



Sophia, Colección de Filosofía de la Educación

ISSN: 1390-3861

ISSN: 1390-8626

revista-sophia@ups.edu.ec

Universidad Politécnica Salesiana

Ecuador

Rivera Guerrero, Linda Marcela; Castellanos Muñoz,
Arjuna Gabriel; Gómez Rodas, Carlos Andrés

Rigor y objetividad como fundamentos de la racionalidad de la física en Evandro Agazzi

Sophia, Colección de Filosofía de la Educación, núm. 37, 2024, Julio-Diciembre, pp. 47-77

Universidad Politécnica Salesiana

Cuenca, Ecuador

DOI: <https://doi.org/10.17163/soph.n37.2024.01>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=441880388001>

- ▶ [Cómo citar el artículo](#)
- ▶ [Número completo](#)
- ▶ [Más información del artículo](#)
- ▶ [Página de la revista en redalyc.org](#)

redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de revistas científicas de Acceso Abierto diamante

Infraestructura abierta no comercial propiedad de la academia

RIGOR Y OBJETIVIDAD COMO FUNDAMENTOS DE LA RACIONALIDAD DE LA FÍSICA EN EVANDRO AGAZZI

Rigor and objectivity as foundations of the rationality of physics in Evandro Agazzi

LINDA MARCELA RIVERA GUERRERO*

Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín, Colombia
lindarivera1262@correo.itm.edu.co
<https://orcid.org/0000-0001-7641-6764>

ARJUNA GABRIEL CASTELLANOS MUÑOZ**

Secretaría de Educación de Bello, Colombia
gabocastellanos@ielamilagrosabello.edu.co
<https://orcid.org/0000-0003-1702-575X>

CARLOS ANDRÉS GÓMEZ RODAS***

Universidad del Sinú Elías Bechara Zainúm, Cartagena de Indias, Colombia
carlos.gomezr@unisinu.edu.co
<https://orcid.org/0000-0001-5370-1431>

Forma sugerida de citar: Rivera Guerrero, Linda Marcela, Castellanos Muñoz, Arjuna Gabriel & Gómez Rodas, Carlos Andrés (2024). Rigor y objetividad como fundamentos de la racionalidad de la física en Evandro Agazzi. *Sophia, Colección de Filosofía de la Educación*, (37), pp. 45-77.

* Doctora en Filosofía, magister en Filosofía, especialista en Didáctica de la Ciencia con énfasis en Matemáticas y Física y licenciada en Matemáticas y Física. Es docente del Instituto Tecnológico Metropolitano y de la Institución Universitaria Pascual Bravo de Medellín, Colombia.

** Doctor en Filosofía, magister en Educación, especialista en Didáctica de las Ciencias mención en Física y Matemáticas, especialista en Pedagogía de la Virtualidad y licenciado en Matemáticas y Física. Es docente de la Institución Educativa La Milagrosa-Secretaría de Educación de Bello, de Antioquia, Colombia.

*** Doctor en Filosofía y licenciado en Filosofía y Letras. Es docente investigador del Área de Humanidades de la Universidad del Sinú Elías Bechara Zainúm de Cartagena de Indias, Colombia.

Resumen

En la epistemología actual, hay dos actitudes opuestas en relación con las ciencias empíricas. Por una parte, aparecen como herramienta esencial para el avance del conocimiento. Por otro lado, existe duda sobre las bases metafísicas y epistemológicas de esa confianza en el saber científico, lo cual ha llevado a la ciencia por caminos de escepticismo y pragmatismo. Este trabajo se propone aportar filosóficamente a la racionalidad y al estatuto ontológico de la física, teniendo como punto de partida algunas obras del filósofo de la ciencia Evandro Agazzi. El artículo que aquí se presenta introduce al pensamiento de Agazzi y a asuntos nucleares de su epistemología. Posteriormente, define los conceptos de “rigor” y “objetividad” según los entiende Agazzi, finalmente, establece criterios de rigor y objetividad para la física, mostrando de qué manera se verifican en dos experimentos clásicos. Con base en estas ideas, se demuestra que la física, como ciencia que es, cuenta con criterios de rigor y objetividad que le permiten un alcance efectivo de lo real, respondiendo así al desafío formalista y pragmatista. Así pues, el artículo no se agota en una descripción del pensamiento de Agazzi, sino que aplica sus ideas al ámbito concreto de la física, explicitando ideas que no han sido lo suficientemente explicitadas por el filósofo italiano.

Palabras clave

Filosofía de la ciencia, ciencia de la ciencia, ciencias básicas, epistemología, metafísica, física.

Abstract

In current epistemology, there are two opposing attitudes towards the empirical sciences. On the one hand, they appear as an essential tool for the advancement of knowledge. On the other hand, there is doubt about the metaphysical and epistemological bases of this confidence in scientific knowledge, which has led science down paths of skepticism and pragmatism. This paper aims to contribute philosophically to the rationality and ontological status of physics, taking as a starting point some works of the philosopher of science Evandro Agazzi. The article presented here introduces Agazzi's thought and the core issues of his epistemology. It then defines the concepts of rigor and objectivity as understood by Agazzi, and finally establishes criteria of rigor and objectivity for physics, showing how they are verified in two classical experiments. Based on these ideas, it is shown that physics, as the science it is, has criteria of rigor and objectivity that allow it to effectively reach the real, thus responding to the formalist and pragmatist challenge. Thus, the article does not exhaust itself in a description of Agazzi's thought, but will apply his ideas to the concrete field of physics, making explicit ideas that have not been sufficiently made explicit by the Italian philosopher.

Keywords

Philosophy of Science, Science of Science, Basic Sciences, Epistemology, Metaphysics, Physics.

Introducción¹

En la vasta y diversa panorámica de la filosofía de la ciencia contemporánea, Evandro Agazzi se destaca como uno de los pensadores más influyentes y académicamente cualificados. Sus contribuciones han abordado una amplia gama de temas, desde la lógica y la epistemología hasta la ética de la ciencia. En particular, su énfasis en el rigor y la objetividad como pilares fundamentales de la racionalidad científica ha generado un marco teórico sólido para entender la práctica científica, especialmente, en el ámbito de la física. Este artículo se centra en analizar y desarrollar las

ideas de Agazzi sobre estos conceptos clave y su aplicación específica a la física, destacando su relevancia y aportaciones a la filosofía de la ciencia.

El objetivo es examinar la noción de rigor y objetividad en la obra de Evandro Agazzi, con especial atención a su aplicación en la física. Se demuestra cómo estos conceptos no solo constituyen la base de la racionalidad científica según Agazzi, sino también cómo proporcionan un criterio normativo para evaluar la práctica científica. A través de un análisis crítico, se pretende establecer la coherencia y validez de sus argumentos, así como su impacto en el desarrollo de una filosofía de la ciencia robusta y aplicable a los desafíos contemporáneos de la física.

El problema central es la comprensión y articulación del rigor y la objetividad en la ciencia tal como lo plantea Evandro Agazzi, y su pertinencia en el contexto de la física moderna. En un entorno donde la ciencia se enfrenta a retos epistemológicos y metodológicos crecientes, ¿cómo pueden las ideas de Agazzi ofrecer un marco adecuado para garantizar la racionalidad y la credibilidad de la física? Este interrogante se aborda explorando tanto los fundamentos teóricos como las implicaciones prácticas de su pensamiento.

La idea principal a defender es que el rigor y la objetividad, según la conceptualización de Agazzi, son no solo esenciales sino también suficientes para sostener la racionalidad de la física. A través de un análisis detallado de sus escritos y una comparación con otras perspectivas filosóficas, se argumentará que estas nociones proporcionan una base sólida para la comprensión y evaluación de la práctica científica en la física, ofreciendo la claridad y estructura a un campo que, por su naturaleza, puede ser profundamente abstracto y complejo.

La importancia de este tema radica en su capacidad para ofrecer una comprensión profunda y matizada de los principios que subyacen a la práctica científica. En un momento histórico donde la confianza en la ciencia y su metodología enfrenta desafíos significativos, una revisión crítica y detallada de conceptos como el rigor y la objetividad es crucial. Las ideas de Agazzi no solo enriquecen el debate filosófico, sino que también tienen implicaciones prácticas para la educación científica, la comunicación de la ciencia y la formulación de políticas científicas.

La actualidad del tema es evidente en múltiples frentes. La física, como una de las ciencias más fundamentales, sigue siendo un campo dinámico donde la precisión y la fiabilidad son esenciales. Además, en un contexto global donde la ciencia y la tecnología juegan roles preponderantes en la vida cotidiana y en la toma de decisiones políticas, entender los fundamentos filosóficos que aseguran la integridad de la investiga-

ción científica es más pertinente que nunca. Las contribuciones de Agazzi ofrecen perspectivas que pueden informar y guiar debates actuales sobre la ciencia en la sociedad.

La metodología de este trabajo se basa en un análisis crítico y hermenéutico de los textos de Evandro Agazzi, complementado con una revisión comparativa de la literatura relevante en filosofía de la ciencia. Se utilizarán enfoques exegéticos para interpretar los conceptos clave de Agazzi y se contrastarán sus ideas con otras teorías contemporáneas en la filosofía de la ciencia. Además, se aplicará un marco analítico para evaluar la coherencia interna y la aplicabilidad de sus nociones de rigor y objetividad.

El documento se estructura en los siguientes apartados: un primer apartado acerca de la física como saber riguroso y objetivo según Agazzi; un segundo apartado acerca de los criterios de rigor como expresión de la racionalidad de la física; un tercer momento sobre los criterios de objetividad como expresión de la racionalidad de la física. Finalmente, se presentan algunas consideraciones acerca del rigor y la objetividad con base en dos experimentos, y las conclusiones.

