupación más grande gira en torno a la lejanía que algunos experimentos mentales guardan con el mundo real. Para Duhem los experimentos mentales son ficciones que estrictamente no tienen la posibilidad de ser realizados y, por ello, la ciencia debe evitar usarlos y enfocarse únicamente en la experimentación física:

Pero aún puede ocurrir algo peor. A menudo el experimento ficticio al que se recurre no sólo no se ha realizado, sino que es irrealizable, ya que supone la existencia de cuerpos que no se encuentran en la naturaleza y de propiedades físicas que nunca han sido observadas.

(Duhem, 2003 [1906], p. 266)

La no realización o, pero aún, la imposibilidad de realización, representa para Duhem un costo que la ciencia no debería estar dispuesta a aceptar. La ciencia debería enfocarse en los experimentos que puede realizar, ya que de lo contrario, sería imposible distinguir entre escenarios reales y escenarios ficticios. De ahí que Duhem llegue a considerar que la experimentación mental constituye una pérdida de tiempo:

Bastaría hojear los tratados y manuales de física para encontrarnos con un montón de ejemplos de experimentos ficticios, que revisten

distintas formas, desde el experimento simplemente no realizado hasta el experimento absurdo. Pero no nos detengamos más en esta fastidiosa tarea.

(Duhem, 2003 [1906], p. 268)

Como podemos observar, la concepción de Duhem involucra la idea de una contrafacticidad fuerte, donde el experimento mental no es realizado debido a que es irrealizable. Y desde esta posición es comprensible por qué Duhem considera que la ciencia debe evitar usarlos, ya que si el criterio de realizabilidad está clausurado, los experimentos mentales difícilmente pueden ser considerados una metodología fiable y aceptable para la ciencia.

La preocupación duhemiana representa una de las dificultades más grandes para la experimentación mental, ya que ataca lo que para algunos constituye su cualidad más obvia, esto es, su carácter de ser *mental* y, por tanto, irrealizable. Sin embargo, en esta investigación encontramos que hay otras perspectivas sobre la naturaleza de los experimentos mentales, desde las cuales se considera que éstos pueden tener diferentes grados de realizabilidad, o contrafacticidad, y que el carácter mental puede permanecer en la medida en que la ejecución se mantenga como posibilidad. Para Nersessian, por ejemplo, ésta es una de las características de los experimentos mentales, a saber, ser tan convincentes como para no sentir la necesidad de llevarlos a cabo, incluso cuando es posible llevarlos a cabo físicamente (Cfr. Nersessian, 1992, p. 296). La perspectiva de Nersessian se contrapone a la de Duhem y permite pensar el carácter *mental* no como una condición necesaria, sino como una posibilidad. Para Nersessian los experimentos mentales pueden tener la posibilidad de realización sin que ello afecte su estatus de experimento mental, ya que si éstos están bien contruidos tendrían la capacidad de convencer que los resultados son correctos, sin la necesidad de buscar su ejecución física; y en este caso la posibilidad de realización no afectaría en nada su carácter mental. Galileo también reconoce la capacidad anterior al expresar su confianza en el razonamiento *a priori*: *Yo sin experiencia estoy seguro de que el efecto se dará como os digo, porque es necesario que así suceda* (Galileo, 2011

[1632], p. 128). Para Galileo, los experimentos mentales pueden tener la posibilidad de realización aunque el razonamiento *a priori* puede ser suficiente para convencer de los resultados.

La perspectiva dura de los experimentos mentales, si se permite el término, considera la irrealizabilidad como criterio de demarcación y esto sólo afianza el tipo de preocupación mencionada, ya que si los experimentos mentales no tienen la posibilidad de ser llevados a cabo para poder corroborar hipótesis y teorías, entonces de poco o nada le sirven a la ciencia. Así, la preocupación duhemiana se reafirma aunque sea la propia concepción de Duhem quien la origina.

En cambio, desde una perspectiva menos radical, que considere la posibilidad de realización, no como defecto, sino como una vía para la construcción de experimentos mentales de interés para la ciencia, se puede evitar o cubrir dicha preocupación. Así lo muestra Galileo al incorporar la contrafacticidad media como elemento de configuración; ésta no sólo cubrió en su momento un valor importante para la metodología de la nueva ciencia, a saber, la realizabilidad para poder corroborar o verificar los resultados, sino que es la ausencia de esto lo que actualmente constituye gran parte de la preocupación mencionada.

La irrealizabilidad como condición necesaria ha alimentado dicha preocupación pero desde Galileo tenemos una perspectiva distinta de concepción y, por ende, de configuración, donde las construcciones hipotéticas lejanas e irrealizables, se superan con un grado de contrafacticidad medio, o incluso bajo.

La contrafacticidad media disminuye la actitud escéptica, ya que activa la posibilidad de llevar a cabo físicamente el experimento mental, aún si se decide no hacerlo - quizás se piense que es mejor tener la posibilidad de poder hacerlo, aunque no se haga, que no tener la posibilidad. La realizabilidad y corroboración empírica son elementos valiosos para la ciencia del siglo XVI y XVII y también para la ciencia actual, por lo que resulta fundamental tenerlas como vías abiertas para cuando se requiera.

De esta manera, podemos hacer frente al problema de la irrealizabilidad del experimento mental si consideramos la configuración de Galileo, la cual nos recuerda que los experimentos mentales pueden tener distintos grados de realizabilidad y que eso no les resta valor en la ciencia, sino todo lo contrario.

Paul Thagard (2014) también ha reflexionado sobre los peligros de la experimentación mental y aunque su análisis se ha concentrado en el área de la filosofía, sus preocupaciones bien pueden trasladarse al área de la ciencia. Para Thagard, los experimentos mentales son útiles cuando se usan como recursos para la generación de hipótesis, sin embargo, éstos se vuelven peligrosos cuando se utilizan como evidencia para establecer verdades epistémicas.

Thagard describe los diferentes peligros que aparecen cuando se tiene ese exceso de confianza y los denomina “*los siete pecados de los experimentos mentales*”. El primero consiste en i) *generar falsedades*: los experimentos mentales a menudo llevan a conclusiones falsas, por lo que éstos no son confiables, su buena reputación se debe a casos exitosos como el de *Galileo y las balas de cañón*, sin embargo otros casos, como el experimento de *El cubo de Newton*⁶³ muestran que

