



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE HUMANIDADES

LICENCIATURA EN FILOSOFÍA

T E S I S

La noción de evidencia científica: sus orígenes y el debate en torno a ella en la filosofía de la ciencia del siglo XX

Que para obtener el título de:

Licenciado en Filosofía

Presenta:

Axel Gomez Sánchez

Asesor:

Dr. Alberto Saladino García

Co-asesor:

Dr. Elías Fuentes Guillén

Toluca, Estado de México, 2021.

Índice

Introducción	3
Capítulo 1: Antecedentes históricos sobre el surgimiento de la noción de evidencia	
Apartado 1.1: Dos Tradiciones	8
Apartado 1.2. La revolución científica y consecuencias	35
Capítulo 2: La noción de evidencia a través de la perspectiva de los filósofos de la ciencia	
Apartado 2.1. Las contribuciones del Circulo de Viena	69
Apartado 2.2. Las propuestas de Popper y Lakatos en torno a la relación de la noción de evidencia y el progreso científico	94
Apartado 2.3: La perspectiva de Kuhn sobre la racionalidad de la ciencia	131
Apartado 2.4: Directrices para una epistemología relativista: la alternativa de Laudan	153
Conclusiones	173
Bibliografía	181

Introducción

El propósito de la presente investigación es ofrecer un estudio sobre los orígenes y el desarrollo de la noción de evidencia, así como su relación con el progreso científico y la noción de teoría científica, desde las diversas propuestas de los filósofos de la ciencia del siglo XX.

Para exponer los temas mencionados, el objetivo del primer capítulo es considerar cómo evolucionó la noción de evidencia desde la antigua Grecia, pasando por la revolución científica y hasta principios del siglo XX. De ahí que, nuestra primera hipótesis sostiene que la actividad científica ha sido posible gracias al interés y, en algunos casos, la necesidad de filósofos y científicos de ofrecer explicaciones a fenómenos naturales que, analizados desde nuestro punto de vista contemporáneo, permiten vislumbrar las distintas relaciones que han existido entre la noción de evidencia, el progreso científico y la racionalidad de la ciencia. Más aún, debemos remarcar el hecho de que estas relaciones se desarrollan dentro de un contexto histórico en el que, por periodos más o menos prolongados, la actividad científica se ha impulsado o se ha limitado. En este sentido, nos proponemos exponer y precisar los elementos involucrados en el desarrollo del quehacer científico, centrándonos en la evolución conceptual de la noción de evidencia hasta finales del siglo XX.

Ahora bien, el objetivo del segundo capítulo es analizar, comprender y contrastar las diversas propuestas que surgieron sobre la noción de evidencia en el marco de la filosofía de la ciencia del siglo XX. Para ello abordaremos como ejes temáticos las principales propuestas sobre la racionalidad de la ciencia y el progreso científico. Dicho lo anterior, nuestra segunda hipótesis sostiene que no es posible ofrecer una única definición de “evidencia” ya que, como lo expondremos más adelante, ésta ha sufrido diversas modificaciones a lo largo de la historia, de modo que es viable justificar la noción de evidencia como un valor metodológico. Sin embargo, sí podemos precisar que, durante ciertos periodos de tiempo, han primado ciertas nociones de evidencia, como, por ejemplo, la auto-evidencia de los primeros principios en la antigua Grecia (las ideas y el Ser), la consistencia de los axiomas

de Euclides, la experimentación y precisión del empirismo de Bacon, la claridad y distinción del racionalismo de Descartes, así como la predicción y verificación de hipótesis de Newton. Más aún, dichas nociones se contrastarán con propuestas modernas como la de los simpatizantes del Círculo de Viena. Ellos, por ejemplo, articularon un sistema que pondera la verificación empírica, la consistencia lógica y las proposiciones básicas del lenguaje para justificar la racionalidad de la ciencia y defender la verificación de las teorías por medio de la evidencia empírica. Por otro lado, Karl Popper se opuso a la propuesta del Círculo de Viena y fue más radical al proponer la noción de evidencia en sentido negativo, es decir, ésta solo sirve para falsear teorías científicas y no para verificarlas como aquellos propusieron. Precisamente, lo que nos interesa mostrar de los estudios de la filosofía de la ciencia son los puentes que tienden hacia el pasado a través de la reconstrucción histórica de la actividad científica. De ahí que en esta línea se inscriben las propuestas de Thomas S. Kuhn e Imre Lakatos. Por su parte, Paul Feyerabend y Larry Laudan guiaron el debate sobre la racionalidad de la ciencia hacia la epistemología relativista. Dicha postura ahonda en los conflictos internos y externos de la práctica científica y muestra las limitaciones a las que se expone la ciencia si no se adapta a su propio desarrollo teórico-práctico.

Dicho lo anterior, la investigación sobre los orígenes y la evolución de la noción de evidencia se realizó por el interés de conocer y comprender los elementos que han consolidado la práctica científica como la principal forma de producir conocimiento. Por otra parte, a pesar de que la ciencia se profesionalizó e institucionalizó, no podemos establecer que exista o haya existido un periodo histórico en el que solo encontremos un método científico. Por ello, nuestro interés también gira en torno a las diversas propuestas metodológicas que existieron simultáneamente y que muchas veces crearon debates entre los estudiosos de la filosofía de la ciencia y cuyas propuestas sobre la racionalidad de la ciencia tomaron por criterio valores como la evidencia, la amplitud, la precisión, la coherencia, la resolución de problemas, la producción de problemas, etc., para sugerir y determinar qué teoría científica debería ser ponderada y aceptada.

Para ser más específicos, profundizar en los orígenes y el desarrollo de la noción de evidencia implica adentrarse en el desarrollo histórico de la actividad científica como una práctica humana que no es ajena a los factores sociales, económicos, pedagógicos, políticos, religiosos, etc., los cuales, articulan un contexto diverso y amplio. La exploración de dicho contexto permite comprender bajo qué parámetros se ha desarrollado la ciencia y cuáles son los elementos sobre los que se ha fundamentado su práctica. De ahí que, nuestro interés académico sea comprender el desarrollo histórico desde el punto de vista de la filosofía de la ciencia del siglo XX, porque consideramos que ofrece un marco de referencia suficientemente amplio para abordar dicha temática.