48



La física como saber riguroso y objetivo según Evandro Agazzi

Continuamente, a lo largo de su carrera académica, el filósofo de la ciencia y físico italiano Evandro Agazzi ha sostenido y desarrollado que existen dos requisitos esenciales al momento de comprender la racionalidad científica a fondo. Estos requisitos son el *rigor* y la *objetividad*. En lo sucesivo, se explicarán ambos conceptos, con el fin de que, en lo sucesivo, se los presente como expresión de la racionalidad de la física.

Con el fin de dilucidar el concepto de rigor, Agazzi distingue ciencias empíricas y ciencias formales. En las primeras, la justificación se puede dar apelando a la deducción formal que justificaría los enunciados a partir de otras proposiciones extraídas directamente de la experiencia; también puede darse combinando lo deductivo y lo empírico a través de una hipótesis [...]. En las ciencias formales, por el contrario, el rol esencial lo tiene el método axiomático de acuerdo con el cual partiendo de unos enunciados iniciales o axiomas es posible alcanzar sus efectos lógicos a través de una demostración de carácter formal (Castellanos, 2021, p. 70).

No obstante, de acuerdo con Agazzi, el método deductivo y el método hipotético evidencian, al mismo tiempo, lo maravilloso y lo vulnerable de las ciencias experimentales. Lo vulnerable se pone de manifiesto al

examinar sus condiciones de validez con criterios lógicos, ya que la lógica elemental indica que el hecho de que se puedan deducir consecuencias lógicas verdaderas de un enunciado no es razón suficiente para declarar la verdad de ese enunciado.

Los estudios de Agazzi acerca del rigor y la objetividad científicos facilitan la fundamentación de la fiabilidad de las ciencias experimentales, esto es, la capacidad real que tienen de alcanzar sus dos objetivos principales: otorgar las herramientas necesarias para sustentar el carácter riguroso de las explicaciones científicas y controlar la naturaleza como efecto del conocimiento que el hombre adquiere sobre ella.

Según el filósofo italiano, el rigor científico “se corresponde con el requisito de ‘dar razones’ de algo que se declara en la ciencia (es decir, consiste en explicar con lujo de detalles *cómo y por qué* se llegó a una declaración particular)” (Agazzi, 2019, p. 21). Esta definición es complementada por Agazzi con un contexto histórico sobre la noción tradicional del concepto de *ciencia* que recorre un periodo que va desde la Escuela de Atenas hasta el Renacimiento. En esta concepción de la ciencia, *verdad y rigor* fueron los rasgos esenciales. La idea según la cual la ciencia ofrece conocimientos del mayor nivel:

Fue surgiendo paulatinamente en la filosofía griega al requerir que dicho conocimiento explicara las razones de lo que ocurre y no solamente lo que ocurre. Este proporcionar una razón (*logon didonai*) conllevó la noción clásica de ciencia como un discurso de carácter demostrativo, es decir, que otorga evidencias lógicas convincentes de aquello que declara (Castellanos, 2021, p. 72).

Independientemente de cuáles sean las evidencias lógicas convincentes en cada caso particular, en el hecho de ofrecerlas radica un rasgo fundamental del rigor científico que requiere y presupone la noción de *verdad científica*. Precisamente por esto, no podría considerarse como ciencia a un saber exclusivamente empírico, incluso, si fuera verdadero. A lo sumo, sería considerado *historia* en una acepción extensa del término.

Así, es sencillo entender que, en la historia de Occidente, el *rigor* como requisito indispensable ha sido una de las características esenciales del concepto de *ciencia*. Este requisito es el resultado de la pretensión de comprobar la verdad de ciertas proposiciones mediante el uso de la lógica y partiendo de verdades más elementales que ofrecerían razones suficientes del contenido de dichas proposiciones, o sea, que confirmarían dicha verdad haciéndola digna de crédito (Agazzi, 2019).



Con el ánimo de resumir lo dicho hasta aquí, hay que aclarar que la noción de rigor es analógica, no unívoca ni equívoca. Lo mismo puede decirse a propósito del concepto de objetividad y del concepto de ciencia. *Grosso modo*, esto puede explicarse diciendo que, de acuerdo con lo que afirma Aristóteles, los conceptos que poseen un solo significado y se aplican de una sola manera a un tipo particular de objetos se conocen como unívocos. Por otro lado, los conceptos que se aplican de la misma manera a objetos diferentes se denominan equívocos (Agazzi, 2019). Por último, un concepto es análogo o analógico si se refiere a cosas diferentes, parcialmente del mismo modo y, parcialmente de modo diverso.

Con respecto al concepto de objetividad, vale la pena iniciar con unas palabras de Agazzi:



El significado de la palabra “objetividad” parece, primero que nada, caracterizado a través de una referencia (indirecta) al *sujeto*, no al objeto. Cuando uno dice, por ejemplo, que cierto juicio es objetivo, que una investigación se llevó a cabo de manera objetiva o que algo o alguien posee objetivamente una cualidad, por lo general se quiere decir que el juicio, la investigación o la cualidad no dependen del sujeto o sujetos que expresan el juicio (Agazzi, 2019, p. 69).

Dicho de otra manera, la subjetividad, a pesar de ser el primer paso de todo conocimiento, es considerada, simultáneamente, su peor defecto. Contra este defecto ha combatido la humanidad desde hace siglos, pues la meta es un tipo de conocimiento que tenga una validez superior al conjunto de sujetos que lo han adquirido e independiente de ellos.

Al parecer, el ser humano se ha preocupado por alcanzar un *corpus* de conocimientos independiente de los sujetos, porque en la mente de la civilización occidental se encuentra plasmada la idea de que solo existe una manera de verificar si los esfuerzos del entendimiento humano por conocer la realidad han logrado su fin, a saberse, comprobar que la representación de lo real que se tiene es “independiente del sujeto”, que otros sujetos están de acuerdo en relación a la verdad de esa representación.

Afirmaciones tan simples como que “En Ecuador vive gente” o “los gatos son animales” expresan hechos verdaderos, lo que significa simplemente que la veracidad de las afirmaciones no es más que una conexión entre las afirmaciones y su contenido. Hasta este punto no hay nada innovador, pues ya Aristóteles lo manifestó. Y justamente Gabriel manifiesta que nada es más fácil que la verdad [a la vez que recuerda] [...] en ocasiones es difícil descubrir cuál es la verdad. Y es aquí donde está el error del constructivismo que confunde la verdad con el reconocimiento por parte de las instituciones creadas por el ser humano. Sin la existencia de

la verdad no podríamos ni siquiera comunicarnos, pues para ello es necesario un conjunto de creencias comunes ya que paradójicamente cualquier desacuerdo en relación con una cuestión importante presupone que compartimos un sistema de opinión común (López, 2021, p. 143).

El fin natural del conocimiento humano no es otro que aprehender la realidad y podría afirmarse, en un lenguaje más técnico, que tal fin se alcanza cuando se llega al *conocimiento objetivo*, esto es, conocimiento que se corresponde con la porción de la realidad con la que se busca que se corresponda. No es este más que un eco de la clásica definición aristotélica del concepto de verdad, que González (2021) explica en los siguientes términos:

Esa verdad recta, esa definición mínima de verdad es la de Aristóteles, quien expresó: “Falso es, en efecto, decir que lo que es, no es, y que lo que no es, es; verdadero, que lo que es, es, y lo que no es, no es”. Ya esto es una información relevante en un doble sentido. Primero porque ofrece pistas sobre la antigüedad del problema. Segundo, porque se da una superficie sobre la que comenzar a pensar la posverdad. Ella es, de una manera abstracta, una desviación del sentido original de lo que queremos decir “que es” (p. 95).

Sin embargo, el ser humano siempre alberga un temor a no poder alcanzar dicho fin; sus inquietudes al respecto tienen origen en el hecho evidente de que, continuamente, personas muy diversas, situadas ante la misma porción de realidad, la describen de formas muy distintas. La conclusión es simple: si se presentan distintas imágenes de la misma realidad:

Entonces ninguna de ellas (o quizá solo una) puede ser objetiva, es decir, solo una puede “corresponder al objeto”, mientras que todas las demás (con alguna posible excepción) deben ser consideradas meramente “subjetivas”, como si expresaran una forma particular de concebir la realidad objetiva, la cual es típica de un sujeto individual (Agazzi, 2019, p. 70).

Todo lo dicho hasta este punto es tan sencillo que parece obvio, no obstante, aclara varios de los rasgos esenciales de la objetividad. Como ya se vio, la existencia de diversas imágenes subjetivas debería ser suficiente para que ninguna de ellas sea considerada dentro del conocimiento objetivo. Por consiguiente, que el conocimiento sea independiente del sujeto que conoce es una condición *sine qua non* de su objetividad, pero que no basta para garantizarla. Aquí radica un problema filosófico profundo y complejo: determinar qué condición adicional debe sumarse a esta necesaria independencia del sujeto.



No es tan simple establecer cuál es esa condición que aseguraría la objetividad completa del conocimiento. Es este un asunto de los más espinosos en la historia de la filosofía, ya que implica una honda reflexión sobre la naturaleza misma del conocimiento y la realidad. El punto crucial salta a la vista: el problema nuclear radica en tener una herramienta que otorgue la seguridad de que, en un caso concreto, el conocimiento es independiente del sujeto. Esto permite entender por qué la objetividad ha mantenido un tipo de caracterización indirecta, o sea, mediante el sujeto, quien, inicialmente, no tendría por qué estar relacionado con la noción de objeto.