⁶³ El experimento es el siguiente: “If a vessel, hung: by a long cord, is so often turned about that the cord is strongly twisted, then filled with water, and held at rest together with the water; after, by the sudden action of another force, it is whirled about the contrary way, and while the cord is untwisting itself, the vessel continues for some time in this motion; the surface of the water will at first be plain, as before the vessel began to move: but the vessel, by gradually communicating its motion to the water, will make it begin sensibly to revolve, and recede by little and little from the middle, and ascend to the sides of the vessel, forming itself into a concave figure (as I have experienced), and the swifter the motion becomes, the higher will the water rise, till at last, performing its revolutions in the same times with the vessel, it becomes relatively at rest in it. This ascent of the water shows its endeavour to recede from the axis of its motion; and the true and absolute circular motion of the water, which is here directly contrary to the relative, discovers itself, and may be measured by this endeavour. At first, when the relative motion of the water in the vessel was greatest, it produced no endeavour to recede from the axis; the water showed no tendency to the circumference, nor any ascent towards the sides of the vessel, but remained of a plain surface, and therefore its true circular motion had not yet begun. But afterwards, when the relative motion of the water had decreased, the ascent thereof towards the sides of the vessel proved its endeavour to recede from the axis ; and this endeavour showed the real circular motion of the water perpetually increasing, till it had acquired its greatest quantity, when the water rested relatively in the vessel. And therefore this endeavour does not depend upon any translation of the water in respect of the ambient bodies, nor can true circular motion be defined by such translation. There is only one real circular motion of any one revolving body, corresponding to only one power of endeavouring to recede from its axis of motion, as its proper and adequate effect; but relative motions, in one and the same body, are innumerable, according to the various relations it bears to external bodies, and like other relations, are altogether destitute of any

se han utilizado para apoyar conclusiones que ahora se consideran falsas (Cfr. Thagard, 2014, p. 296-297). El segundo peligro consiste en que ii) *describen situaciones confusas y ambiguas*: los experimentos mentales en filosofía son problemáticos y engañosos, no describen de manera clara las condiciones físicas requeridas y esa incertidumbre permiten asumir que cualquier cosa imaginada es de hecho posible (Cfr. Thagard, 2014, p. 297). El tercer peligro radica en iii) *ignorar la evidencia relevante*: los experimentos mentales a menudo se concentran más en la reflexión metafísica⁶⁴ e ignoran la evidencia empírica, sería más productivo que se basarán en los datos observados que en ganar conocimiento sobre lo que es el caso o no en los mundos posibles (Cfr. Thagard, 2014, p. 297-298). El cuarto peligro es caer en el iv) *razonamiento circular*: cuando se trabaja con experimentos mentales filosóficos se cae en un razonamiento circular, que inicia con una hipótesis para después generar pseudo-evidencia para sostener a esa misma hipótesis. Para Thagard esta circularidad se rompe en el razonamiento científico donde la evidencia se basa en la observación del mundo (Cfr. Thagard, 2014, 298). El quinto peligro consiste en v) *obstaculizar vías de investigación*: los experimentos mentales usados de manera dogmática obstruyen rutas de investigación porque consideran que los puntos de vista alternativos son falsos; los experimentos mentales usados de manera generativa y crítica no bloquean la investigación (Cfr. Thagard, 2014, 298). El sexto peligro es vi) *perder el tiempo*: los experimentos mentales representan una pérdida de tiempo para los filósofos, quienes podrían enfocarse en cuestiones de

real effect, any otherwise than they may perhaps partake of that one only true motion. And therefore in their system who suppose that our heavens, revolving below the sphere of the fixed stars, carry the planets along with them; the several parts of those heavens, and the planets, which are indeed relatively at rest in their heavens, do yet really move. For they change their position one to another (which never happens to bodies truly at rest), and being carried together with their heavens, partake of their motions, and as parts of revolving wholes, endeavour to recede from the axis of their motions.” (Newton, (1846 [1687]), p. 81). Este experimento mental fue ideado por Newton para argumentar a favor de la existencia del espacio absoluto (mecánica clásica) y en contra de Leibniz, quien consideraba que el espacio no era absoluto, sino un conjunto de relaciones entre objetos materiales y el cual no podía existir independientemente de la materia. Para Leibniz si no hubiera cuerpos u objetos materiales no habría espacio, mientras que para Newton el espacio absoluto puede estar perfectamente vacío; éste es un espacio sin relación con nada externo, que permanece siempre similar e inamovible, mientras que el espacio relativo es una dimensión móvil o alguna medida de los espacios absolutos que nuestros sentidos determinan por la posición de sus cuerpos. De esta manera, para Newton el movimiento absoluto es la traslación de un cuerpo de un lugar absoluto a otro; y el movimiento relativo es la traslación de un cuerpo de un lugar relativo a otro.

⁶⁴ Referencia a los mundos posibles.

mayor importancia, como los problemas éticos y epistemológicos, en lugar de generar y lidiar con experimentos mentales (Cfr. Thagard, 2014, 298). Por último, el séptimo peligro es vii) *generar mala reputación para la filosofía*: el exceso de confianza en los experimentos mentales, esto es, cuando los filósofos pretenden utilizarlos como recursos para establecer verdades epistémicas, produce un rechazo hacia la filosofía por parte de los científicos. (Cfr. Thagard, 2014, pp. 298-299).

Para Thagard los experimentos mentales tienen un rol legítimo en la generación, clarificación de hipótesis e identificación de problemas en la ciencia, pero cuando se pretende extender esta función es cuando los peligros aparecen. Por ello, su postura es escéptica cuando los experimentos mentales son usados como evidencia para justificar la aceptación o rechazo de creencias, ya que considera que aceptar hipótesis únicamente sobre la base de pensar acerca de ellas es, simplemente, inadmisibles. Y considero que tiene razón, encuentro su escepticismo justificado, tanto por el exceso de confianza como por las actitudes dogmáticas, pero al mismo tiempo pienso que dichos peligros pueden evitarse, o al menos disminuirse, si consideramos el estilo galileano como guía de configuración. A través de éste es posible equilibrar cada una de las preocupaciones descritas y enriquecer el rol de los experimentos mentales. Veamos de qué manera la configuración galileana evita o debilita cada uno de estos peligros.

Para ilustrar el peligro de i) *generar falsedades*, por ejemplo, Thagard utiliza el experimento mental de *El cubo de Newton* y afirma que éste caso muestra que los experimentos mentales se han utilizado para apoyar conclusiones que ahora se consideran falsas, ya que la idea del espacio absoluto ha sido superada por la teoría de la relatividad que ahora se acepta. También hace referencia a algunos experimentos mentales filosóficos que desde su consideración han producido conclusiones falsas⁶⁵ -o en el mejor de los casos dudosas-, por ejemplo, el

⁶⁵ Para Thagard las conclusiones de estos experimentos mentales son falsas, ya que durante las últimas décadas se ha acumulado evidencia a favor de la identificación entre mente y cerebro. Toma como referencias a Anderson, J. R., (2007), *How Can the Mind Occur in the Physical Universe?*

experimento de René Descartes sobre la separación mente y cuerpo, a través del cual afirma que podía imaginarse a sí mismo sin un cuerpo, por lo que de ello se concluye que es esencialmente una cosa que piensa; el experimento mental de Saul Kripke para afirmar que el dolor no es un proceso cerebral porque podría imaginar mundos posibles en los que no existe; el experimento mental de “Mary la científica del color” de Frank Jackson para afirmar que el color consiste en algo más que procesos cerebrales, ya que se puede imaginar a una neurocientífica que sabe todo sobre el color y aún así puede aprender algo más sobre la experiencia del color; o el experimento mental sobre la posibilidad de los “zombis” (individuos que son como nosotros físicamente pero carecen de conciencia) de David Chalmers para mostrar que la conciencia no es un proceso cerebral (Cfr. Thagard, 2014, p. 296). En cambio, utiliza el experimento mental de *Galileo y las balas de cañón* como ejemplo de un caso exitoso en la ciencia, donde el resultado que se obtiene sigue siendo aceptado y, por lo tanto, considerado correcto (Cfr. Thagard, 2014, p. 296).