Ahora bien, la investigación se llevó a cabo en el marco de la metodología crítica, consultando las obras directas de los principales autores de cada época, de forma que pretendemos mostrar con claridad las implicaciones teórico-metodológicas que han influido en la evolución de la noción de evidencia. En este sentido, también se consultó los estudios de comentaristas como Giovanni Reale, Floris Cohen, Craig Dilworth, etc., porque ahondan en detalles que, a nuestro juicio, ofrecen una mirada más completa para reconstruir históricamente los orígenes y la evolución de la noción de evidencia. En esta misma línea de investigación, enfatizamos la contextualización y los entrecruces entre el quehacer científico y filosófico, esclareciendo cómo es que estas dos áreas del conocimiento humano se han entrelazado desde la antigüedad y, hasta el siglo XX.

Así mismo, considero que ambas hipótesis muestran que la estructura epistemológica de las ciencias modernas es sumamente diversa, a tal grado que, desde mi punto de vista, lo más adecuado es elaborar estructuras explicativas en función de la naturaleza de cada área de estudio. Dicho de otra manera, tratar de unificar las diversas ciencias a través de una sola estructura epistemológica, inhabilitaría conocer, comprender y valorar la naturaleza de la diversidad de los objetos estudiados en cada área.

De acuerdo con lo dicho hasta ahora, la tesis está organizada de la siguiente manera: el primer capítulo está completamente dedicado a mostrar los orígenes y

el desarrollo histórico de la noción de evidencia hasta finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX. Para ello, retomé la propuesta de Floris Cohen, quien consideró los aportes en filosofía natural de las escuelas griegas y la metodología de los practicantes alejandrinos de las ciencias particulares, las cuales denomina “legado ateniense” y “legado alejandrino”, respectivamente. Más aún, dicha propuesta nos permite comprender cómo se gestó la revolución científica durante los siglos XVI y XVII, así como sus implicaciones teórico-metodológicas, las cuales encontraron en las aportaciones de Newton a la física una consolidación que permeó la ciencia en general, hasta finales del siglo XIX.

De manera similar, el segundo capítulo está dedicado a analizar el rol fundamental de la noción de evidencia dentro de los elementos estructurales involucrados en la justificación de la racionalidad y el progreso científico en las principales propuestas de filosofía de la ciencia del siglo XX. Para ello, en la primera sección analizo las propuestas y contrastes entre los miembros del Circulo de Viena, centrándome en la fundamentación de la ciencia a través de la lógica y el lenguaje. En la segunda sección, muestro el contraste que supuso la propuesta del falsacionismo metodológico de Karl Popper al proyecto del Circulo de Viena, así como los entrecruces con las propuestas de Imre Lakatos y Ernest Nagel. En la tercera sección expongo la novedosa propuesta de Thomas Kuhn respecto a la estructura de las revoluciones científicas, la cual es comentada y criticada por Paul Feyerabend de manera consistente con su anarquismo metodológico. Finalmente, la cuarta sección está dedicada al proyecto de Larry Laudan, cuyo propósito es ofrecer las directrices para el desarrollo de una teoría de la racionalidad y el progreso científico a través de la epistemología relativista.

Para concluir esta introducción, me gustaría aclarar que la presente investigación, originalmente contemplaba tres capítulos. No obstante, por cuestiones personales y de tiempo, he decidido limitarla a dos capítulos, dejando el tercer capítulo que iba a estar dedicado al debate contemporáneo entre el realismo y el anti-realismo para una investigación posterior.

Capítulo 1: Antecedentes Históricos sobre el surgimiento de la noción de evidencia

Apartado 1.1: Dos Tradiciones

En el marco de la revolución científica que se gestó durante los siglos XVI al XVII se emprendió la recuperación de dos tradiciones de investigación filosófica-científica, a saber, la del legado griego y la del legado alejandrino, mismas que en principio se corresponden con una filosofía natural y una ciencia de la naturaleza, respectivamente. Por su parte, en la filosofía natural (tradicción griega), las escuelas que primaron en Europa Occidental fueron la platónica, neoplatónica y aristotélica, ya que sirvieron al cristianismo como una fuente de conocimientos de la que nutrieron gran parte de su doctrina, conformando así la unidad del pensamiento del medievo, hasta el renacimiento. Por otra parte, en la ciencia de la naturaleza (tradicción alejandrina) primaron las matemáticas, la astronomía, la mecánica y la música; disciplinas que, desde sus orígenes, habían estado emparentadas con el estudio de fenómenos particulares mediante esquemas geométricos y en algunos casos, aritméticos. De esta manera, la unidad de la tradición alejandrina se concentró en la metodología matemática aplicada a fenómenos particulares, como señala Cohen:

In Athenian thought the central operation was explanation through the positing of first-principles; in Alexandrian thought, description in mathematical terms. First-principles of various kinds were put forward by a range of Athenian thinkers. (Cohen, 2005: 10)

Ahora bien, la recuperación del legado griego durante el medievo y hasta el renacimiento, consolidó la filosofía natural de la mano de las principales escuelas atenienses, a saber, la platónica, la atomista, la escéptica y la aristotélica. En este sentido, en la primera mitad del siglo VI, Casiodoro propuso que el conocimiento clásico que, principalmente había sido producido por las escuelas platónica y aristotélica, debía ser dividido para una mejor asimilación; así, él propuso que se distinguieran las siete artes liberales en: *trívium* (gramática, dialéctica y retórica) y

quadrivium (aritmética, geometría, astronomía y música). Esta división y distinción, desde el punto de vista del medievo, se realizó para tener una mayor comprensión del marco legislativo de las escrituras bíblicas sobre todas las prácticas humanas, incluida la “actividad científica” (cf. Reale y Antiseri 2010: 414).