Con esta caracterización indirecta en mente, se entienden mejor la *universalidad* y la *necesidad* como dos características indispensables de cualquier conocimiento auténtico a lo largo de la historia de la filosofía. Agazzi (2019) lo explica con las siguientes palabras:



Aunque estas concepciones de universalidad y necesidad eran, y siguen siendo, distintas, una confluencia práctica de ambas tuvo lugar en la historia de la filosofía, y se ayudaron mutuamente a alcanzar el estatus de marcas distintivas de la objetividad. Para expresar este hecho de manera sintética, se podría decir que tanto la estructura ontológica del objeto como las garantías de tener un conocimiento sólido de él han enfatizado las dos características de universalidad y necesidad hasta convertirlas en las marcas fundamentales más sobresalientes de la objetividad (p. 72).

Toda actividad de conocimiento humano está intrínsecamente caracterizada por el propósito de ser objetiva, entendiendo por objetiva la capacidad de capturar las características reales de los objetos. Al respecto, el filósofo italiano señala:

Como resultado de la discusión precedente, se debe decir que, *si* esta empresa es exitosa, *entonces* debe resultar en algo universal y necesario, lo cual es equivalente a decir que la universalidad y la necesidad, en conjunto, surgen como *condición necesaria* para que una forma de conocimiento sea objetiva (p. 72).

Este apartado tiene como objetivo comprender las bases ontológicas y epistemológicas que posibilitan el rigor y la objetividad en la física desde el realismo científico de Evandro Agazzi. Así pues, se enfoca en analizar los rasgos esenciales del estatuto ontológico de la física. Como afirma Islas (2021), “en el ámbito científico algunos defensores de ciertas posturas realistas de la ciencia han considerado que la verdad es la meta más importante de la actividad científica” (p. 65). El realismo científico, en términos generales, sostiene que las entidades y las teorías científicas

se refieren a objetos y procesos del mundo real independientemente de la mente humana (Agazzi, 2012a). De acuerdo con el enfoque realista de Agazzi, es posible entender los rasgos esenciales del estatuto ontológico de la física a partir de tres características que veremos ahora.

Índole estructural de lo real

Un elemento de gran relevancia en la aproximación de Agazzi es el énfasis en la índole estructural de todo lo real. El filósofo italiano sostiene que las teorías científicas captan modelos y vínculos de naturaleza estructural que se encuentran en el mundo físico (Agazzi, 1997). Por consiguiente, de acuerdo con el realismo científico de Agazzi, el estatuto ontológico de la física implica entender la realidad como estructurada y organizada por su propia naturaleza (Alonso, 1995). Esta concepción conlleva reconocer que la ciencia no solo otorga exposiciones superficiales de hechos y objetos, sino que, además, procura evidenciar las relaciones y leyes profundas que subyacen en la naturaleza, y, fundamentalmente, cómo son y están las cosas:

La tesis que se sostiene en este libro es que la ciencia es en primer lugar una auténtica forma de saber: incluso la única forma de saber objetivo, aun no siendo un saber absoluto, es decir, absoluto e incontrovertible. Como tal, la ciencia nos hace conocer auténticamente la realidad, si bien no agota nunca este conocimiento (Agazzi, 1978, p. 15).

En este carácter o índole estructural de la realidad, sobresalen algunos puntos por su relevancia y significado. El primero es la *sistematicidad*. Agazzi afirma que la realidad no es sencillamente un conjunto caótico de objetos y hechos, sino que, por el contrario, se caracteriza por tener modelos, vínculos y regularidades. Estos modelos o patrones subyacentes son los que le hacen posible a la ciencia establecer teorías y leyes que denotan y explican los fenómenos observados por la comunidad científica (Agazzi 2008).

El segundo punto es la *definición*. Por medio de las teorías científicas, la comunidad científica puede abstraer y definir, mediante conceptos, aspectos puntuales de la totalidad de lo real. Estas teorías hacen posible la identificación y el análisis de las estructuras y relaciones esenciales que conforman los fenómenos estudiados. La definición precisa de conceptos es fundamental para la construcción del conocimiento científico, ya que permite una comunicación clara y una comprensión compartida entre los investigadores, facilitando el avance y la acumulación de conocimientos.

El tercer punto tiene que ver con la *comprensión* y la *predictibilidad*. Una vez que ha entendido las estructuras y relaciones que subyacen a lo real, la ciencia está en capacidad de detallar y explicar los hechos presentes y, además, de predecir futuros hechos. En este sentido, las teorías científicas permiten hacer predicciones basadas en las regularidades que se pueden identificar. La capacidad predictiva de las teorías es una de las pruebas más robustas, ya que valida la solidez de los modelos y proporciona herramientas para anticipar y preparar respuestas a futuros eventos.

El cuarto punto es la *interdisciplinariedad*. La noción de “índole estructural de lo real” indica también que las disciplinas científicas se encuentran vinculadas, debido a que, en no pocas ocasiones, las mismas estructuras y relaciones se pueden aplicar a fenómenos en diferentes áreas del conocimiento (Agazzi, 2012a). Esta interconexión entre disciplinas favorece el desarrollo de enfoques integradores y multifacéticos para la resolución de problemas complejos, promoviendo un conocimiento más holístico y enriquecido por la perspectiva y métodos de distintas áreas del saber.

Además de estos cuatro puntos, es importante destacar que la índole estructural de la realidad sugiere un continuo proceso de descubrimiento y revisión. La ciencia, al abordar la realidad de manera sistemática y estructurada, debe estar abierta a modificar sus teorías y modelos a la luz de nuevos datos y mejores interpretaciones. Esta apertura es esencial para el progreso científico y para el mantenimiento de la relevancia y precisión de las explicaciones científicas en un mundo en constante cambio y evolución.

Existencia de las entidades físicas

El realismo científico de Agazzi afirma que las entidades físicas, por ejemplo, los agujeros negros, los campos electromagnéticos y las partículas subatómicas existen objetivamente en el mundo real y no son meros constructos de la percepción humana. No son convenciones surgidas de la mente humana o abstracciones de tipo matemático, sino que son componentes genuinos y concretos de la realidad (Agazzi, 1988).

Agazzi señala que las entidades físicas, incluso las inobservables, son reales y existen con independencia de la percepción humana. Esta concepción esencialmente realista inspira la idea según la cual la ciencia tiene como objetivo el descubrimiento y la comprensión del mundo tal como es en sí mismo, trascendiendo las percepciones y la experiencia subjetiva de los individuos.

Por otro lado, aun cuando existan entidades físicas que sean inobservables de modo directo, como, por ejemplo, las partículas subatómicas,

la ciencia puede inferir la existencia de dichas entidades y describir sus propiedades a partir de la evidencia empírica que le dan los experimentos y las observaciones. Como parte de este proceso, las teorías científicas ofrecen un marco conceptual y matemático para entender y poder explicar los fenómenos que se observan.

En la epistemología propuesta por Agazzi (1978), las entidades físicas están envueltas en vínculos de causalidad y cooperan al movimiento y desarrollo de los sistemas naturales, lo cual quiere decir que las entidades físicas no se reducen a ser meros conceptos abstractos, sino que tienen consecuencias y un rol esencial en los procesos naturales.

La consistencia y la correspondencia de las teorías científicas en la dilucidación de los hechos del mundo natural respalda la existencia de las entidades físicas. Las teorías ofrecen a la comunidad científica patrones conceptuales que pormenorizan los rasgos de estas entidades y permiten la predicción de su comportamiento en diferentes situaciones.

El pensamiento no produce la realidad, como llegaron a afirmar los filósofos idealistas clásicos, pero, a la vez, debe admitirse que siempre que se cree posible afirmar que un determinado discurso es verdadero, la propia noción de verdad obliga a admitir que, por las mismas razones, también debe admitirse que existen los referentes de este discurso. De lo contrario, nada sería cierto. En este momento, se abre una perspectiva fecunda: si se acepta que existen tipos muy diferentes de discursos que normalmente se consideran verdaderos, también debe admitirse que hay diferentes tipos de referentes sobre los que estos discursos son verdaderos (Agazzi, 2022).

En síntesis, en el realismo científico de Agazzi, la existencia de las entidades físicas se sustenta en un realismo metafísico de base que afirma la realidad y objetividad de dichas entidades como *cosas* genuinas en el mundo, con independencia de la percepción y el conocimiento humanos. Esta perspectiva resalta la importancia de entender la ciencia como un saber que aspira al desvelamiento de la verdad sobre la naturaleza y sobre la realidad subyacente.

Independencia de las teorías

De acuerdo con el realismo científico de Agazzi, las teorías, pese a ser construcciones del entendimiento humano, pueden denotar y significar elementos objetivos y reales, es decir, pertenecientes a la totalidad de lo real, que son trascendentes a la percepción humana y a las construcciones mentales de las que es capaz el entendimiento humano. Dicho de otra manera, las teorías se corresponden con aspectos y relaciones del mundo real y no son meramente invenciones subjetivas.



Algunos puntos clave relacionados con la independencia de las teorías científicas en el realismo científico de Agazzi son los siguientes: en primer lugar, la *correspondencia* con la realidad. El filósofo de Bérghamo ha mantenido siempre que los científicos describen y explican los fenómenos naturales mediante las teorías, que son sus instrumentos. Estas teorías no se limitan a ser invenciones arbitrarias, sino que están destinadas a manifestar elementos reales que existen independientemente de la percepción humana.