Respecto a lo descrito anteriormente, haré dos comentarios. El primero tiene que ver con la justificación que Thagard utiliza para afirmar que algunos experimentos mentales científicos, como *el cubo de Newton*, han producido conclusiones falsas – porque actualmente ya no se aceptan como verdaderas o correctas. Esto parece relacionarse más bien con la refutación de teorías, el experimento mental es sólo una herramienta metodológica que los científicos utilizan para fortalecer o debilitar hipótesis y argumentar a favor o en contra de una determinada teoría, y las conclusiones que producen pueden ser aceptadas como verdaderas en un momento y rechazadas en otro momento si hay mejores hipótesis o teorías. En este sentido, la verdad o falsedad de las conclusiones que arrojan los experimentos mentales es algo que depende en gran medida de lo que las comunidades científicas aceptan o rechazan dada la evidencia disponible. Y así como hay experimentos mentales que han producido conclusiones que ahora se consideran falsas, hay igualmente experimentos mentales que han producido conclusiones que

Oxford: Oxford University Press; Smith, E. E. and S. M. Kosslyn, (2007), *Cognitive Psychology: Mind and Brain*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall y Thagard, P., (2010), *The Brain and the Meaning of Life*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

se siguen considerando como verdaderas –como el experimento de *Galileo y las balas de cañón* que Thagard menciona–; por lo que la justificación para afirmar lo primero es la misma justificación para poder afirmar lo segundo. En otras palabras, el peligro de i) *generar falsedades* tiene que entenderse como una posibilidad y no sólo de la experimentación mental, sino de la ciencia en general, ya que es una condición inevitable de la actividad y el avance científico; tanto un experimento mental como un experimento realizado en un laboratorio, son susceptibles de generar conocimiento erróneo. En última instancia, el exceso de confianza y la actitud dogmática que conllevan a este peligro, aplica tanto para los experimentos mentales con conclusiones falsas –actualmente no aceptadas– como para los experimentos mentales con conclusiones verdaderas –actualmente aceptadas; y en general para cualquier metodología científica.

El segundo comentario se relaciona con el papel que el estilo galileano de configuración juega para evitar o debilitar este peligro –y los demás. Es decir, si Thagard mismo utiliza el experimento de *Galileo y las balas de cañón* para mostrar un caso exitoso en la ciencia –aunque sea sólo como excepción a la regla–, esto es, un caso donde la conclusión generada se sigue considerando correcta, entonces el estilo galileano de configuración puede constituir una vía para disminuir el peligro mencionado y fortalecer la confianza –no el exceso– en la experimentación mental. Para Thagard, el experimento de Galileo es responsable, en gran medida, de la buena reputación de los experimentos mentales, y si esto es así, bien vale la pena considerar su configuración como guía para la construcción de experimentos mentales. La configuración de Galileo, si bien no puede evitar estrictamente la producción de conclusiones falsas o garantizar la producción de conclusiones verdaderas, ya que eso depende de la evidencia disponible, sí puede proveer una forma de configuración equilibrada que permita disminuir en la medida de lo posible el riesgo en cuestión, a través de priorizar los datos de las observaciones, la verificación, la evidencia relevante, la claridad en los escenarios, las posibilidades físicas, etc. Esto es lo que resulta significativo para la ciencia y la configuración galileana representa una buena guía heurística para lograrlo.

Por otro lado, el peligro de ii) *describen situaciones confusas y ambiguas* se equilibra, por ejemplo, con la imaginación icónica y con las posibilidades físicas que implementa Galileo, ya que a través de estos dos elementos se delimitan de forma más clara los escenarios hipotéticos y las condiciones físicas necesarias para las situaciones construidas; evitando así la ambigüedad. Estos mismos elementos permiten hacer frente al problema de la interpretación que presenta Daniel Dennett, quien considera que *la experiencia nos enseña, sin embargo, que no existe tal cosa como una experimentación mental claramente presentada que ningún filósofo pueda malinterpretar [...]* (Cfr. Dennett 1995, p. 419). Si bien, resulta difícil lograr unanimidad en las interpretaciones, con la imaginación icónica y las posibilidades físicas Galileo logró claridad en la construcción de los escenarios; la descripción física de éstos y la atención a los detalles fueron elementos indispensables para evitar la confusión y ambigüedad⁶⁶. De esta manera, las situaciones confusas y ambiguas son resultado de una imaginación libre, la falta de claridad en lo imaginado o incluso de la fantasía, pero la imaginación icónica ayuda a controlar lo que se imagina, mantiene la iconicidad entre los escenarios hipotéticos y el mundo, y en este sentido funciona como una brújula hacia las condiciones físicas que le interesan a la ciencia.

El peligro de iii) *ignorar la evidencia relevante* se evita también con la imaginación icónica, la cual se encarga de que la construcción mental esté guiada por la información empírica, por el sistema conceptual, por la lógica y en general por los datos relevantes para que el escenario hipotético sea claro, pertinente y bien delimitado. Mientras que con la contrafacticidad media y la posibilidad física se mantiene la relación con el plano de la experiencia sensorial (E), el cual es indispensable como referencia principal de construcción y para tener la posibilidad de corroborar si las predicciones se cumplen. Y mientras se mantenga esa relación, la evidencia relevante no se ignora, ni tampoco se cae en un iv) *razonamiento circular*, ya que lo anterior no permite la generación de pseudo-evidencia -siguiendo

⁶⁶ El problema de la interpretación de los experimentos mentales y la confusión que esto genera ha sido señalado por diversos autores como Johnston, 1987, pp. 59-83; Rovane, 1998, pp. 35-64; y Williams, 1970, pp. 161-180.

la explicación de Thagard para esto-, la información empírica es la materia prima y el plano de la experiencia el punto de contrastación.

Los últimos tres peligros son, de alguna manera, resultado de los primeros cuatro y parecen relacionarse más con una actitud filosófica o científica en lugar de con una configuración específica. El peligro de v) *obstaculizar vías de investigación*, de acuerdo con la explicación de Thagard, ocurre cuando se descartan otros puntos de vista por considerarlos falsos, es decir, se obstruye la investigación cuando a través de los experimentos mentales se producen explicaciones o se derivan conclusiones que se consideran verdaderas cuando en realidad no lo son⁶⁷. Sin embargo, este peligro no sólo depende de considerar verdades y falsedades, sino que se relaciona también con una actitud dogmática, es decir, en cualquier caso donde el filósofo o el científico procedan de manera dogmática y no tomen en cuenta la evidencia relevante, se caerá en razonamientos circulares y se obstruirán vías de investigación. Por ello, la mejor manera de hacerle frente a esta preocupación es evitando este tipo de actitud dogmática en la experimentación mental –y en realidad en cualquier metodología científica.

Lo mismo ocurre con el peligro de vi) *perder el tiempo*, éste es consecuencia directa de caer en los peligros anteriores y adoptar una actitud dogmática. Es decir, sólo se pierde el tiempo si se ignora la evidencia relevante, si se produce pseudo-evidencia, si se procede de manera dogmática, etc. Es el exceso de confianza y este tipo de actitud en la experimentación mental lo que constituye una pérdida de tiempo, precisamente porque se producen los peligros mencionados, pero en realidad eso aplica para cualquier metodología donde el dogmatismo y exceso de confianza sean el caso. En cambio, si se evita lo anterior, el tiempo invertido en la investigación no es tiempo perdido; la reflexión filosófica y científica que se da a través de la experimentación mental puede ser fructífera si no se adoptan actitudes dogmáticas

⁶⁷ Aunque en ocasiones eso no se sabe en el momento, sino tiempo después, cuando la teoría o esa explicación se sustituye por una nueva y mejor. Como el caso que Thagard utiliza, a saber, el de Newton y el espacio absoluto y el de Einstein y la teoría de la relatividad.

y si la configuración considera los aspectos de interés para la ciencia, como lo hace la configuración de Galileo.