Sin embargo, desde el punto de vista pedagógico, la sistematización del conocimiento clásico emprendida por Cassiodoro, sentó las bases que guiaron siglos más tarde la apertura de nuevas “escuelas”, como la de Chartes en la Francia del siglo XII, la cual se convirtió en un centro cultural importante por el acogimiento de algunas de las obras importantes de Platón y de Aristóteles, como por ejemplo, el *Timeo* y el *Órganon*. Más aún, el acogimiento de tales obras respondió a la necesidad de justificar el conocimiento no-revelado, con los principales dogmas cristianos. Sobre estas nuevas instituciones, Reale escribió lo siguiente:

La filosofía estaba constituida por la lógica y por instituciones platónicas y neoplatónicas, fáciles de armonizar con el dato revelado. El descubrimiento de las obras aristotélicas sobre física y metafísica no solo implica el hallazgo de instrumentos formales autónomos, sino también unos contenidos específicos y unas nuevas perspectivas, gracias a los cuales, la filosofía aspira a ser autónoma y a distinguirse claramente de la teología. (Reale y Antiseri , 2010: 463)

De ahí que, durante el medievo, la lógica ganó una amplia aceptación entre los estudiosos de las escrituras bíblicas porque llegaron a la conclusión de que sólo es posible comprender racionalmente las escrituras bíblicas, siguiendo las formas válidas de argumentación propuestas por la lógica. Así, la fe encontró en la razón un medio válido de argumentación racional para justificar sistemáticamente las creencias del cristianismo; de ahí nació la teología como disciplina que estudia los conocimientos (doctrina) acerca de aquello que se considera sagrado. Este fue un paso esencial para la consolidación del cristianismo porque las creencias dejaron de ser comprensibles sólo por medio de la revelación; ahora, las creencias se volvieron comprensibles por medio de la razón. Un ejemplo de ello fue la investigación científica de la teología emprendida por Pedro Abelardo (1079-1142),

misma que presenta claros tintes platónicos y aristotélicos, como lo refiere Reale: “Adviértase que Abelardo es el primero que utiliza el término *Theologia* como síntesis de la doctrina cristiana. Antes de él, en San Agustín y en la alta edad media, *Theologia* designaba la especulación pagana o puramente filosófica acerca de la divinidad” (Reale y Antiseri, 2010: 445).

A la apertura de la escuela de Chartes, le siguieron en el siglo XIII la fundación de las universidades de Bolonia y de París. Más aún, esta última adoptó el modelo educativo de la escuela de Chartes, y el modelo propuesto por Cassiodoro. De ahí que, la fundación de la facultad de artes liberales (*trivium* y *quadrivium*) y la facultad de teología se guio con base en la ideología que imperaba en aquel tiempo, a saber, que a través de la razón se puede comprender la fe. Esto conllevó a una separación metodológica y pedagógica de dichas facultades, que nunca se desligaron en su totalidad pero sí, desde nuestro punto de vista, podríamos decir que sentó el carácter de cada disciplina (cf. Reale y Antiseri 2010: 419).

Ahora bien, si algo hacía falta para comprender el acogimiento de los textos griegos, esto era el ambiente cultural. La fundación de la universidad se volvió vital para el desarrollo del conocimiento que, por ejemplo, ya estaba en ciernes en figuras como Guillermo de Champeaux, Pedro Abelardo y Rosselino de Compiegne respecto a la gran controversia en el problema de los universales¹. El ambiente de investigación racional de la fundamentación de la fe mantuvo un elemento clave del legado griego que se remonta hasta la Atenas misma, a saber, la idea de que cualquier persona podía participar del diálogo filosófico. Dicha característica fue heredada por la universidad, y en el medievo se presenta a través de un entusiasmo renovado por el conocimiento:

¹ El problema de los universales se relaciona con la legitimidad de la validez de conceptos y términos universales, aplicados a la multiplicidad de objetos materiales. Esto compete a validez de la relación entre conceptos, términos lingüísticos y la materialidad de la realidad. Claramente este problema se relaciona con la validez del conocimiento humano (cf. Reale y Antiseri , 2010: 451-452).

En épocas posteriores la universidad se convertirá en aristocrática, pero en la edad media es popular, en el sentido de que acoge también estudiantes pobres, hijos de campesinos y de artesanos, quienes—gracias a algunos privilegios, como la exención de las tasas académicas, las bolsas de estudio y el alojamiento gratuito— podían llevar a cabo severos cursos de estudios. Una vez que habían entrado en la universidad, desaparecían las clases sociales entre los estudiantes: los goliardos y los clérigos constituían un mundo autónomo, en el que la nobleza ya no estaba representada por la clase de origen sino por la cultura adquirida. Se trata de un nuevo concepto de nobleza o, como se decía entonces, de gentileza. (Reale y Antiseri , 2010: 418-419)

En este clima renovado, la filosofía natural se consolidó como una actividad intelectual capaz de construir sistemas universales a partir de la reflexión sobre el orden y la finalidad del cosmos. Así, partiendo sistemáticamente de los diversos primeros principios y su estatuto ontológico de auto-evidencia, la filosofía natural construyó mecanismos de argumentación racional para la explicación de fenómenos naturales de forma comprensiva. De ahí que los diferentes sistemas de filosofía natural trataron de anclar los diversos fenómenos naturales dentro de sus respectivos límites explicativos. Como consecuencia, si bien tales filósofos estudiaban los fenómenos naturales para comprender sus cualidades, era el sistema desarrollado teóricamente por cada escuela el que establecía cuáles eran las cualidades de los fenómenos asimilables como partes de dicho sistema. Independientemente de lo cual, cabe señalar, la asimilación se estableció sobre el entendimiento de que los fenómenos eran gobernados en términos teleológicos², (cf. Aristóteles, *Metafísica*, II, 2, 994b9-16, 2011). Ello permite comprender el orden que buscaba establecer cada sistema de filosofía natural en oposición al caos, pues en el caos no habría posibilidad de conocimiento alguno, porque todos los fenómenos serían distintos en cada percepción.

² Por teleológico se entiende aquí un elemento argumentativo relativo a alguna causa final (cf. *Diccionario de la Real Academia Española*, 2014: 2095).