En segundo lugar, el *progreso científico*. La independencia de las teorías conlleva que, en la medida que la ciencia progresa y se desarrolla, las teorías se adaptan y perfeccionan para alcanzar una representación más exacta de lo real. El progreso científico tiene como rasgo esencial una aproximación cada vez más precisa a los atributos primordiales del mundo natural (Marcos, 2015).

El tercer punto es la referencia a *entidades y procesos reales*. Agazzi defiende que las teorías científicas se refieren a entidades y procesos con consistencia metafísica y existencia en el mundo real, incluso, si no se los puede observar directamente. Las teorías proporcionan una manera de entender y explicar cómo se relacionan estas entidades y procesos en diferentes circunstancias y escenarios (Minazzi, 2015).

El cuarto punto es el *proceder empírico*. Pese a la independencia de las teorías, Agazzi reconoce la importancia de la evidencia empírica en la comprobación de las teorías científicas. Las observaciones y los experimentos otorgan el fundamento para examinar la correspondencia entre las teorías y los hechos naturales.

Para resumir, en la filosofía de la ciencia propuesta por Agazzi, la independencia de las teorías mencionada resalta que las teorías científicas, aunque son creaciones del entendimiento humano, tienen un estatus de objetividad y representan elementos auténticos de la realidad. Esta concepción pone el énfasis en que las teorías científicas tengan coherencia con los resultados empíricos y que progresen en la medida que la ciencia avanza en su comprensión de la naturaleza.

Criterios de rigor como expresión de la racionalidad de la física

A continuación, se enuncian y explican los criterios de rigor de la física:

- *Coherencia lógica*: hace referencia a la consistencia interna y la sólida estructura lógica que deben tener las teorías y las afirma-

ciones dentro de la ciencia física. Esto exige que los distintos componentes de una teoría conecten entre sí de manera coherente y carezcan de contradicciones lógicas. Para Agazzi (1978), la coherencia lógica es fundamental porque carece de validez científica y confiabilidad una teoría que carece de coherencia interna o que presenta contradicciones. Si una teoría carece de coherencia, es muy probable que sus predicciones y explicaciones no sean exactas ni se correspondan con la realidad observada.

- *Precisión matemática*: se refiere al requisito de que las teorías y las proposiciones científicas estén formuladas de forma clara y precisa, usando un lenguaje matemático riguroso. Dicho de otra manera, la precisión matemática implica que las caracterizaciones y patrones científicos deben ser formulados de modo preciso y numérico, mediante términos matemáticos determinados (Rossi, 1986). Agazzi sostiene que la precisión matemática es fundamental en la física porque otorga una base firme y estable para la transmisión, la comprobación y el examen de las teorías. La representación matemática exacta facilita que las proposiciones científicas se comuniquen de forma diáfana e inteligible, lo que permite y favorece la cooperación e interacción de conocimientos entre científicos. Además, la precisión matemática es esencial a la hora de elaborar cálculos y pronósticos (Agazzi, 2011).
- *Dimensión empírica*: tiene que ver con la relevancia trascendental de que las teorías científicas estén sustentadas en la constatación empírica, o sea, en la observación y en la experiencia. Agazzi hace hincapié en que las teorías científicas deben ser comprobables o falsables mediante información recogida en el contacto directo con los hechos y fenómenos del mundo natural. En el contexto específico de la física como ciencia, la dimensión empírica implica que las proposiciones teóricas deben estar respaldadas por exploraciones y medidas que sean repetibles y evaluables por investigadores distintos al que, por primera vez, explora y mide. No cumplen con el criterio de rigor aquellas teorías que no pueden someterse a pruebas empíricas, dado que les hace falta un cimiento consistente en la realidad observada. La dimensión empírica también se refiere a que las teorías estén en consonancia con los datos experimentales (Agazzi, 2019).
- *Relación con las teorías previas*: hay rigor cuando las nuevas teorías y proposiciones científicas se encuentran en consonancia y

congruencia con teorías propuestas con anterioridad y sustentadas en pruebas empíricas. Es decir, es exigible que las nuevas teorías estén en sintonía y sean compatibles con el *corpus* existente de conocimiento científico y no lo contradigan. Agazzi (2014) insiste en que el progreso científico es gradual y acumulativo. Así pues, las teorías novedosas se construyen sobre las previas y amplían o perfeccionan el conocimiento humano de la realidad.

- *Examen crítico y control*: a la ciencia, como saber riguroso, le es inherente el proceso permanente de examen y cuestionamiento de las teorías científicas de modo estricto y sistemático. Este criterio resalta la imperiosa necesidad de que las teorías sean escrutadas de manera muy minuciosa y probadas continuamente con el fin de alcanzar un entendimiento cada vez mejor y más perfecto de lo real. El examen crítico y el control implican aspectos como la revisión constante, el contraste con la evidencia empírica, el análisis de inconsistencias, el debate y la discusión científica y la validación independiente o intersubjetiva (Agazzi, 1996).
- *Independencia cultural y subjetividad*: para Agazzi, el rigor en física exige independencia con respecto a factores de orden cultural y subjetivo. Las teorías y proposiciones científicas deben ser universalmente aplicables y no pueden depender de hermenéuticas de orden cultural o personal, siendo libres de influencias sociales, prejuicios y sesgos de carácter personal. Agazzi (2007) hace hincapié en que la ciencia genuina se caracteriza por ser un esfuerzo imparcial y universal para entender la realidad natural, con independencia de la cultura, los puntos de vista subjetivos o las cosmovisiones que, personalmente, tengan los científicos. Esto implica disminuir las influencias culturales y subjetivas en la formulación, evaluación y aplicación de las teorías científicas.

58



Criterios de objetividad en la física

- *Acuerdo científico*: Agazzi considera vital que la comunidad científica participe en la evaluación y revisión de las teorías físicas (Bolaños y Carvajal, 2019). La revisión por pares y el acuerdo científico resultan esenciales para asegurar la objetividad y la calidad del conocimiento científico. En relación al tema, un estudioso de su pensamiento afirma lo siguiente:

La *objetividad débil*, esto es, entendida como acuerdo *intersubjetivo*, se fundamenta en la pluralidad de las observaciones de los *sujetos*. Esto es importante para el pensamiento agazziano, dado que no es suficiente con la constatación de un sujeto con respecto al objeto para que esta pueda ser considerada objetiva, además, es indispensable que esta constancia exista para más de un sujeto o para el mismo sujeto en situaciones distintas, pues, con ella, el objeto es confirmado por un grupo de determinaciones concertadas por la totalidad de sujetos que intervienen en él, alcanzándose así la validez para una pluralidad de sujetos (Castellanos, 2021, p. 77).

- *Carácter experimental*: implica que las teorías deben poderse probar con datos obtenidos de la experiencia y a partir de las observaciones. Hay que revisar o descartar una determinada teoría si esta resulta ser incompatible con los resultados de experimentos meticulosamente diseñados y repetibles. Agazzi sostiene, por otro lado, que el carácter experimental está vinculado a la posibilidad de reproducir los experimentos y la objetividad en la recolección y análisis de información. Es un requisito esencial de objetividad que los resultados puedan ser verificados por otros investigadores en diversos lugares, circunstancias y tiempos, lo que contribuye de manera decisiva a la validez y confiabilidad de la evidencia empírica (Agazzi, 1977).
- *Ausencia de influencias externas a la metodología científica*: Agazzi enfatiza la necesidad de que, en la indagación científica, no existan factores culturales, políticos, ideológicos o personales, por ser ajenos a una metodología propiamente científica. Los científicos deben esforzarse por estar lejos de preconceptos y orientaciones que puedan influir en una distorsión de los resultados de sus investigaciones, afectando con ello la objetividad que hace de un saber propiamente ciencia. Este criterio implica aspectos como la universalidad, la reducción de sesgos, la evaluación crítica imparcial y la diversidad de perspectivas. Si bien Agazzi reconoce que, en la ciencia, interactúan diversos factores como las intenciones, las propuestas y los intereses, es necesario “asegurar que el efecto de una interacción tan compleja, aunque lleve a cierta ‘conformación’ del conocimiento científico, no destruya sus ‘características definitorias’, ya que esto equivaldría a eliminar a la ciencia como tal” (Agazzi, 2019, p. 450).
- *Replicabilidad de métodos y procedimientos*: la objetividad se promueve a través de la descripción precisa y minuciosa de los métodos y procesos usados en la investigación científica. Esto

permite que a otros científicos les sea posible replicar los experimentos y obtener resultados semejantes, lo que fortalece la validez de los hallazgos. El hecho de que otros científicos u otras comunidades científicas no pueden replicar los resultados obtenidos, podría estar indicando problemas metodológicos o de interpretación de la información. La imposibilidad de replicar conlleva la necesidad de revisar críticamente los procedimientos y contribuye a la identificación de posibles errores o fuentes de variabilidad (Agazzi *et al.*, 1989).

- *Valoración*: la objetividad se alcanza mediante un procedimiento permanente de valoración por parte de la comunidad científica. Los científicos deben someter sus teorías y resultados a la revisión de expertos y estar dispuestos a modificar sus conclusiones en función de la retroalimentación y los nuevos datos. Esta valoración implica la revisión constante, pues el conocimiento científico nunca es definitivo y no es inmutable; el contraste con la evidencia empírica, porque, de no haber correspondencia, hay que buscar explicaciones o ajustes que puedan mejorar la concordancia; el análisis de inconsistencias, ya que la valoración implica identificar y tratar cualquier inconsistencia o contradicción que pueda originarse en la elaboración de una teoría; y el debate y la discusión científica, para cuestionar las teorías y los enfoques en un esfuerzo conjunto por mejorar la comprensión colectiva (Agazzi, 2015).
- *Neutralidad interpretativa*: Los científicos deben esforzarse por presentar los datos de manera neutral y objetiva. La presentación precisa de la información permite a otros científicos evaluarla de manera imparcial. En su obra *La ciencia y el alma de Occidente*, el filósofo italiano se pronuncia al respecto: Se reconoce que la ciencia tiene efectivamente la estructura y los medios para suministrar conocimientos objetivos y rigurosos que son independientes de motivaciones y condicionamientos sociales, así pues, es y debe ser “neutral” en este sentido. De otro lado, ella no puede y tampoco debe serlo, si se la considera en cuanto *actividad humana*, que depende legítimamente de demandas de tipo social y que asimismo debe responder a exigencias provenientes de la sociedad. El verdadero problema, así pues, es el de hacer compatibles estos dos aspectos (Agazzi, 2011, p. 299).