Por ejemplo, en las reflexiones sobre la identidad personal, Thagard menciona -siguiendo la postura de Wilkes (1993)- que se podrían llegar a conclusiones mucho más interesantes si se reflexionara sobre los casos reales como el de las personas que tienen diversas enfermedades mentales (Cfr. Thagard, 2012, p. 297). Farah Focquaert considera la misma idea al decir que los experimentos mentales que abordan este tema deberían considerar los resultados más recientes de la neurociencia y la biología, de lo contrario la reflexión se extravía:

Sin considerar los resultados actuales en neurociencia, biología y otras ciencias relevantes, es muy difícil obtener una postura firme y justificada sobre el tema. Sin este respaldo de conocimiento científico, muchos experimentos de pensamiento sobre identidad personal se descarrían. Argumentaré que solo los experimentos mentales que tienen en cuenta los hechos neurológicos y biológicos son legítimos.

(Focquaert, 2003, p. 131)⁶⁸

En otras palabras, la experimentación mental resulta más interesante para la ciencia si se considera la evidencia relevante, los datos y observaciones empíricas de personas reales que son el caso en este mundo. Para Focquaert solamente cuando tenemos un bagaje adecuado y bien descrito, podemos sacar conclusiones útiles e iluminadoras y esto es lo que hace a un experimento mental válido (Cfr. Focquaert, 2003, p. 136). El resto de los experimentos que no descansan en esta consideración son poco útiles para la ciencia y, por ende, una pérdida de tiempo.

⁶⁸ Mi traducción. La versión en inglés es la siguiente: Without considering the current results in neuroscience, biology and other relevant sciences it's very difficult to get a firm and justified grip on the subject. Without this backing scientific knowledge a lot of thought experiments on personal identity go astray. I will argue that only those thought experiments are legitimate, that take into account the neurological and biological facts that join them.

John R. Gribbin también considera algo similar en relación a este peligro, al decir que *un experimento real vale más que medio siglo de debate sobre el significado de un experimento mental [...] (Cfr. Gribbin, 1984, p. 222)*. La preocupación de Gribbin tiene que ver con este sentido de pérdida de tiempo, los filósofos y los científicos deberían enfocarse en la experimentación física, en lugar de invertir sus esfuerzos en tratar de entender un experimento mental o en tratar de determinar si su conclusión es el caso o no. Para Gribbin, el valor de la experimentación física es mayor, precisamente porque se enfoca en lo que podemos contrastar con el mundo actual. Para Thagard, en cambio, los filósofos deberían utilizar en la experimentación mental por lo menos la información disponible que tenemos sobre el mundo y las personas que viven en él, para así tratar de responder cuestiones éticas y epistemológicas.

Finalmente, el peligro de vii) *generar mala reputación para la filosofía*, es resultado de los peligros anteriores y se resuelve de igual manera. Es decir, la mala fama que la filosofía podría tener, debido en mayor medida a los experimentos mentales filosóficos, descansa en la actitud dogmática y el exceso de confianza que algunos filósofos depositan en la experimentación mental –y yo agregaría también la configuración utilizada. Para Thagard los experimentos mentales en filosofía⁶⁹ a menudo producen conclusiones falsas o en el mejor de los casos dudosas y eso afecta la imagen y reputación de la filosofía misma (Cfr. Thagard, 2014, p. 298-299). Sin embargo, Thagard mismo utiliza el experimento mental de *Galileo y las balas de cañón* para ejemplificar un caso exitoso en la ciencia, por lo que resulta claro que la configuración galileana representa una forma de generar buena reputación, no sólo para la filosofía, sino también para la ciencia en general.

El análisis que Thagard hace sobre estos peligros aplica tanto para los experimentos mentales filosóficos como para los experimentos mentales científicos; la confianza excesiva y las actitudes dogmáticas pueden darse en ambos casos. Sin embargo,

⁶⁹ Como los experimentos mentales de Descartes y Kripke sobre la separación mente y cuerpo y los experimentos de Jackson y Chalmers sobre la separación de los procesos mentales con los procesos cerebrales.

los experimentos mentales pueden ser una herramienta útil si se utilizan y configuran de manera equilibrada; y es en esta dirección, como podemos observar, que la configuración galileana resulta valiosa, ya que minimiza cada una de estas preocupaciones y con ello aporta una buena guía para la construcción de experimentos mentales que resulten relevantes y significativos para la ciencia.

Otra de las preocupaciones sobre los experimentos mentales que podemos considerar es la que presenta Kathleen Wilkes (1988); si bien su crítica se enfoca en los experimentos mentales filosóficos, la preocupación puede extenderse a los experimentos mentales científicos, sobre todo cuando éstos utilizan una configuración similar a la de aquellos, a saber, un tipo de imaginación difusa e incluso metafórica, posibilidades metafísicas y un alto grado de contrafactividad.

Para Wilkes, los experimentos mentales en filosofía, sobre todo en filosofía de la mente, tienen un carácter ficcional muy parecido a las fantasías literarias y esto los vuelve problemáticos:

En resumen, no podemos extraer conclusiones filosóficamente interesantes de experimentos de pensamiento fantásticos. No podemos hacer esto porque tenemos la siguiente opción: o (a) los imaginamos en el mundo tal como lo conocemos, o (b) los imaginamos en un contexto bastante diferente. Si elegimos el primero, los imaginamos en un contexto que los considera imposibles, que insiste en que los trasplantes del hemisferio (por ejemplo) violan las leyes biológicas y físicas fundamentales. Si elegimos (b), entonces tenemos el reino de la fantasía, y la fantasía está bien para leer; pero no permite sacar conclusiones filosóficas, porque en un mundo indeterminadamente diferente no sabemos qué queremos decir sobre nada. (Wilkes, 1988, p. 46)⁷⁰

⁷⁰ Mi traducción. La versión en inglés es la siguiente: In sum, we cannot extract philosophically interesting conclusions from fantastical thought experiments. We cannot do this because we have the following choice: either (a) we picture them against the world as we know it, or (b) we picture them

Debido a esto, los experimentos mentales no pueden ser una buena herramienta filosófica, por lo que hay que abandonarlos y sustituirlos por experimentos científicos reales, ya que éstos *pueden ser útiles y tienden a ser relativamente no problemáticos* (Cfr. Wilkes, 1988, p. 2-3). Cabe mencionar que aunque Wilkes reconoce la utilidad de los experimentos mentales científicos, en comparación con los filosóficos, no descarta que algunos de ellos son igualmente inútiles y poco claros; la fantasía puede estar presente en cualquier escenario, filosófico o científico. Sin embargo, el peligro de la fantasía, al igual que los anteriores, se explica y se resuelve con los elementos de la configuración galileana: los experimentos mentales pueden resultar en construcciones ficticias cuando se le da rienda suelta a la imaginación y cuando las posibilidades involucradas son de tipo metafísico, pero cuando la imaginación está constreñida por la teoría, la lógica, las observaciones, los datos empíricos y las posibilidades físicas, poco espacio queda para la ficción y la fantasía.