Así, por ejemplo, el sistema aristotélico fue capaz de establecer una argumentación consistente al incluir el elemento teleológico al interior de su sistema. Esto se aclara cuando se comprende que dicho sistema se proponía como finalidad ordenar el universo en función de la naturaleza; en efecto, Aristóteles consideró la naturaleza como fuente de necesidad, la cual es susceptible de ser investigada en términos de causalidad. De esta manera, el sentido del sistema aristotélico fue establecer un modelo explicativo de orden causal, finito e inmóvil, con la naturaleza como puente entre el mundo físico y el mundo metafísico.

Teleológicamente, por ende, Aristóteles buscaba evitar el caos, de ahí, por ejemplo, su división general de esferas en sublunar (de lo sensible y dinámico) y supra lunar (de lo inteligible y estático). El orden o naturaleza, en sentido aristotélico, permitía entonces establecer causalmente la generación o corrupción, el aumento o la disminución, el antes o el después de un fenómeno determinado, como por ejemplo el movimiento aparente de los errantes y el desarrollo de una semilla.

Ahora bien, puesto que los fenómenos son perceptibles y dinámicos, los predicados posibles habrían de conducir a las preguntas fundamentales del por qué y para qué. Preguntas que, de hecho, se corresponderían con dos formas intelectuales de investigación natural, a saber, la causa formal y la causa final, respectivamente, con la diferencia específica de que la causa formal está presente en la condición estática y la causa final está presente en la condición dinámica. Y, puesto que el orden no estaría supeditado a una condición intelectual, sino que debería estar anclado a la materialidad, la realidad resultaba ser el concepto fundamental del conocimiento sistemático, así como la condición de posibilidad de la manifestación de los fenómenos perceptibles. Entendiendo el concepto de realidad es como se entiende la metodología de investigación de la física sobre la que Aristóteles escribió: “La vía natural consiste en ir desde lo que es más cognoscible y más claro para nosotros, a lo que es más claro y más cognoscible por naturaleza” (Aristóteles, Física, I, 1, 184a15-17, 2011).

Ahora bien, respecto a la tradición alejandrina, Cohen comenzó señalando que los fenómenos reales rápidamente se desvanecían debajo de un proceso de

abstracción creciente, el cual contrasta con el pensamiento ateniense cuyo principal objetivo fue llegar a una sólida comprensión de la realidad (cf. Cohen, 2005: 11-12). En efecto, la noción de realidad permite el acercamiento de ambas metodologías de investigación natural a un terreno común. Esto es claro en las percepciones que están a la mano, así como a las especulaciones sobre la forma de constitución del universo como sistema ordenado. En el caso de las percepciones, en sentido platónico, debemos indicar que siempre intervienen dos agentes para que sea posible la percepción, a saber, el objeto percibido y el sujeto que lo percibe. Por su parte, el agente que percibe juzga las cualidades que percibe por sus sentidos cuando entra en contacto con el objeto percibido; de ahí que, una multiplicidad de agentes puede emitir diferentes juicios respecto a un mismo objeto. En cualquier caso, la percepción es una relación inmediata entre el órgano sensitivo y el objeto percibido; por lo tanto, cualquier juicio subjetivo se basa en la sensación de un objeto percibido. Al respecto, Platón escribió en voz de Sócrates lo siguiente:

De manera que, si se dice de algo que es o que llega a ser, hay que decir que es para alguien, de alguien o en relación con algo. Pero nosotros no podemos decir que algo es o llega a ser en sí mismo y por sí mismo, ni podemos consentir que nadie lo diga, según nos indica el razonamiento que hemos expuesto. (Platón, Teeteto, 160b12-16, 2011)

Lo cierto es que la multiplicidad de fenómenos son la materia prima que va allanando el camino desde las impresiones que se van almacenando en la memoria, hasta las ideas que constituyen la síntesis de dicha multiplicidad; más aún, es importante destacar que las ideas sólo son alcanzables por medio del razonamiento. Esto se logra por medio de la aprehensión de la diferencia entre cada una de las percepciones, o de la comunidad formada por un rasgo particular de un conjunto de percepciones condensadas en una sola impresión. La percepción entonces se distingue de la impresión por la duración en la memoria. Mientras que la percepción es instantánea y no dura más que el tiempo que es percibida, la impresión, posee un tiempo de duración mayor que la percepción por estar anclada en la memoria. La impresión entonces adquiere el estatuto de evidencia que sirve de base para los juicios del razonamiento sobre las impresiones para producir conocimiento.

Así, el conocimiento se produce por actos que buscan la semejanza o la diferencia de las impresiones contenidas en la memoria de los agentes cognoscentes. Y de entre los diversos tipos de conocimiento, se pondera el relativo a las ideas constitutivas de la realidad, como lo enuncia Sócrates: “Hace un momento decíamos que si alcanzas la diferencia por la que una cosa se distingue de las demás, según afirman algunos, alcanzas su explicación. Ahora bien, si aprehendes algún rasgo común, tu explicación lo será de aquellas cosas a las que se atribuye la comunidad” (Platón, Teeteto, 208d6-10, 2011). En este sentido, la realidad esta condicionada por un principio eidético según el cuál lo verdaderamente real son las ideas (principio ontológico de la teoría del conocimiento de Platón) y las percepciones y los juicios relacionados con ellas sólo se quedan en conocimientos parciales, incompletos y fragmentarios que cabría denominar opiniones.

Ahora bien, desde el punto de vista de Aristóteles, algo similar ocurre con las percepciones sólo que Aristóteles consideró que su método de su investigación de la física, que parte de lo que es más claro y cognoscible para los seres humanos, hacía lo que es más claro y cognoscible por naturaleza ofrece una mejor vía para producir conocimiento sobre los principios y causas de cada fenómeno mediante el análisis de las percepciones contenidos en la experiencia de cada agente cognoscente; de ahí que Aristóteles consideró la experiencia de la siguiente manera: “Por su parte, la experiencia se genera en los hombres a partir de la memoria: en efecto, una multitud de recuerdos del mismo asunto acaban por constituir la fuerza de una única experiencia” (Aristóteles, Metafísica, I, 1, 980b28-31, 2011).