Algunas consideraciones acerca del rigor y la objetividad en la física

Después de referirse a la racionalidad científica de la física bajo los criterios de rigor y objetividad descritos por Agazzi, es posible poner a prueba algunos fenómenos y experimentos canónicos que han sido claves para el desarrollo de esta ciencia. Experimentos como el de caída libre realizado por Galileo, dieron pie al surgimiento del método científico y derrocaron la tradición aristotélica imperante hasta el momento, estableciendo los cimientos de la física mecánica o la mecánica clásica que, posteriormente, perfeccionaría Newton. Igualmente, experimentos como el de la doble rendija, realizado por el científico inglés Thomas Young, a principios del siglo XIX, demostraron la naturaleza ondulatoria de la luz y cómo se comporta al pasar por dos rendijas estrechas. El experimento también ha sido repetido con partículas subatómicas como electrones para ilustrar los fenómenos de interferencia y difracción, que son fundamentales en la teoría cuántica.



Experimento de caída libre

El experimento de caída de los cuerpos formulado por Galileo Galilei es uno de los eventos históricos fundamentales que contribuyó al desarrollo del método científico y sentó las bases para la física clásica. Aquí están algunas de las características clave del experimento y su importancia:

- *Observación y curiosidad:* Galileo comenzó su investigación observando cómo los objetos caían al suelo desde diferentes alturas. Esta curiosidad y atención a los detalles iniciales son esenciales para el método científico, ya que parten de la observación de fenómenos naturales (Bilbeny, 2015).
- *Manipulación de variables:* Galileo cambió una variable en su experimento: la altura desde la cual caían los objetos. Al variar esta altura, pudo observar cómo cambiaba el tiempo que los objetos tardaban en caer al suelo. Esta manipulación controlada de variables es un principio fundamental del método científico (Ruvalcaba *et al.*, 2021).
- *Hipótesis y predicciones:* Galileo formuló una hipótesis: los objetos, mientras no haya resistencia del aire, se precipitan con igual velocidad. Además, predijo que el tiempo de caída aumentaría con el cuadrado de la altura. Esta formulación de una hipótesis



y la derivación de predicciones medibles son esenciales para el método científico (Perilla, 2005).

- *Experimentación y medición*: Galileo dejó caer objetos desde diferentes alturas y midió el tiempo que tardaban en caer al suelo. Estas mediciones precisas son un componente crucial del método científico, ya que permiten comparar los resultados con las predicciones teóricas (Quiroz, 2015).
- *Comparación con la realidad*: los resultados de los experimentos de Galileo contradecían las ideas aceptadas en ese momento, según las cuales la velocidad de la caída dependía del peso de los objetos. Sin embargo, las mediciones de Galileo demostraron que todos los objetos caían a la misma velocidad, siempre y cuando se descartara la resistencia del aire. Esta confrontación entre resultados experimentales y teorías previas es una parte fundamental del proceso científico (Agazzi, 1994).
- *Análisis y conclusiones*: basándose en sus observaciones y mediciones, Galileo llegó a la conclusión de que los objetos caen al suelo con una aceleración constante. Esta conclusión sentó las bases para la comprensión moderna de la gravedad (Guevara, 2020).
- *Iteración y refinamiento*: a medida que Galileo realizaba más experimentos y refinaba su metodología, pudo confirmar aún más sus conclusiones. Esto muestra cómo el método científico es un proceso iterativo en el que los científicos continúan refinando sus ideas a medida que obtienen más datos y evidencia (Romo, 2005).

El experimento de caída de los cuerpos de Galileo fue un hito importante en el desarrollo del método científico y la física clásica. Sus características, como la observación, la formulación de hipótesis, la experimentación controlada y la comparación con la realidad, sentaron las bases para el enfoque sistemático y basado en evidencia que caracteriza a la ciencia moderna.

RIGOR Y OBJETIVIDAD EN EL EXPERIMENTO DE CAÍDA LIBRE

Los principios de rigor y objetividad en este contexto se refieren a la aplicación de métodos científicos precisos y observaciones imparciales para llegar a conclusiones confiables. En el experimento de caída libre, los objetos se dejaban caer bajo condiciones controladas y se registraban las observaciones con detalle.

Rigor, en este contexto, se refiere a la precisión y exactitud en la realización del experimento y en la medición de los datos. Para cumplir con el rigor, el experimento debe llevarse a cabo de manera consistente y controlada (Agazzi, 1996). Los factores como el entorno de la caída (presión atmosférica, temperatura, etc.), la altura desde la que el objeto se precipita y el método de medición del tiempo deben ser cuidadosamente controlados para obtener resultados confiables y reproducibles. Analicemos lo que dice Agazzi en cada una de sus partes:

- *Coherencia lógica*: reside en la forma en que Galileo recopiló datos, los analizó, derivó relaciones matemáticas y finalmente formuló leyes generales que explicaban el comportamiento observado. Por ejemplo, al estudiar la caída de los cuerpos, Galileo observó que todos los objetos, independientemente de su masa, caen al mismo ritmo en ausencia de resistencia del aire. Analizó estos datos y formuló la ley de la caída libre, que establece que la distancia recorrida por un objeto en caída es proporcional al cuadrado del tiempo transcurrido. Este enfoque basado en la evidencia y la lógica sentó las bases para el método científico e impactó notoriamente la evolución de la física y la comprensión del movimiento de los objetos (Agazzi, 1994).
- *Precisión matemática*: se manifiesta en que la relación propuesta por Galileo se correlaciona perfectamente con los datos experimentales, lo que demuestra que su modelo matemático es una representación precisa del comportamiento de los objetos en caída libre. Esta evidencia de precisión matemática respalda la validez de la relación, y, por extensión, la ley de la caída de los cuerpos que formuló (Agazzi, 2019). Al usar planos inclinados para desacelerar la caída de los objetos y medir el tiempo con más precisión, Galileo pudo demostrar que la aceleración de un objeto en caída libre es constante. Estas observaciones y cálculos precisos demostraron la validez de sus modelos matemáticos y respaldaron la ley de la caída de los cuerpos, que es fundamental en la mecánica clásica.
- *Dimensión empírica*: Galileo destacó por su enfoque empírico al recolectar datos directos a través de observaciones y experimentos repetibles. Utilizó métodos innovadores para medir el tiempo y la distancia, como los planos inclinados, que le permitieron realizar experimentos controlados y repetidos. La comparación de estos datos con sus predicciones teóricas le permi-



tió respaldar y verificar sus conclusiones sobre el movimiento de los objetos en caída libre, sentando así las bases para un enfoque científico basado en evidencia empírica (Agazzi, 2012b).

- *Relación con las teorías previas:* se evidencia en cómo las observaciones y los experimentos de Galileo contradecían directamente las creencias aristotélicas sobre el movimiento y la caída de los cuerpos. Aristóteles sostenía que los objetos caían a velocidades proporcionales a su masa, una idea que Galileo refutó con su enfoque empírico. Al demostrar que todos los cuerpos caen a la misma velocidad en ausencia de resistencia del aire, Galileo no solo contradecía las teorías anteriores, sino que también marcaba el inicio de una nueva era en la ciencia, basada en la observación y la experimentación en lugar de la autoridad y la especulación. Su enfoque empírico y sus resultados llevaron a una revisión fundamental de las ideas previas y marcaron el inicio de una nueva era en la comprensión científica (Agazzi, 1978).
- *Examen crítico y control:* le permitió eliminar factores confusos, refinar su comprensión y llegar a conclusiones más precisas y basadas en evidencia. Por ejemplo, al controlar cuidadosamente las condiciones experimentales y eliminar la resistencia del aire, Galileo pudo demostrar de manera concluyente la constancia de la aceleración en la caída libre. Este rigor en el control de variables y la medición precisa sentaron las bases para el método científico moderno, enfatizando la importancia del análisis crítico y la repetibilidad en la investigación científica (Agazzi, 1994).
- *Independencia cultural y subjetividad:* al centrarse en la observación objetiva, la recopilación de datos y la evidencia empírica, su enfoque riguroso allanó el camino para el desarrollo del método científico moderno, que valora la objetividad y la universalidad de los resultados por encima de las creencias culturales o subjetivas (Agazzi, 2000). Este enfoque riguroso permitió que sus descubrimientos fueran aceptados y verificados por otros científicos, independientemente de sus contextos culturales o personales, allanando el camino para el desarrollo del método científico moderno que es universal y basado en hechos observables y reproducibles.