Las preocupaciones de Duhem, Thagard y Wilkes que he retomado hasta aquí, engloban las principales inquietudes, o al menos las más recurrentes, cuando se habla de los peligros de los experimentos mentales. Si bien, como he comentado, la mayoría se enfoca en los experimentos mentales filosóficos, por ser los que tienen una configuración más problemática⁷¹, es claro que los riesgos aplican también para el área de la ciencia. Y por ello, la configuración de Galileo resulta doblemente valiosa, ya que a través de sus tres elementos se pueden equilibrar estos peligros tanto en un campo como en otro. Con la imaginación icónica se evita la construcción de imágenes difusas o ficticias y se posibilita, en cambio, la percepción y construcción de escenarios claros para el análisis que le interesa a la ciencia. Con las posibilidades físicas o nomológicas se garantiza que las situaciones hipotéticas sean cercanas al mundo actual y, por ende, significativas para la ciencia. Y

against some quite different background. If we choose the first, then we picture them against a background that deems them impossible—that insists that hemisphere transplants (for instance) violate fundamental biological and physical laws. If we choose (b), then we have the realm of fantasy, and fantasy is fine to read; but it does not allow for philosophical conclusions to be drawn, because in a world indeterminately different we do not know what we would want to say about anything.

⁷¹ La configuración resulta problemática para los intereses de la ciencia y es por lo general desde esta posición que se analizan los peligros de los experimentos mentales filosóficos.

finalmente, con la contrafacticidad media, y en algunos casos incluso con la contrafacticidad baja, se hace frente a las preocupaciones sobre la irrealizabilidad, permitiendo la posibilidad de corroboración de cada escenario imaginado.

La configuración de Galileo representa, en este sentido, la vía para hacer frente a estas preocupaciones y se puede enriquecer y fortalecer con algunas aportaciones posteriores, por ejemplo, con el plano de la experiencia sensorial (E) del que habla Einstein. Recordemos que en la construcción de una teoría Einstein considera que si nuestras predicciones (S) son confirmadas, sólo podemos confiar un poco más en los saltos especulativos (J) que hemos dado del plano de la experiencia sensorial (E) al plano axiomático (A), pero no absolutamente, ya que se pueden derivar consecuencias necesarias de axiomas falsos. El ciclo EJASE que ilustra la construcción de teorías, enriquece la relación de los tres elementos que conforman la configuración galileana, ya que fortalece la conexión con el plano de la experiencia (E) que más le interesa a la ciencia; sin embargo, hay que aclarar que, en la configuración galileana, esto no representa una obligación de realización, sino que nos recuerda la importancia de tener la posibilidad abierta para hacerlo.

De esta manera, la preocupación principal de Thagard, a saber, que la experimentación mental por sí sola no constituye evidencia absoluta, se minimiza también con la consideración anterior, tanto para los experimentos mentales filosóficos como científicos, ya que las conclusiones que se derivan de los experimentos mentales deberían tener la posibilidad (contrafacticidad media o baja) de ser contrastados y evaluados con respecto a la evidencia empírica del plano sensorial (E). El experimento mental tiene que estar inmerso en una teoría específica, basarse en los datos que la teoría arroja y estar en conexión con la aparición de nueva evidencia o reinterpretación de datos, de lo contrario el experimento mental puede tornarse en un razonamiento carente de sustento teórico e interés científico; y llevarnos, como afirma Thagard, a la adquisición de falsas creencias por ignorar la evidencia relevante.

Las preocupaciones y peligros que se consideran en los debates actuales, nos recuerdan los aspectos más importantes para la ciencia que se han dejado de lado

en la experimentación mental. Para algunos estas preocupaciones pueden resultar anacrónicas con la configuración de Galileo, si se considera, por ejemplo, que su publicación es reciente, ya que los primeros textos que hablan sobre el experimento mental como concepto no surgieron sino hasta inicios del siglo XIX cuando Hans Christian Ørsted utilizó por primera vez el término *Gedankenexperiment*; y posteriormente con Ernst Mach que utilizó el término para referirse al proceso mental que nos permite imaginar una variación de hechos (Cfr. 1948: 159-160); y así con el resto de los autores que desde entonces han ido reflexionando sobre el tema. Sin embargo, aunque la publicación de estas preocupaciones sean más cercanas a nuestra época, ello no significa que no hayan acompañado a la experimentación mental desde antes, quizás de manera informal como preocupaciones metodológicas no publicadas, o incluso considerando que dichas preocupaciones sean exclusivamente recientes, la configuración galileana sigue resultando de gran utilidad para minimizar estas preocupaciones modernas.

Así, podemos considerar que Galileo cubrió en su configuración los aspectos que eran importantes para la nueva ciencia de los siglos XVI y XVII y que es, de hecho, la ausencia de estos aspectos en la experimentación mental actual, tanto en filosofía como en la ciencia, lo que ha dado lugar a las preocupaciones, riesgos y peligros mencionados. Por ello, el estilo galileano constituye una buena guía heurística para la construcción de experimentos mentales que sean considerados relevantes y significativos en la ciencia, ya que éste debilita las principales preocupaciones que se consideran en la actualidad, en particular tres grandes grupos que podemos resumir de la siguiente manera: i) que son construcciones vagas, difusas e incluso ficticias, ii) que son irrealizables, no corroborables y por lo tanto poco útiles para la investigación y iii) que son construcciones lejanas de poco interés para la ciencia. En este sentido, el estilo galileano resulta provechoso no sólo para explicar la transformación, proliferación y consolidación del experimento mental durante el periodo de la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII, sino para hacer frente a esta problemática actual.

La configuración de Galileo puede guiarnos hacia una práctica equilibrada -y aceptada- de la experimentación mental, si incorporamos los tres factores que la conforman podríamos construir experimentos mentales que sean considerados más relevantes y significativos en las comunidades científicas, tanto en ciencia como en filosofía⁷², esto es, experimentos mentales más claros y definidos (representaciones icónicas), guiados por la teoría, por un sistema teórico y conceptual, por los datos y observaciones empíricas (posibilidades físicas) y con posibilidad de realización (contrafacticidad media o baja), incluso aunque se opte por no realizarlos. Estas construcciones son el tipo de construcciones que resultan relevantes científicamente, ya que son las que establecen una conexión directa con el mundo y con el plano de la experiencia (E). Por ello, esta configuración resulta una forma fiable y estable para proceder en la ciencia, ya que considera los elementos que a la ciencia le interesa evaluar.

La guía heurística que Galileo pone a nuestra disposición también resulta útil para analizar la configuración de otros experimentos mentales y para entender que, si bien, hay diferentes estilos de configuración dependiendo del área o disciplina de estudio, la mayoría de las críticas se realizan desde la perspectiva científica y, por ende, éstas pueden contextualizarse, debilitarse o incluso resolverse con la configuración galileana. Así habrá, por ejemplo, estilos de configuración considerados más peligrosos, como el utilizado en filosofía de la mente, precisamente porque la configuración de los elementos que utiliza se aleja de lo que la ciencia prioriza. En cambio, el estilo galileano de configuración representa la configuración más aceptada para hacer experimentación mental porque surgió en el área de la física, considerada el paradigma de la ciencia moderna en los siglos XVI y XVII, por eso la mayoría de las preocupaciones encuentran sentido desde esta configuración y es por esta razón que sirve como punto de referencia y comparación.

⁷² Los experimentos mentales en filosofía, en especial en filosofía de la mente, tienen una configuración diferente debido a la naturaleza de los temas que abordan. Sin embargo, se puede buscar igualmente un equilibrio en la medida de lo posible.