Dicho lo anterior, podemos sostener que la diferencia en la metodología de ambos filósofos es epistemológica. Por un lado, Aristóteles justificó el conocimiento desde unidades de experiencia, mientras que Platón lo hizo desde juicios relativos a las ideas que constituyen a las percepciones. No obstante, las especulaciones constituyen el núcleo de ambas metodologías porque son actos del razonamiento capaces de establecer los principios ontológicos (las ideas y el Ser) como causas de los fenómenos del mundo sensible; de esta manera, la indagación respecto a

estos principios tiene por objetivo fundamentar un sistema ordenado que permita explicar la realidad y los fenómenos con ella relacionados.

En el caso platónico, la metodología de la especulación y específicamente la relacionada con los primeros principios, es de forma sintética y, en el caso aristotélico, de forma analítica. Esto resulta en dos sistemas ordenados sistemáticamente con niveles claramente definidos, desde la multiplicidad aparente hasta lo real-ideal en el caso platónico, o desde lo real-empírico hasta los primeros principios de lo real-el Ser, en el caso aristotélico. Por lo tanto, el legado ateniense podía postular un sistema ordenado como forma de explicación causal de la realidad que era experimentada en la inmediatez de los fenómenos. En efecto, dicho sistema tendría necesariamente un postulado ontológico como base de su justificación.

Precisamente, es la noción de realidad la que justificó la investigación de la filosofía natural, dado que en ella se manifiesta la totalidad de fenómenos por comprender y explicar, así como también las anomalías argumentativas que, desde el punto de vista contemporáneo de Lakatos denominó hipótesis *ad hoc*³. Sin embargo, dichas hipótesis resultaban ser más bien peticiones de principio para justificar los sistemas de filosofía natural. Tal es el caso platónico al postular al demiurgo como intermediario entre la realidad eidética y la realidad aparente; de ahí que su función hipotética haya sido la de servir como puente entre ambas realidades, aunque si eliminamos dicho elemento, no habría una conexión racional entre ambos mundos y resultaría ser inconsistente. De igual manera existieron anomalías fenoménicas que resistieron el potencial explicativo de los sistemas, puesto que sus manifestaciones perceptivas no son explicadas completamente, como por ejemplo, el fenómeno del sonido, el cual no se pudo comprender de manera cualitativa como lo indicaba la metodología aristotélica (cf. Cohen, 2005: 11).

Ahora bien, la constante preocupación de los practicantes de la filosofía natural por asir la realidad de manera consistente, justificó la investigación de la naturaleza

³ Por anomalía argumentativa entiéndase aquél elemento teórico que salva la operatividad de un sistema en términos de justificación o de explicación respecto a una deficiencia o inconsistencia operacional (cf. Lakatos, Imre., 2002: 77).

principalmente por dos vías, a saber, filosófica y/o matemática. Precisamente la noción de realidad es un elemento que comparten la tradición alejandrina y la ateniense respecto al marco de nociones metafísicas operables del contexto histórico. La conexión entre realidad y evidencia hace posible la legitimidad de ambas tradiciones con base en la relación entre el contenido de sus investigaciones y la forma de las mismas. Sin la noción de realidad, que es un elemento tanto epistemológico como ontológico, ninguna escuela habría llegado a ser hegemónica, dado que habrían investigado y especulado distintas nociones de realidad y ultimadamente, estaría injustificado postular primeros principios que no explican la realidad que es asequible a lo humano, como sí lo hacen en el caso de Platón y Aristóteles.

No obstante, existió una diferencia fundamental en dichas tradiciones y es que, a diferencia de la comunidad más matematizada, los filósofos naturales no gozaron de una metodología hegemónica que armonizara a los practicantes en una sola comunidad. Sobre este punto, Kuhn apuntó lo siguiente:

Una comunidad científica se compone, desde un punto de vista, de los profesionales de una especialidad científica. Unidos por elementos comunes y por educación y noviciado, se ven a sí mismos, y los demás así los ven como los responsables de la lucha por la consecución de un conjunto de objetivos compartidos, entre los que figura la formación de sus sucesores.
(Kuhn, 1982: 319)

Los argumentos de Kuhn son claros porque ofrecen una perspectiva vigente para comprender el desarrollo y la diversidad de escuelas que existieron en la antigüedad. Ciertamente, la estructura conceptual referente a las comunidades científicas representadas como escuelas que utiliza Kuhn nos permite remarcar rasgos fundamentales para comprender el desarrollo y constitución de la ciencia moderna. De ahí que, uno de los rasgos más importantes tanto para el legado ateniense como para el alejandrino haya sido la constante confrontación argumentativa con otras escuelas para justificar sus respectivos modelos de

conocimiento y, por lo tanto, tener elementos para sostener la hegemonía en términos de una explicación sistemática que produce conocimiento.

Más aún, la aclaración de Kuhn nos permite enfatizar la función esencial de la enseñanza como otro rasgo importante en la formación de cada miembro en las respectivas escuelas. Esto es importante ya que las herramientas argumentativas que poseían los miembros de cada escuela las adquirieron mediante la enseñanza que recibieron de sus maestros. Esto deja claro que la formación de una comunidad se basa en un compromiso compartido respecto a una cierta metodología como modelo de explicación causal que, a su vez, determina la identidad de cada comunidad.

De modo que, desde el punto de vista metodológico, no resulta extraño que históricamente haya existido una sucesión de escuelas desde la Academia, pasando por el Peripato, el Jardín, el Pórtico e incluso el punto más extremo, la negación a fundar una escuela de Pirrón. Lo cierto es que cada escuela postuló diferentes principios fundamentales (ideas, el Ser, el átomo y la duda), los cuales poseían un estatus ontológico de auto-evidencia, de acuerdo con la certeza que mostraban al ser establecidos con relación a cierta noción de “totalidad”, misma que plasmaban en los sistemas de explicación natural cualitativa de las escuelas atenienses, con excepción de los escépticos.