La objetividad se refiere a la imparcialidad y neutralidad en la experimentación y en la interpretación de los hechos. En el experimento de la caída libre, la objetividad implica que los datos se recopilen y ana-



licen de manera imparcial, sin sesgos ni interpretaciones subjetivas. Por ejemplo, el tiempo de caída se mediría utilizando métodos y dispositivos precisos y calibrados, y cualquier error sistemático sería considerado y corregido; lo desglosaremos de la siguiente forma:

- *Acuerdo de la comunidad científica*: a pesar de la resistencia inicial a lo largo del tiempo, a medida que sus ideas fueron respaldadas por evidencia sólida, argumentos lógicos y el reconocimiento gradual de la validez de sus conclusiones, su trabajo, eventualmente, ganó aceptación y se convirtió en un pilar en el desarrollo de la física moderna. A medida que otros científicos replicaron sus experimentos y confirmaron sus hallazgos, las conclusiones de Galileo sobre la caída libre se consolidaron como verdades fundamentales en la física. Este proceso gradual de reconocimiento y aceptación en la comunidad científica es un testimonio de la objetividad de su trabajo, ya que se basa en la evidencia y el razonamiento lógico más que en la autoridad o la tradición (Agazzi *et al.*, 1989).
- *Carácter experimental*: se refleja en su metodología rigurosa y sistemática, que se basó en la observación directa, la variación controlada de parámetros, la recopilación de datos precisos y el análisis cuantitativo. Este enfoque experimental sentó las bases para el desarrollo del método científico moderno, tuvo un impacto significativo en la comprensión de la física y permitió la recolección de datos precisos y su análisis cuantitativo. Por ejemplo, al medir la distancia recorrida y el tiempo de caída de diferentes objetos, Galileo pudo formular leyes matemáticas que describen el movimiento uniformemente acelerado. Este enfoque experimental sentó las bases del método científico moderno y transformó la comprensión de la física (Drake, 1970).
- *Ausencia de influencias externas a la metodología científica*: en conjunto, la ausencia de influencias externas a la metodología científica en el experimento de caída libre de Galileo se refleja en su enfoque objetivo, sistemático y basado en la evidencia empírica. Por ejemplo, controlaba variables como la resistencia del aire y utilizaba mecanismos precisos para medir el tiempo. Esta atención al detalle y la eliminación de factores externos garantizaron que sus conclusiones reflejaran verdaderamente los fenómenos físicos observados, sentando un precedente para la independencia y la objetividad en la investigación científica.



Su trabajo sentó las bases para la independencia y la objetividad en la investigación científica, lo que es esencial para obtener resultados confiables y sólidos en cualquier campo científico (Akhutin, 1982).

- *Replicabilidad de métodos y procedimientos*: se evidencia a través de su capacidad para describir sus métodos en detalle, registrar datos cuidadosamente y comunicar sus resultados a la comunidad científica. Al proporcionar información completa y precisa, permitió que otros científicos pudieran llevar a cabo experimentos similares y obtener resultados coherentes, lo que es fundamental para la validez y la confiabilidad de la investigación científica. Su uso de planos inclinados para desacelerar la caída de los objetos y medir el tiempo permitió a otros reproducir sus experimentos y confirmar sus resultados. Esta replicabilidad es fundamental para la validez y la confiabilidad de la investigación científica, asegurando que los descubrimientos no dependan de un solo investigador o contexto experimental (Agazzi, 2011).
- *Valoración*: se manifiesta en su enfoque en la observación, la evidencia empírica, la objetividad, la lógica y el debate científico. Su trabajo sentó las bases para el método científico moderno, que valora la búsqueda de la verdad basada en la evidencia y la objetividad por encima de las suposiciones y las creencias preexistentes (Agazzi, 1994).
- *Neutralidad interpretativa*: se manifiesta en cómo presentó los datos, las observaciones y las conclusiones de manera objetiva y libre de prejuicios. Su enfoque basado en la evidencia y la objetividad sentó las bases para un método científico imparcial y riguroso, donde los resultados se evalúan de manera neutral, sin influencias interpretativas subjetivas (Agazzi, 2019).

Por lo tanto, el experimento de la caída libre en la mecánica clásica ejemplifica los principios de rigor y objetividad defendidos por Evandro Agazzi. Estos principios son esenciales para garantizar que los resultados científicos sean confiables, precisos y válidos (Ruvalcaba *et al.*, 2021).

EXPERIMENTO DE LA DOBLE RENDIJA

El experimento de la doble rendija es uno de los más emblemáticos y sorprendentes en el campo de la física cuántica. Este experimento ilustra las propiedades únicas y, a menudo, desconcertantes, de las partículas



subatómicas, como electrones y fotones. En el experimento de la doble rendija, se dispara una partícula, como un electrón o un fotón, hacia una barrera que tiene dos rendijas abiertas. Detrás de la barrera, hay una pantalla sensible que registra la ubicación de las partículas cuando llegan. La pregunta fundamental que se busca responder es qué patrón de interferencia se forma en la pantalla detrás de las rendijas (Giacosa *et al.*, 2019).

En la física clásica, uno esperaría ver dos patrones separados detrás de las rendijas, cada uno correspondiente a una rendija, ya que las partículas deberían pasar a través de una rendija o la otra. Sin embargo, algo sorprendente ocurre cuando se realiza el experimento con partículas cuánticas, como electrones, fotones o incluso átomos. Se observa un patrón de interferencia en la pantalla. Este patrón es similar al observado siempre que la luz se transporta atravesando dos rendijas y se produce un patrón de luz y sombra en la pantalla trasera. Esto implica que las partículas están mostrando fenómenos ondulatorios, tales como la interferencia.

Lo inquietante es que, cuando se intenta observar qué rendija específica atraviesa cada partícula cuántica (por ejemplo, colocando detectores para medir el camino), el patrón de interferencia desaparece y se obtiene un patrón de dos bandas detrás de las rendijas, como en la física clásica. Esto se debe a la interferencia cuántica y al principio de la superposición, que dice que una partícula puede estar en múltiples estados al mismo tiempo hasta que se mida (Idarraga, 1994).

El experimento de la doble rendija destaca la dualidad onda-partícula de la naturaleza cuántica de las partículas y plantea preguntas profundas sobre cómo interactúan las partículas con su entorno y cómo se comportan en diferentes circunstancias. Además, este experimento es un ejemplo de cómo la física cuántica, a menudo, desafía la intuición humana y conlleva cuestionar la naturaleza misma de la realidad a nivel subatómico.

Con estos antecedentes, se puede argumentar que una interpretación de la mecánica cuántica debería ser coherente con los datos experimentales y estar respaldada por un marco teórico sólido. Además, podría enfatizarse la importancia de que la interpretación permita predecir resultados experimentales con precisión y sea capaz de mantener la consistencia con otras teorías científicas. Este experimento es fundamental en la comprensión de los conceptos clave de la mecánica cuántica, pero también plantea preguntas filosóficas y epistemológicas. Desde la perspectiva de Agazzi, un análisis riguroso y objetivo del experimento de la doble rendija podría involucrar lo siguiente.

En cuanto al rigor tenemos:



- *Coherencia lógica:* la interpretación debe ser lógicamente coherente y evitar contradicciones internas. Por ejemplo, al considerar las propiedades duales de las partículas, una interpretación coherente debe ser capaz de explicar cómo una partícula puede comportarse como una onda en ciertas circunstancias y como una partícula en otras, sin incurrir en paradojas. Esto requiere una formulación lógica precisa que integre ambos comportamientos dentro de un marco conceptual único, como la interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica, que postula que el estado cuántico es una superposición de todas las posibles posiciones y estados de una partícula hasta que se realiza una medición (Agazzi, 1996, 2019).
- *Precisión matemática:* radica en cómo la teoría cuántica describe con exactitud los comportamientos aparentemente contradictorios de las partículas a nivel subatómico y cómo las funciones de onda, los cálculos de probabilidad y los operadores matemáticos permiten predecir y explicar los resultados observados en los experimentos. La precisión matemática es crucial para describir los comportamientos aparentemente contradictorios de las partículas a nivel subatómico. La teoría cuántica emplea funciones de onda, cálculos de probabilidad y operadores matemáticos para predecir los resultados observados. Por ejemplo, la ecuación de Schrödinger permite calcular la probabilidad de encontrar una partícula en una posición determinada, mientras que la función de onda describe el estado cuántico del sistema. Estos cálculos matemáticos han sido corroborados experimentalmente con alta precisión, demostrando la eficacia de la teoría cuántica en predecir fenómenos como el patrón de interferencia observado en el experimento de la doble rendija (Agazzi, 2019).
- *Dimensión empírica:* se basa en las observaciones y resultados experimentales concretos que confirman la teoría cuántica y los conceptos asociados. La presencia de patrones de interferencia y la respuesta de las partículas a las observaciones directas respaldan la idea de que las partículas cuánticas exhiben un comportamiento dual de onda y partícula, tal como lo predice la teoría. La teoría cuántica debe ser corroborada por observaciones y resultados experimentales concretos. En el experimento de la doble rendija, la observación de patrones de interferencia cuando las partículas pasan a través de las rendijas sin ser ob-

servadas directamente, y la ausencia de tales patrones cuando se realiza una observación directa, confirman la dualidad onda-partícula. Estos resultados experimentales respaldan la teoría cuántica y sus predicciones, mostrando cómo las partículas pueden exhibir comportamientos diferentes dependiendo de si son observadas o no (Agazzi, 2012b).