En resumen, existen diferentes preocupaciones, riesgos o peligros en torno a los experimentos mentales, tanto en la ciencia como en filosofía, y la configuración galileana permite evitarlos o minimizarlos, ya que en principio es la ausencia de los elementos que Galileo consideró en la experimentación mental lo que ha dado forma, en gran medida, a cada una de esas preocupaciones. De esta manera, la configuración de Galileo representa una vía para abordar esta problemática actual y al mismo tiempo una guía heurística para la construcción de experimentos mentales que sean relevantes y significativos para la ciencia. Sin embargo, cabe mencionar que la configuración galileana no es una propuesta infalible, los peligros siguen latentes, sobre todo cuando no se abandonan las actitudes dogmáticas y el exceso de confianza que Thagard señala, pero de todas las configuraciones ésta es la más estable para proceder en la ciencia, ya que es la única que mantiene un equilibrio metodológico y hace frente a las dificultades descritas.

Por otro lado, tampoco se trata de una propuesta exhaustiva para entender la relevancia científica de los experimentos mentales, sino más bien de una brújula para buscarla, analizarla e incluso definirla, no sólo en el área de la física, sino en otras áreas del conocimiento. La configuración galileana nos hace reflexionar sobre las características o condiciones que un experimento mental necesita cubrir para que sea relevante científicamente y, por ende, significativo para las comunidades científicas, y al mismo tiempo ella misma constituye una guía de construcción para lograr lo anterior. En este sentido, resulta útil tanto para abordar los problemas de la experimentación mental en general como para proveer vías de solución.

CONCLUSIONES

En el capítulo 1 se contextualizó el papel del experimento mental en la tradición científica y se mostró que existe una pluralidad de concepciones en torno a su naturaleza. A partir de esto, se concluyó lo siguiente:

- La pluralidad de concepciones sobre el experimento mental enriquece nuestro conocimiento sobre su papel y utilidad en la ciencia, sin embargo, es necesaria una caracterización que integre dicha diversidad de notas y muestre que el carácter más básico del experimento mental radica en su función metodológica.
- La caracterización propuesta, a saber, el experimento mental como una herramienta metodológica, que involucra el uso de la imaginación, diferentes tipos de posibilidades, razonamiento *a priori*, carácter modal, escenarios contrafácticos, función heurística y que, en general, sirve para fortalecer o debilitar hipótesis, así como para argumentar a favor o en contra de determinadas teorías en la ciencia, no es reduccionista ni esencialista, sino pragmática; a través de la función metodológica se integra la diversidad mencionada y se clarifica el papel fundamental del experimento mental en la ciencia.

En el capítulo 2 se argumentó que el experimento mental es una característica de la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII y se defendió que éste mismo se transformó durante este periodo revolucionario gracias a la configuración que implementó Galileo Galilei. A partir de esto se concluyó lo siguiente:

- La configuración galileana está conformada, fundamentalmente, por tres elementos: i) imaginación icónica, ii) posibilidad física y iii) contrafactividad media. Aunque no se descartan otros posibles factores.

- A través de estos tres elementos, Galileo no sólo transformó la experimentación mental, sino que con ello influyó en su proliferación y consolidación metodológica.
- La aportación más valiosa de Galileo, no fue establecer una nueva metodología, sino una nueva configuración para los experimentos mentales, cuyo éxito radica en que tomó en cuenta tres valores importantes para la experimentación (física y mental) en la nueva ciencia de los siglos XVI y XVII: i) la autoridad de la naturaleza, la cual se ve reflejada en el uso de la imaginación icónica que permite la construcción de imágenes claras y bien definidas basadas en los datos obtenidos de las observaciones, ii) la consideración de las leyes vigentes de la física, reflejada en la construcción de escenarios hipotéticos donde se consideren las posibilidades nomológicas que son las significativas para la ciencia y iii) la verificación o corroboración, reflejada en el grado de contrafacticidad medio, incluso bajo en algunos casos, lo cual deja abierta la posibilidad de realización, ya sea a corto o mediano plazo.

En el capítulo 3 se presentaron y analizaron cinco experimentos mentales de Galileo. A partir de esto se concluyó lo siguiente:

- La estructura de los cinco experimentos mentales de Galileo presentados, descansa en tres elementos, a saber, i) la imaginación icónica, ii) la posibilidad física y iii) la contrafacticidad media o baja.
- En los cinco experimentos mentales se hace uso de la imaginación icónica y se apelan a posibilidades físicas o nomológicas. Sin embargo el grado de contrafacticidad varía. La contrafacticidad en los experimentos mentales “la torre inclinada”, “el navío con moscas” y “el plano inclinado” es de grado medio. En el experimento mental “el experimento del aire” la contrafacticidad es de grado medio o bajo, dependiendo de la facilidad para conseguir una lámina de oro. Y la contrafacticidad del experimento mental “el cubo con agua” es de grado bajo.

- En el caso del “experimento del aire” y “el cubo con agua”, la contrafacticidad es más débil debido a que el factor del aire está involucrado de una manera diferente; en el primer caso la resistencia del aire se considera como un elemento favorecedor y en el segundo caso no se considera como un obstáculo.

En el capítulo 4 se presentaron las principales preocupaciones que existen en torno a los experimentos mentales, tanto en la ciencia como en filosofía, y se defendió que la configuración galileana constituye una guía adecuada para la construcción de experimentos mentales relevantes y significativos para la ciencia. En este sentido, se concluyó lo siguiente:

- La ausencia de los elementos que Galileo consideró es lo que ha dado forma a las principales preocupaciones y peligros entorno a la experimentación mental, a saber: i) que son construcciones vagas, difusas, ficciones, quimeras explicativas, ii) que son construcciones lejanas y, por ende, de poco interés para la ciencia y iii) que son irrealizables, no corroborables y, por tanto, poco o nada útiles para la investigación científica.
- La configuración galileana ayuda a debilitar, o incluso evitar, las principales preocupaciones que actualmente existen sobre la experimentación mental.
- El estilo galileano de configuración constituye el estilo más estable y aceptado para la experimentación mental en la física, paradigma de la ciencia moderna en los siglos XVI y XVII, precisamente porque considera los valores que para la física y para otras áreas son importantes. Y en este sentido, representa el estilo de configuración que puede guiarnos en la construcción de experimentos mentales más relevantes y significativos para la ciencia en general.

Las líneas de investigación que quedan abiertas pueden encauzarse hacia el análisis de otros estilos de configuración, por ejemplo, en filosofía de la mente, epistemología, ética, matemáticas, literatura, entre otros, donde la configuración galileana puede servir como punto de referencia para identificar los elementos que

componen la configuración de otros experimentos mentales y el grado en el que éstos están presentes. También se puede profundizar en qué medida los experimentos mentales, de otras áreas, sobre todo de filosofía de la mente o de la física contemporánea— por ser las más polémicas—, pueden adaptarse a la configuración de Galileo y minimizar, con ello, los riesgos que involucran.

La configuración aquí analizada, también puede servir para indagar la configuración específica de otras herramientas metodológicas en la ciencia y evaluar si hay elementos en común, estructuras y patrones de aceptación o rechazo.