Como resultado de las investigaciones del legado ateniense, éste emigró y llegó hasta Alejandría, culmen de la civilización occidental antigua por sus desarrollos en el dominio las ciencias particulares; así mismo, uno de los factores importantes para que Alejandría se considerara la capital de la cultura occidental fue la decadencia de las escuelas atenienses al mismo tiempo que llegó a cultivar y consolidar la filosofía especulativa de corte platónico y aristotélico. Esto fue resultado de la confrontación entre el ideal cosmopolita de ciudadano de Alejandro Magno y el surgimiento de la cultura helenística y su ideal del individuo. De ahí que es común encontrar que en las escuelas helenísticas las áreas del conocimiento fundamentales para la comunidad se componían por la física, la ética, la moral y la lógica. Esta estructura persistió a pesar de la caída de Alejandría en el año 30 a.C.

a manos del imperio romano y más tarde, definitivamente, a manos de los mahometanos hacia el año 641 d.C. (cf. Reale y Antiseri, 2010: 324). A pesar de ello, la estructura del conocimiento se mantuvo y fue incrementada con la fe cristiana que llegó a conciliarse con la filosofía helénica. Este movimiento fue llevado a cabo por la escuela catequética hacia finales del siglo II d.C., el cual su vez, dio origen así a la patrística (cf. Reale y Antiseri, 2010: 325).

Por su parte, la hegemonía que en principio gozaron la escuela platónica y la aristotélica no es el simple resultado de su potencia explicativa en términos epistemológicos frente al resto de escuelas, sino que ambas escuelas aportaban la base sistemática de la fundamentación de un sistema político-religioso en ciernes que se remonta a la decadencia del museo y la biblioteca de Alejandría y la consolidación del cristianismo durante el siglo II a.C. y hasta el siglo VI d.C. Al respecto, Reale escribió lo siguiente:

La razón es de forma predominante función de la fe. La filosofía es función de la teología, para interpretar la escritura (exégesis) o para construir una doctrina sistemática (dogmática). La investigación racional autónoma hay que integrarla en el marco de la conversión de los infieles, a quienes es preciso ofrecer la doctrina cristiana mediante argumentos racionales. No basta con creer, es preciso comprender (*intelligere*) la fe. Y esto no solo se obtiene interpretando el texto sagrado o mostrando sus posibles implicaciones para la vida individual y colectiva de los hombres, sino también demostrando mediante la pura razón las verdades que se aceptan por fe, o por lo menos, mostrando su carácter lógico y no contradictorio con los principios fundamentales de la razón. (Reale y Antiseri, 2010: 419)

Así, el criterio de verdad de la tradición ateniense que fue adoptado en los orígenes del cristianismo, y que perduró durante el Medievo, fue la reminiscencia platónica por su similitud al criterio de justificación del cristianismo de la verdad por revelación. Este criterio de verdad fue cuestionado por los elementos de carácter mítico o contrarios a la razón del legado ateniense y su idea constitutiva de comunidad al incluir a cualquier persona en la búsqueda de conocimiento mediante el diálogo. En

estos casos, la apelación a la autoridad de la iglesia era un recurso frecuente como justificación del criterio de verdad, cuando los dogmas eran cuestionados. ejemplos de lo anterior son el problema sobre la transmutación de lo divino en humano y la finitud o infinitud del alma respecto al cuerpo. Ambos problemas refieren a una teoría del conocimiento que implican la actualización del criterio de verdad vigente. Esto llevó a la reformulación de la pregunta fundamental del por qué hacía la del cómo como bien lo señaló Gaukroger:

But the problems of the irreconcilability of Aristotelian natural philosophy and Christian theology came to a head again in the sixteenth and seventeenth centuries, on the questions of the immortality of the soul and on the physical standing of the heliocentric model. (Gaukroger, 2005: 132)

Tiempo después la lógica aristotélica como forma de argumentación válida y consistente, ya conocida y desarrollada hacia el final de la antigüedad y durante el medievo, dio un giro metodológico fundamental, a saber, pasó de ser una herramienta de defensa de la fe a ser la base metodológica de la fe en su pretensión de fundamentarse como sistema. Esto con el objetivo de que la doctrina cristiana estuviera en armonía con los principios sistemáticos de la filosofía natural. En este sentido, los estudiosos de las escrituras observaron el potencial explicativo contenido en la lógica aristotélica cuya metodología se basaba en partir de premisas universales, correctas y verdaderas para deducir premisas particulares o singulares de manera correcta y verdadera.

No obstante, a pesar de todos los esfuerzos realizados por la nueva clase social formada por teólogos y filósofos, bajo mandato de la iglesia, no lograron cumplir con su objetivo: lograr dar una respuesta satisfactoria a los problemas de la inmortalidad del alma y la transmutación de lo divino en humano. Al observar que sólo la metodología aristotélica podía ofrecer la base sistemática de su doctrina, los teólogos y filósofos adoptaron la lógica silogística como marco metodológico de argumentación racional, a la que habría que añadir la física y la metafísica como marco conceptual para la investigación natural, sobre la que Reale comentó lo siguiente:

Cabe decir que el siglo XIII es el siglo de la aceptación o del rechazo de Aristóteles, del replanteamiento de su doctrina en el contexto de las verdades cristianas, es decir, de su cristianización. Se trata, en pocas palabras, de la cuestión concerniente a la relación sistemática entre fe y razón, entre filosofía y teología. (Reale y Antiseri, 2010: 463)

Sin embargo, uno de los problemas fundamentales por el cuál la filosofía natural aristotélica no pudo proveer el fundamento de una teología sistemática fue la metodología de la filosofía natural, ya que parte de la sensibilidad de las percepciones y se dirige hacia juicios universales en términos inductivos. Ultimadamente, la metodología aristotélica no establece conocimiento en términos de verdades reveladas como la teología lo necesitaba. Resulta claro que mientras exista la distinción entre mundo sensible y mundo inteligible, la sensibilidad será un lastre u obstáculo para alcanzar la verdad de la teología y resultara infructífera una fundamentación sistemática desde la filosofía natural.

En contraste con lo anterior, filósofos importantes como Bacon y Descartes criticaron y actualizaron el criterio de verdad de la Edad Media (cf. Frondizi, 2014: 16-17), de tal suerte que sus críticas al modelo aristotélico de argumentación silogística dieron como resultado la metodología de la experimentación inductiva y la metodología físico-matemática de explicación mecanicista. Dichas críticas tuvieron un objetivo claro: la unificación y fundamentación de las ciencias de la naturaleza y la filosofía natural, bajo un sólo esquema que permitiera la operatividad de ambas metodologías al mismo tiempo y hacia un mismo fin.