- *Relación entre teorías*: la interpretación debe ser compatible con otras teorías físicas, como la teoría cuántica de campos y la relatividad, y no entrar en conflicto con ellas. Por ejemplo, la teoría cuántica de campos extiende la mecánica cuántica para incluir la creación y aniquilación de partículas, mientras que la relatividad especial introduce la necesidad de que las leyes físicas sean invariantes bajo transformaciones de Lorentz. Una interpretación rigurosa del experimento de la doble rendija debe respetar estas compatibilidades, integrando los resultados del experimento en un marco coherente con ambas teorías (Alonso, 1995).
- *Examen crítico y control*: se refiere a cómo la manera en que se observa y se controla el experimento puede cambiar el comportamiento y los resultados de las partículas cuánticas. Esto destaca la influencia del observador y del entorno en la interpretación de los fenómenos cuánticos y resalta la naturaleza compleja y sutil de la física a nivel subatómico. Por ejemplo, en el experimento de la doble rendija, la introducción de un dispositivo de medición para detectar por cuál rendija pasa una partícula altera el patrón de interferencia. Esto subraya la importancia de la observación en la mecánica cuántica y la necesidad de un examen crítico sobre cómo las condiciones experimentales y el entorno afectan los resultados observados. Este fenómeno es conocido como la influencia del observador, destacando la naturaleza no determinista y contextual de la física cuántica (Agazzi, 1994).
- *Independencia cultural y subjetividad*: se manifiestan en cómo diferentes personas y culturas interpretan y dan sentido a los resultados y conceptos del experimento de la doble rendija. La física cuántica ha dado lugar a muchas discusiones filosóficas y debates sobre la esencia misma de lo real y acerca del vínculo entre observación y fenómeno observado. Estas cuestiones a menudo se relacionan con la manera en que las personas interpretan los resultados del experimento y su significado más

amplio. La física cuántica ha generado numerosos debates filosóficos sobre la naturaleza de la realidad y la relación entre observación y fenómeno observado. Por ejemplo, algunas interpretaciones filosóficas, como el realismo estructural o el instrumentalismo, ofrecen diferentes enfoques sobre cómo interpretar los resultados experimentales y qué implicaciones tienen para nuestra comprensión del mundo. Estos debates reflejan cómo la subjetividad y el contexto cultural influyen en la interpretación de los fenómenos cuánticos, resaltando la necesidad de una perspectiva amplia y crítica al analizar tales experimentos (Agazzi, 2000).

Por otro lado, en cuanto a la objetividad tenemos:



- *Acuerdo de la comunidad científica*: aunque existen acuerdos en torno a ciertos aspectos, la física cuántica también ha dado lugar a interpretaciones diversas y debates filosóficos. Las interpretaciones van desde la de Copenhague hasta la teoría de los muchos mundos, entre otras. Estas interpretaciones pueden influir en cómo se comprenden y se explican los fenómenos cuánticos, lo que lleva a discusiones y exploraciones continuas en la comunidad científica (Agazzi *et al.*, 1989). Por ejemplo, la interpretación de Copenhague, defendida por Niels Bohr y Werner Heisenberg, sugiere que los fenómenos cuánticos no tienen propiedades definidas hasta que son observados. En contraste, la teoría de los muchos mundos de Hugh Everett postula que todas las posibles historias alternativas de un sistema cuántico son igualmente reales, cada una en su propio universo paralelo. Estas diferencias en interpretación han llevado a debates filosóficos significativos y han influido en cómo se entienden y explican los fenómenos cuánticos, lo que demuestra la dinámica y la evolución continua dentro de la comunidad científica.
- *Carácter experimental*: radica en la realización de las acciones prácticas y controladas en un laboratorio para observar y medir los resultados. El experimento es un ejemplo esencial de cómo los principios científicos se ponen a prueba mediante la recopilación de datos y la comparación con las predicciones teóricas, lo que respalda el método científico y la comprensión de los fenómenos cuánticos. Además, demuestra tanto la interferencia de onda como el comportamiento de partícula de electrones y fotones y resalta la importancia de la observación directa

y la medición en un entorno controlado para validar teorías científicas. La replicación de estos experimentos en diversos laboratorios y con distintas configuraciones tecnológicas ha permitido corroborar consistentemente las predicciones de la mecánica cuántica, subrayando el valor del método científico y la importancia de la evidencia empírica en la comprensión de los fenómenos cuánticos (Agazzi, 2000).

- *Ausencia de influencias externas a la metodología científica:* el experimento de la doble rendija se relaciona con la necesidad de minimizar cualquier factor que no sea controlado o medido en el proceso experimental, para asegurar que los resultados reflejen de manera precisa los efectos que se están estudiando. Para asegurar la validez de los resultados del experimento de la doble rendija, es esencial minimizar cualquier factor no controlado o medido que pueda influir en el proceso experimental. Esto implica un riguroso control del entorno experimental, incluyendo la eliminación de posibles fuentes de interferencia y la calibración precisa de los instrumentos de medición. Por ejemplo, al medir la interferencia de electrones, se deben controlar factores como el ruido ambiental y las variaciones de temperatura, para asegurar que los patrones observados son efectivamente causados por los fenómenos cuánticos que se están estudiando y no por variables externas (Agazzi, 1996).
- *Replicabilidad de métodos y procedimientos:* se evidencia a través de la documentación detallada, el uso de protocolos estandarizados, la disponibilidad de datos, la verificación cruzada por otros investigadores, la publicación y revisión científica, la comunicación en conferencias y la colaboración. La capacidad de obtener resultados consistentes en diferentes contextos refuerza la confianza en la validez y la comprensión de los fenómenos cuánticos involucrados en el experimento (Agazzi, 2019). La replicabilidad es un pilar fundamental del método científico. En el caso del experimento de la doble rendija, la documentación detallada de los procedimientos, la utilización de protocolos estandarizados y la disponibilidad de datos para la verificación por otros investigadores son cruciales. Por ejemplo, experimentos realizados con electrones y fotones han sido repetidos en múltiples laboratorios alrededor del mundo, siempre obteniendo resultados consistentes que validan las predicciones teóricas de la mecánica cuántica. Esta capacidad de reproducir

los resultados en diferentes contextos y condiciones refuerza la confianza en la validez de los fenómenos cuánticos observados.

- *Valoración*: se evidencia a través de la comparación con la teoría, la coherencia con experimentos anteriores, la replicabilidad, el análisis estadístico, las discusiones en la comunidad científica, la exploración de interpretaciones alternativas y la influencia en el desarrollo teórico. La valoración implica interpretar los resultados de manera crítica y reflexiva dentro del contexto científico y teórico existente. La valoración de los resultados experimentales se realiza a través de la comparación con las predicciones teóricas, la coherencia con experimentos anteriores y el análisis estadístico. En el caso del experimento de la doble rendija, los patrones de interferencia observados han sido analizados críticamente en el contexto de la teoría cuántica y han demostrado ser consistentes con las predicciones matemáticas de las funciones de onda. Además, la discusión continua en la comunidad científica, incluyendo la exploración de interpretaciones alternativas y su influencia en el desarrollo teórico, muestra un compromiso con una interpretación crítica y reflexiva de los resultados (Agazzi, 2012b).
- *Neutralidad interpretativa*: se evidencia a través del enfoque en los datos empíricos, el uso de métodos estandarizados, la consideración de múltiples perspectivas, la revisión por pares, la comparación con teorías existentes, la transparencia en la metodología y el debate científico. Los científicos se esfuerzan por minimizar cualquier influencia subjetiva y sesgo personal en la interpretación de los resultados para lograr una comprensión objetiva y basada en evidencia (Agazzi, 1977). La revisión por pares, la transparencia en la metodología y el debate científico son prácticas esenciales que ayudan a mantener la objetividad. Por ejemplo, las diferentes interpretaciones de los fenómenos cuánticos se debaten y se revisan continuamente, lo que permite una comprensión basada en evidencia y evita sesgos personales o culturales.

Por esto, podría decirse que tanto el experimento de caída libre de Galileo, como el experimento de la doble rendija, cumple con los distintos criterios de rigor y objetividad que permite que la física sea un conocimiento verdadero y consistente con datos experimentales, teorías científicas

cas establecidas y principios lógicos, al tiempo que ofrece una explicación clara y predecible de los fenómenos observados.

Conclusiones

Agazzi ha señalado que hay dos requisitos fundamentales a la hora de explicar la racionalidad científica, estos son el rigor y la objetividad.

El rigor (del latín *rigoris*, que se relaciona con severidad, exactitud y rigidez en el respeto a una norma) consiste en que, para que un discurso pueda ser considerado científico, se deben dar razones suficientes de las proposiciones que lo conforman de manera argumentada. Una manera eficaz y efectiva de hacerlo se da mediante el cálculo matemático y la demostración, aunque no es la única forma de rigor. En las ciencias sociales se argumenta desde los hechos y la compatibilidad que se tiene con ciertas fuentes, y en el derecho se utiliza el rigor lógico sutil. Los requisitos de rigor varían de una ciencia a otra, sin que la esencia de lo que significa el rigor varíe o se transforme.

Lo objetivo es lo que puede ser compartido por una pluralidad de observadores. De este modo, el discurso de las diferentes disciplinas ha elaborado criterios que permiten a los especialistas alcanzar afirmaciones compartidas y diferenciar una ciencia de otra, obteniendo de ellas ciertos aspectos mediante recortes de la realidad, lo cual es válido y necesario, en tanto permite ganar en objetividad a partir de la mirada especializada de las ciencias. Se tiene así, entonces, que cada ciencia se dedica a ciertos atributos o propiedades que son importantes e ignora otros que serán considerados por otras ciencias. De este modo, cada ciencia tiene sus criterios de objetividad que son, al mismo tiempo, criterios de referencialidad y verdad, que admiten investigar ciertos aspectos de la realidad, así como alcanzar un consentimiento de parte de los especialistas de ese campo específico.

El realismo científico, de manera general, afirma que las teorías y entidades físicas hacen referencia a objetos y procesos de la realidad con independencia del conocimiento humano. Según el enfoque realista de Agazzi, es posible identificar tres rasgos esenciales del estatuto ontológico de la física: la índole estructural de lo real, la existencia de las entidades físicas y la independencia de las teorías.