La función didáctica (enseñanza) y la función demostrativa es otra línea de investigación que se puede continuar, tanto en la obra de Galileo como en la experimentación mental en general. La primera ha sido poco abordada como tal, mientras que la segunda es de las más controversiales. No obstante, ambas están presentes de manera clara en la práctica experimental de Galileo; los experimentos mentales, no son únicamente meros recursos didácticos, sino herramientas de prueba que involucran cálculos matemáticos y diagramas geométricos. De igual manera, resultaría interesante investigar si la función de los experimentos mentales cambia en el periodo de ciencia normal y en el periodo de ciencia revolucionaria; o si hay otros factores inmersos en la metodología galileana.

Finalmente, los retos que se abren son varios y muestran que los resultados de esta investigación se pueden seguir extendiendo.

REFERENCIAS

Aristóteles, (1995), "Analíticos Segundos" en *Tratados de Lógica (Organon) II*, tr. Miguel Candel SanMartín, Madrid: Gredos.

Aliseda Llera, Atocha, (2006), *Abductive Reasoning. Logical Investigations into Discovery and Explanation*, (eds.) Vincent F. Hendricks, John Symons, Jaakko Hintikka [et. al.], Synthese Library: Studies in Epistemology, Logic, Methodology, and Philosophy of Science, Vol. 330, Springer.

Bishop, Michael A., (1998), "An Epistemological Role for Thought Experiments" en Shanks N. (ed) *Idealization IX: Idealization in Contemporary Physics*, Amsterdam - Atlanta: Rodopi.

(1999), "Why Thought Experiments Are Not Arguments", *Philosophy of Sciences*, 66, pp. 534-541.

Brown, James Robert, (1986), "Thought Experiments Since the Scientific Revolution", *International Studies in the Philosophy of Science*, Vol.1, No. 1, pp. 1-15.

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

(1991b), "Thought Experiments: A Platonic Account" en Horowitz et. al. (eds.) *Thought Experiments in Science and Philosophy*, Savage, MD: Rowman & Littlefield Publishers, pp. 119-128.

(1992), "Why Empiricism Won't Work", *Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, Vol. 2, pp. 271-279.

(2004), "Why Thought Experiments Transcend Empiricism" en Hitchcock (ed.) *Contemporary Debates in the Philosophy of Science*, Blackwell.

(2012a), "What Do We See in a Thought Experiments?" en Brown, James Robert, et. al. (eds.) *Thought Experiments in Philosophy, Science and the Arts*, Routledge, pp. 53-68. Taylor & Francis 2013.

(2012b), *Platonism, Naturalism, and Mathematical Knowledge*, New York: Routledge.

Buzonni, Marco, (2012), "Thought Experiments from a Kantian Point of View" en Brown, J. R. et. al. (eds.) *Thought Experiments in Philosophy, Science and the Arts*. Routledge, pp. 53-68. Taylor & Francis 2013.

Cohen, Bernard, (1985), *Revolution in Science*, Cambridge: Harvard University Press. Versión en español: *Revolución en la ciencia*, Barcelona: Gedisal, 1988.

Damper, Robert I., (2001), "Thought Experiments can be Harmful", Image, Speech and Intelligent Systems Research Group, Department of Electronics and Computer Science, University of Southampton, Southampton SO17 1BJ, UK. *Abstract for Conference on Model-Based Reasoning (MBR'01)*, May 17–19, Pavia, Italy.

Davidson, Donald, (1987), "Knowing One's Own Mind", *Proceedings and Addresses of the American Philosophical Association*, Vol. 60, No. 3, pp. 441-458.

Dennett, Daniel C., (1995), *Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life*, London, UK: Penguin.

Drake, Stillman, (1972), "Galileo Gleanings XXI- On the Probable Order of Galileo's Notes on Motion", *Physis*, Vol. 14, pp. 55-68.

(1973), "Galileo's Experimental Confirmation of Horizontal Inertia: Unpublished Manuscripts (Galileo Gleanings XXII)", *Isis*, Vol. 64, No. 3, pp. 291-305.

Duhem, Pierre, (2003 [1906], *La teoría física, su objeto y su estructura*, Segunda Parte, Cap. IV, "El experimento de física", pp. 189-216; Cap. VI, "La teoría física y el experimento", pp. 237-288, tr. María Pons Irazazábal, Barcelona: Herder.

Einstein, Albert, (1998), "On the Electrodynamics of Moving Bodies" en Stachel, J. (ed.), *Einstein's Miraculous Year*, Princeton University Press, pp.123-160. Versión en alemán: Einstein, Albert, (1905), "Zur Elektrodynamik bewegter Körper", *Annalen der Physik*, 17, 1, pp. 904-905.

Engel, Pascal, (2011), "Philosophical Thought Experiments: In or Out of the Armchair?" en Roux and Ierodiakonou, *Thought Experiments in Methodological and Historical Contexts*, pp. 145-164.

Fahie, John Joseph, (1903), *Galileo, his life and work*, Londres: London Murray.

Feyerabend, Paul Karl, (1974), *Contra el método: Esquema de una teoría anarquista del conocimiento*, España: Ariel.

Floris Cohen, Hendrik, (1994), *The Scientific Revolution. A Historiographical Inquiry*, Chicago: The University of Chicago Press.

Focquaert, Farah, (2003), "Personal Identity and its Boundaries: Philosophical Thought Experiments", *Philosophica*, Vol. 72, pp. 131-152.

Forge, John, (1991), "Thought Experiments in the Philosophy of Physical Science", en Horowitz and Massey et. al. (eds.) *Thought Experiments in Science and Philosophy*, Savage, MD: Rowman & Littlefield Publishers, pp. 209-222.

Galilei Galileo, (2010 [1610]), *Noticiero sideral*, Edición Conmemorativa del IV Centenario de la publicación de Sidereus Nuncius, trad. del latín a partir de la edición de Venecia 1610, Madrid: Museo Nacional de Ciencia y Tecnología (MUNCYT).

(1981 [1623]), *El ensayador*, trad. José Manuel Revuelta, Argentina: Aguilar. Título original: *Il saggiaiore, nel quale con bilancia esquisita e giusta si ponderano le cose contenute nella Libra astronómica e filosófica di Lotario Sarsi Sigensario*. Publicado en 1623.

(2011 [1632]), *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano*, trad. Antonio Beltrán Marí, Madrid: Alianza.

(1914 [1638]), *Dialogues concerning two new sciences*, tr. Henry Crew and Alfonso de Salvo, New York: Dover Publications.

Grellard, Christophe, (2011), “Thought Experiments in Late Medieval Debates on Atomism” en Roux, S. and Ierodiakonou, K. (eds.), *Thought Experiments in Methodological and Historical Contexts*, Leiden - Boston: Brill.

Gribbin, John, (1984), *In Search of Schrödinger’s Cat: Quantum Physics and Reality*, New York: Bantam Books.

Hacking, Ian, (1992), “Do Thought Experiments Have a Life of Their Own? Comments on James Brown, Nancy Nersessian and David Gooding”, *Proceeding of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, Vol. 2, pp. 302-308.

Horowitz, Tamara and Gerald J. Massey (eds.), (1991), *Thought Experiments in Science and Philosophy*, Savage, MD: Rowman & Littlefield Publishers.

Hitchcock, Christopher, (ed.), (2004), *Contemporary Debates in the Philosophy of Science*, Oxford: Blackwell.

Holton, Gerald, (1985), *La imaginación Científica*, tr. Juan José Utrilla, México: Fondo de Cultura Económica.

(1987), *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*, Cap. 5, “Galileo y la nueva astronomía”, Segunda edición, corregida y ampliada por Stephen G. Brush. España: Reverté.