En este sentido, la innovación del empirismo se basa en la investigación exclusiva de hechos cuya pretensión fue la sistematización de procesos de investigación natural, estandarizando criterios de discriminación y evidencia (ya presentes en el *Novum Organum* y en el *Discurso del Método*). Esta empresa reconfiguró la forma de abordar la investigación de los objetos de la naturaleza porque comenzó a ponderar la observación y la experimentación como metodología de investigación natural que, a su vez, dotó de identidad a nuevas comunidades científicas. De ahí que, la diferencia con la tradición de la filosofía natural radica en que el empirismo

modela experimentos que producen y reproducen fenómenos asequibles al ser humano. La capacidad de repetición es uno de sus rasgos fundamentales, como Cohen apuntó “Not that the act of experiment was so novel per se. But what was new was experiments being carried out, not by and large incidentally as before in alchemy or in some optical work, but in well thought-out, progressive series” (Cohen, 2005: 19).

Sin embargo, los fenómenos en el empirismo son anclados a una noción distinta de realidad, que ya no es la antigua. El empirismo introdujo metodológicamente una crítica a la noción de realidad de la antigüedad, al oponer la noción de creación a la noción de descubrir. En efecto, no es lo mismo postular un conocimiento descubierto a un conocimiento creado, ya que la primera sitúa al agente cognoscente en un plano pasivo y la segunda en un plano activo. Más aún, este matiz introdujo conceptualmente en las ciencias de la naturaleza repercutió desde las nociones privilegiadas de los primeros principios, hasta las nociones modernas de evidencia respecto a la forma de asir el quark (física), las células (biología), los números (matemáticas).

En contraste con el legado ateniense, el legado alejandrino tuvo una historia diferente. Se divulgó y emigró a través de diversos lugares y épocas como la Edad Media y el mundo árabe, donde se recuperaron los desarrollos teóricos realizados por los griegos, como ocurrió durante el renacimiento europeo. Sin embargo, la recuperación del legado alejandrino, metodológicamente hablando, dio prioridad a la explicación por medio de demostraciones matemáticas sobre fenómenos observables y no observables. Así, hemos de considerar el tipo de problemas a los que se enfrentaron los practicantes de las ciencias de la naturaleza, los cuales versaron sobre fenómenos de tipo intelectual, como el problema de la diagonal del cuadrado o el 5º postulado de Euclides, las dimensiones de la Tierra, la retrogradación de los planetas, la finitud o no del universo y el movimiento y lugar de la Tierra. Más aún, los problemas intelectuales en algunos casos tuvieron implicaciones contrarias al orden vigente que se sostenía como natural. Tal es el caso de la diagonal de cuadrado que en términos aritméticos es inconmensurable debido a que los griegos estaban limitados a los números naturales y a los números

fraccionarios; sin embargo, mediante la geometría fue perfectamente comprensible como una magnitud proporcional a los lados del cuadrado.

Algo similar a la diagonal del cuadrado ocurrió con la noción de infinitud en los números. Dicha noción implica la indeterminación e inconmensurabilidad contenida en la naturaleza de los números, a pesar de que éstos siempre fueron, desde el punto de vista de los griegos, determinados y limitados. Otro caso similar es el presentado por la retrogradación de los planetas, es decir, el movimiento aparente que no es uniforme y tampoco circular en determinados momentos, el cual modifica la posición de los astros con respecto a las estrellas fijas de manera anormal. Así, este movimiento representó una anomalía para el modelo geocéntrico del universo con respecto a uno de sus postulados centrales que sostenía que los planetas al ser perfectos deben desplazarse siguiendo el movimiento más perfecto, es decir, el circular. En cualquier caso, estos problemas muestran que metodología alejandrina empleada por los practicantes de las ciencias de la naturaleza ofreció las mejores explicaciones.

Esta forma de aproximación metodológica resulta interesante bajo cierto marco referencial ontológico no explicitado en la escuela alejandrina. Pese a la diferencia respecto a los esquemas empíricos y los objetos de estudio, buscaban comprender las regularidades subyacentes de la naturaleza, lo cuál permitió la existencia de una comunidad definida al interior de las ciencias de la naturaleza; esto supuso un contraste con la filosofía natural sobre la que Reale escribió lo siguiente:

Los historiadores de la ciencia han advertido con razón que la característica distintiva del fenómeno reside en el concepto de especialización. El saber se diferencia en sus distintas partes y trata de definirse en el ámbito de cada una de estas partes de manera autónoma, es decir, con una lógica propia y no como simple aplicación de la lógica del conjunto formado por las partes. (Reale y Antiseri, 2010: 264-265)

En consecuencia, las ramas de las ciencias de la naturaleza (la astronomía, la aritmética, la geometría y la mecánica) han sido matematizadas desde su formación, unidas para el tiempo del esplendor de Alejandría por la noción de cantidad como

principio ontológico. Esto quiere decir que la noción de cantidad ha existido como forma del pensamiento que busca relaciones cuantitativas subyacentes a los fenómenos estudiados por las ciencias de la naturaleza. No obstante, la noción de cantidad no es tomada de manera a priori, sino que es resultado de una tradición ontológica subyacente a las matemáticas que se remonta hasta la época de Pitágoras, que fue el primero en postular el número como unidad y primer principio de la constitución y ordenación del universo, por lo que Aristóteles se refirió a los seguidores de Pitágoras de la siguiente manera: “[...] los denominados Pitagóricos, dedicándose los primeros a las matemáticas, las hicieron avanzar, y nutriéndose de ellas, dieron en considerar que sus principios son principios de todas las cosas que son” (Aristóteles, *Metafísica*, I, 5, 985b22-25, 2011).

De esta manera, la noción de cantidad desde sus raíces ha poseído un matiz cuantificable y determinante al interior de la tradición de las ciencias de la naturaleza. Al postular un elemento limitador (unidad) y un elemento ilimitado (infinito: cantidad indeterminada), los números son producidos por la combinación de estos elementos. No es extraño que el Uno sea el primer principio del cuál se deriva la serie numérica de los pares, así como la de los impares tal y como Reale afirmó: “En efecto, los números consisten en una cantidad (indeterminada) que poco a poco se de-termina o de-limita: 2,3,4,5,6... hasta el infinito” (Reale y Antiseri, 2010: 48).