Los criterios de rigor en la física son la *coherencia lógica*, que tiene relación con la consistencia interna y la sólida estructura lógica que deben tener las teorías y proposiciones científicas; la *precisión matemática*, que hace referencia a la exigencia de que las teorías y afirmaciones en la

física sean formuladas de manera clara y exacta; la *dimensión empírica*, relativa a la gran importancia de que las teorías físicas tengan base en la constatación empírica; la *relación con las teorías previas*, esto es, la exigibilidad de que las nuevas teorías sean compatibles con el *corpus* de conocimiento científico y no lo contradigan; el *examen crítico y control*, que resalta la importancia de que las teorías físicas sean evaluadas de forma detallada y contrastadas permanentemente; y la *independencia cultural y subjetividad*, ya que, para Agazzi, las teorías y afirmaciones de la física deben ser universalmente aplicables y no pueden depender de interpretaciones de carácter cultural o personal.

Los criterios de objetividad en la física son el *acuerdo de la comunidad científica*, ya que la revisión por pares y la intersubjetividad son fundamentales para asegurar la objetividad y la calidad del conocimiento científico; el *carácter experimental*, pues las teorías deben poderse verificar con información recogida de la experiencia y con base en lo observado; la *ausencia de influencias externas a la metodología científica*, porque es necesario que, en la investigación física, no existan factores de orden cultural, político, ideológico o subjetivo; la *replicabilidad de métodos y procedimientos*, dado que la objetividad se promueve mediante la descripción exacta y detallada del método y proceso usados en la indagación científica; la *valoración*, puesto que los físicos deben someter sus teorías y resultados a la revisión de expertos y estar dispuestos a modificar sus conclusiones en función de la retroalimentación y las nuevas informaciones recibidas de sus pares; y, por último, la *neutralidad interpretativa*, ya que los físicos deben esforzarse por presentar la información de modo neutral y objetivo, de modo que la información presentada le permita a otros científicos evaluarla de modo imparcial.

El presente trabajo podría tener diversas implicancias educativas. Algunas posibles son la formación de docentes de física y filosofía, contribuyendo a una presentación más completa y contextualizada de la física y sus fundamentos filosóficos en el aula; el diseño de programas educativos, ya que la investigación podría inspirar el diseño de programas educativos en filosofía de la ciencia, concretamente, enseñando el realismo científico de Agazzi; el desarrollo del pensamiento crítico, ya que, al profundizar en los fundamentos onto-epistemológicos de la física, los estudiantes pueden desarrollar habilidades de pensamiento crítico, lo que, a su vez, facilitaría entender mejor y más hondamente la investigación científica y sus dificultades; y, por último, la interdisciplinariedad, ya que su temática promueve el diálogo y la colaboración entre expertos en física y en filosofía.



Nota

- 1 El presente artículo es el resultado del proyecto de investigación “Fundamentos onto-epistemológicos de la física: aportes desde el realismo científico de Evandro Agazzi”.

Bibliografía

AGAZZI, Evandro

- 1977 La metodología delle scienze empiriche. *Il contributo*, (5-6), 5-12.
1978 *Temas y problemas de filosofía de la física*. Herder.
1988 Ciencia natural y cosmología cristiana. *Nuestro Tiempo*, (406), 114-123.
1994 Was Galileo a Realist? *Physis*, (21), 273-296.
1996 *El bien, el mal y la ciencia: las dimensiones éticas de la empresa científico- tecnológica*. Tecnos.
1997 On the Criteria for Establishing the Ontological Status of Different Entities. En Autor (ed.), *Realism and Quantum Physics* (pp. 40-73). Rodopi.
2000 *Filosofía de la naturaleza: ciencia y cosmología*. FCE.
2007 Fede, ragione e scienza. En P. Dell’Aquila (ed.), *Scienza e fede: le nuove frontiere* (pp. 83-94). Società Editrice Il Ponte Vecchio.
2008 Una prospettiva sistémica per la scuola. En F. Abbona, G. Del Re & G. Monaco (eds.), *Complessità dinamica dei processi educativi* (pp. 38-47). Franco Angeli.
2011 *La ciencia y el alma de Occidente*. Tecnos.
2012a El ejercicio de la inteligencia en las diferentes ontologías regionales de la investigación científica. En M. Oriol Salgado (ed.), *Inteligencia y filosofía* (pp. 261-274). Marova.
2012b *Ragioni e limiti del formalismo*. Franco Angeli.
2014 *Filosofía de la naturaleza: ciencia y cosmología*. FCE.
2015 En busca de la objetividad. *Investigación y Ciencia*, (466), 54-55.
2019 *La objetividad científica y sus contextos*. FCE.
2022 *El conocimiento de lo invisible*. Universidad Francisco de Vitoria.

AGAZZI, Evandro, MINAZZI, Fabio & Geymonat, Ludovico

- 1989 *Filosofía, ciencia e verità*. Rusconi.

AKHUTIN, Anatoly

- 1982 Galileo’s experiment. *Scientia*, 5-8(117), 287-311.

ALONSO GARCÍA, Juan

- 1995 *La epistemología de Evandro Agazzi* [Tesis doctoral]. Universidad de Navarra, España.

BILBENY, Norbert

- 2015 La curiosidad como motor de la investigación. En Norbert Bilbeny & Joan Guàrdia (eds.), *Humanidades e investigación científica: una propuesta necesaria* (pp. 71-86). Universidad de Barcelona.

BOLAÑOS, Robert Fernando & CARVAJAL, Johman

- 2019 Hacia una objetividad científica abierta: una reflexión desde la concepción epistemológica de Evandro Agazzi. *Éndoxa*, (44), 271-290. <https://doi.org/10.5944/endoxa.44.2019.22708>

CASTELLANOS, Arjuna Gabriel

- 2021 *La racionalidad y el estatuto ontológico de las matemáticas: Algunas consideraciones a partir de la epistemología de Evandro Agazzi* [Tesis doctoral]. Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia.

DRAKE, Stillman

- 1970 *Galileo Studies: Personality, Tradition, and Revolution*. University of Michigan Press.

GIACOSA, Norah, GALEANO, Ramiro, ZANG, Claudia, MAIDANA, Jorge & SUCH, Alejandro

- 2019 Experimento de la doble rendija de Young: análisis de libros de texto universitarios *Revista de Enseñanza de la Física*, 31(3), 349-357. <https://bit.ly/4ctaP6i>

GONZÁLEZ AROCHA, Jorge

- 2021 El posmodernismo y el realismo en la aporía de la posverdad. *Sophia, Colección de Filosofía de la Educación*, (31), 89-111. <https://doi.org/10.17163/soph.n31.2021.03>

GUEVARA RUIZ, Agustín Esmaro

- 2020 *La teleología de los experimentos científicos: el caso de la caída libre de los cuerpos* [Trabajo de grado]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.

IDARRAGA MONTOYA, Carlos Mario

- 1994 Vistazo al mundo cuántico: el experimento de doble rendija. *Revista Universidad EAFIT*, 30(95), 99-104. <https://bit.ly/4eNJVZ5>

ISLAS MONDRAGÓN, Damián

- 2021 La teoría correspondentista de la verdad y la confirmación científica. *Sophia, Colección de Filosofía de la Educación*, (31), 65-87. <https://doi.org/10.17163/soph.n31.2021.02>

LÓPEZ MOROCHO, Luis Rodolfo

- 2021 Reflexiones sobre el problema de la verdad, la ciencia y la tecnología y sus implicaciones en el campo educativo. *Sophia, Colección de Filosofía de la Educación*, (31), 137-164. <https://doi.org/10.17163/soph.n31.2021.05>

MARCOS, Alfredo

- 2015 *Modernità e autonomia della scienza nell'opera di Evandro Agazzi*. En Fabio Minazzi (ed.), *Sulla filosofia della scienza di Evandro Agazzi* (pp. 53-68). Mimesis.

MINAZZI, Fabio

- 2015 *Evandro Agazzi filosofo*. En F. Autor (ed.), *Sulla filosofia della scienza di Evandro Agazzi* (pp. 23-44). Mimesis.

PERILLA, María Lilia

- 2005 El fenómeno de la caída libre en Galileo. *Tecné, Episteme y Didaxis*, (18), 97-106. <https://doi.org/10.17227/ted.num18-462>

QUIROZ LIMAS, Cecilia Sanjuana

- 2015 La física aplicada en la caída libre y su demostración. *Proyectos Institucionales y de Vinculación*, 3(5), 4-10. <https://bit.ly/3VTLIEp>

ROMO, José

- 2005 ¿Hacia Galileo experimentos? *Theoria, Revista de Teoría, Historia y Fundamentos de la Ciencia*, 20(1), 5-23. <https://bit.ly/3VSDA6V>

ROSSI, Paolo Aldo

- 1986 Attuali tendenze dell'epistemologia italiana: la corrente oggettualista. En E. Agazzi (ed.), *La filosofia della scienza in Italia nel'900* (pp. 403-444). Angeli.

RUVALCABA, José Manuel, QUINTERO, Ricardo & GÓMEZ, Alma Adriana

2021 Conocimiento de contenido de profesores: el experimento pensado de caída libre de Galileo. *Enseñanza de las Ciencias*, 40(1), 5-24. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3357>

Fecha de recepción: 15 de julio de 2023

Fecha de revisión: 15 de septiembre de 2023

Fecha de aprobación: 20 de noviembre de 2023

Fecha de publicación: 15 de julio de 2024