(1992), “La imaginación en la ciencia”, en Preta L. (comp.), *Imágenes y metáforas de la ciencia*, Alianza Editorial.

Hooykaas, Reijer, (1987), “The Rise of Modern Science: When and Why?”, *British Journal of the History of Science*, Vol. 20 (4), pp. 453-473.

Irvine, Andrew D., (1991), “On the Nature of Thought Experiments in Scientific Reasoning”, en Horowitz and Massey, et. al. (eds.) *Thought Experiments in Science and Philosophy*, Savage, MD: Rowman & Littlefield Publishers, pp. 149-166.

Jackson, Frank, (1982), “Epiphenomenal Qualia”, *Philosophical Quarterly*, Vol. 32, No. 127, pp. 127-136.

Johnston, Mark, (1987), “Human Beings”, *The Journal of Philosophy*, Vol. 84, No. 2, pp. 59–83.

Koyré, Alexander, (1968), *Metaphysics and Measurement: Essays in Scientific Revolution*, Cambridge: Harvard University Press.

(1977 [1961]), *Estudios de Historia del Pensamiento Científico*, tr. Encarnación Pérez Sedeño y Eduardo Bustos, Siglo XXI de España Editores S. A.

(1980), *Estudios Galileanos*, tr. Mariano González Ambóu, España: Siglo XXI. Edición original por Hermann, París, 1966.

Kuhn, Thomas S., (1971 [1962]), *La estructura de las revoluciones científicas*, trad. Agustín Contin, México: Fondo de Cultura Económica.

(1977), *The Essential Tension, Selected Studies in Scientific Tradition and Change*, Cap. 10, "A Function for Thought Experiments", The University of Chicago Press, pp. 241-265.

Langevin, Paul, (1911), "The Evolution of Space and Time, *Scientia*", Vol. 10, pp. 31–54. Versión en francés: Langevin, Paul, (1911), "L'Évolution de l'espace et du temps", *Scientia*, 10, pp. 31-54.

Lewis, David K., (1986), *On the Plurality of Worlds*, Oxford: Blackwell.

Mach, Ernst, (1897), "Über gedankenexperimente", *Zeitschrift für den Physikalischen und Chemischen Unterricht*, pp. 1-5.

(1905), *Erkenntnis und Irrtum, Skizzen zur Psychologie der Forschung*, Leipzig: Verlag von Johann Ambrosius Barth, 108-125. Versión en español:

(1948 [1905]), *Conocimiento y Error*, tr. Cortés Pla, Buenos Aires, Argentina, S. A: Espasa-Calpe. Versión en inglés: (1976 [1905]), *Knowledge and error: Sketches on the Psychology of Enquiry*, Boston-USA: D. Reidel Publishing Company.

MacLachlan, James, (1973), "A Test of an 'Imaginary' Experiment of Galileo's", *Isis*, Vol. 64, No. 3, pp. 374-379.

Marquina Fábrega, José Ernesto y Álvarez García, José Luis, (1992), “Los experimentos de Galileo”, *Ciencias*, No. 26, pp. 15- 26. [En línea].

(1998), “A 450 años del nacimiento de Giordano Bruno”, *Ciencias*, No. 50, 4-9. [En línea].

McAllister, James William, (2013), “Thought experiments and the exercise of Imagination in Science” en Mélanie Frappier, Letitia Meynell and James Robert Brown (eds.), *Thought Experiments in Philosophy, Science and the Arts*, New York: Routledge, Taylor & Francis, pp. 11-29.

McMullin, Ernan, (1985), “Galilean idealization”, *Studies in History and Philosophy of Science*, Vol. 16, No. 3, Great Britain: Pergamon Press, pp. 247-273.

Mitchell, Sandra D., (2002), “Integrative Pluralism”, *Biology and Philosophy*, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, Vol. 17. pp. 55–70.

Nersessian, Nancy J., (1992), “In the Theoretician’s Laboratory: Thought Experimenting as Mental Modeling”, *Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, Vol. 2, pp. 291-301.

Newton, Isaac, (1846 [1687]), *Newton's Principia: the mathematical principles of natural philosophy*, tr. Andrew Motte, Published by Daniel Adee, New York, p. 81.

Norton, John D., (1991), “Thought experiments in Einstein's work”, en Horowitz et. al. (eds.) *Thought Experiments in Science and Philosophy*, Savage, MD: Rowman & Littlefield Publishers. pp. 129-148.

(1996), “Are Thought Experiments Just What You Thought?”, *Canadian Journal of Philosophy*, Vol. 26, No. 3, pp. 333-366.

(2004), "Why Thought Experiments Do Not Transcend Empiricism", en Christopher Hitchcock (ed.), *Contemporary Debates in the Philosophy of Science*. Oxford: Blackwell, pp. 44-66.

(2012), "Chasing the Light: Einstein's Most Famous Thought Experiment" en Brown, James Robert, et. al. (eds.) *Thought Experiments in Philosophy, Science and the Arts*, Routledge, pp. 11-29.

Peirce, Charles Sanders, (1958), *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*, Volumes 1–6 edited by C. Hartshorne, P. Weiss, Cambridge: Harvard University Press, 1931–1935; and volumes 7–8 edited by A.W. Burks. Cambridge: Harvard University Press.

Pérez Tamayo, Ruy, (2012), *La revolución científica*, México: Fondo de Cultura Económica.

Putnam, Hilary, (1973), "Meaning and Reference", *The Journal of Philosophy*, Vol. 70, No. 19, pp. 699-711.

Rescher, Nicholas, (1991), "Thought Experimentation in Presocratic Philosophy", en Horowitz et. al. (eds.) *Thought Experiments in Science and Philosophy*. Savage, MD: Rowman & Littlefield Publishers, pp. 31-42.

Rovane, Carol, (1998), *The Bounds of Agency: An Essay in Revisionary Metaphysics*, Princeton, NJ: Princeton University Press.

Searle, John, (1980), "Minds, brains and programs", *Behavioral and Brain Sciences*, No. 3, pp. 417-457.

Sorensen, Roy A., (1992), *Thought Experiments*, Oxford: Oxford University Press.

Roux, Sophie y Ierodiakonou Katerina (eds.), (2011), *Thought Experiments in Methodological and Historical Contexts*, Leiden - Boston: Brill.

Thagard, Paul, (1978), "The Best Explanation: Criteria for Theory Choice", *The Journal of Philosophy*, Published by Journal of Philosophy, Inc., Vol. 75, No. 2, pp. 76-92.

(2014), "Thought Experiments Considered Harmful", The Massachusetts Institute of Technology, *Perspectives on Science*, Vol. 22, No. 2, pp. 288-305.

Vaidya, Anand, (2017), "The Epistemology of Modality", The Stanford Encyclopedia of Philosophy. [Consultado en línea].

Wilkes, Kathleen V., (1988), *Real people: personal identity without thought experiments*, Oxford; New York: Clarendon Press; Oxford University Press.

Williams, Bernard, (1970), "The Self and the Future", *The Philosophical Review*, Vol. 79, No. 2, pp. 161–180.

Williamson, Timothy, (2007), *The Philosophy of Philosophy*, Oxford: Blackwell.

Wittgenstein, Ludwig, (1988 [1953]), *Investigaciones filosóficas*, Barcelona-México: Crítica-UNAM, § 67, pp. 87 y 89.

Young, Thomas, (1807), *A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts*, Vol 2, London: J. Johnson.