Habría que mencionar también que el desarrollo histórico de la noción de cantidad continuó con un matiz diferente al de número postulado por los Pitagóricos. Así, el mismo Aristóteles fue quien con sus nociones de unidad, cantidad y magnitud, distinguió conceptualmente el principio ontológico “Ser” como substancia y sus predicados como “modos de ser”; de ahí que, Aristóteles colocó la unidad como primer principio predicable del Ser y añadió que:

<<Ser uno>> consiste en <<ser principio de número>>. En efecto, la medida primera es principio, ya que lo primero mediante lo cual conocemos cada género es su medida primera. Conque la unidad es el principio de lo cognoscible en cada género. [...] En todos los casos, a su vez, la unidad es

lo indivisible en cantidad o en especie. (Aristóteles, Metafísica, V, 6, 1016b17-24, 2011)

A diferencia de los pitagóricos, Aristóteles negó el estatuto ontológico de primer principio a las nociones de cantidad y magnitud. Dado que estas, para él, se postulaban como modos predicables de cualidades del Ser, por ejemplo: la extensión, el movimiento y el tiempo. No es extraño que lo haya hecho así, ya que todas estas cualidades pertenecen al mundo de la experiencia, pero no exclusivamente a él. A su vez, los matemáticos se distinguían de los físicos por considerar su objeto de estudio con relación a la forma de los objetos materiales, mientras que, por otro lado, los físicos consideraban su objeto de estudio con relación a la materia que los componía. Esto no significa que existiera una negación, ya sea de la forma o de la materia, aunque no se limitaban a ello. Por el contrario, para la metodología de las ciencias de la naturaleza es necesario analizar los elementos constitutivos de cada área del conocimiento, para definir claramente la diversidad de fenómenos de estudio, ya sea formalmente o materialmente, así como Aristóteles, señaló:

Esto es también claro en las partes de las matemáticas más próximas a la física, como la óptica, la armónica y la astronomía, ya que se encuentran en relación inversa con la geometría, pues mientras la geometría estudia la línea física, pero en tanto que no es física, la óptica estudia la línea matemática, no en tanto que matemática, sino en tanto que física. (Aristóteles, Física, II, 2, 194a8-12, 2011)

De esta manera, los practicantes de las ciencias de la naturaleza alejandrinos tomaron lo mejor y más preciso de las nociones de los pitagóricos, así como de Aristóteles. De los pitagóricos conservaron la idea constitutiva del cosmos ordenado numéricamente; de Aristóteles conservaron el criterio de verdad de lo simple como los más preciso. Así, los practicantes de las ciencias de la naturaleza como Euclides y Apolonio de Perga se acercaron a los fenómenos con herramientas formales del pensamiento, como lo son los axiomas, postulados y teoremas, los cuales carecen de sentido teleológico; en su lugar, los practicantes plantearon axiomas como

verdades de hecho, indemostrables, evidentes en sí mismos, como primer nivel de justificación. Así, al respecto de los elementos de Euclides, Luis Vega comentó lo siguiente:

‘elemento’ en un sentido propio y restringido se reserva para designar un grupo selecto de asunciones y proposiciones: las que tienen el estatuto de principios dentro de una disciplina y constituyen la base de partida sobre la que se teje la trama deductiva de las demás proposiciones como un cuerpo más o menos sistemático de conocimientos. (Vega, 1991: 22)

Así, a diferencia de los axiomas, los postulados son los pilares que se apoyan en la auto-evidencia de los axiomas y hacen posible la construcción de teoremas; en otras palabras, los postulados son el campo de desarrollo principal del conocimiento racional. La aceptabilidad de ciertos postulados hace posible una cantidad n de teoremas como construcciones racionales, basados en la evidencia teórica deducida lógicamente o empírica, inducida de la experimentación. Ambas consecuencias son el resultado último de la ciencia de la naturaleza. Tal fue el caso de la geometría euclidiana, cuyas definiciones, nociones comunes y postulados dieron una coherencia estructural al gran compendio de teoremas de la geometría plana que impero hasta el siglo XIX cuando se encontró que el 5º postulado debía ser modificado o, en su defecto suprimido; tales modificaciones durante el siglo XIX hicieron posible la construcción de geometrías no-euclidianas como la elíptica o la hiperbólica, donde la proyección de figuras como el triángulo, pierden la propiedad de la suma de ángulos internos en 180° (cf. Reale et al., 2016: 330-332). Sin embargo, este ejemplo nos conduce a reconocer que la refutabilidad de un teorema no daña directamente el sistema sobre el que se ha fundamentado, sino que, implica una adecuación de este para salvar su funcionalidad.

Por otro lado, y de manera semejante a la tradición ateniense, la noción de realidad, herencia de los pitagóricos, fue un elemento constitutivo de la metodología de la tradición alejandrina. Esto es claro porque no se puede abandonar la noción de realidad, presente en áreas como la astronomía y la armónica. Más aún, la noción de realidad justifica la aplicación de modelos matemáticos abstractos a dichas áreas

del conocimiento; ya que si consideramos el caso en el que dicha noción fuera eliminada, sólo sería posible demostrar la consistencia de teoremas matemáticos en sentido lógico. Por ende, si las ciencias de la naturaleza pretendían demostrar algo, debían conservar una noción de realidad para que existiera coherencia entre la forma y la materia que constituyen la realidad.

Aún más, dicha noción de realidad posibilitó el modelado matemático de sistemas astronómicos como el de Eudoxo y el aristotélico de carácter geocéntrico o, el modelo astronómico heliocéntrico de Aristarco de Samos. Este último resulta interesante porque fue un intento novedoso para la explicación de los fenómenos celestes que habían quedado inexplicados y, por lo tanto, constituían anomalías en el modelo astronómico de Eudoxo. Las anomalías en este modelo astronómico eran el movimiento retrógrado de Venus y Mercurio. Por otro lado, Arquímedes dictó las siguientes palabras sobre el modelo heliocéntrico de Aristarco:

Pero Aristarco de Samos sacó un libro consistente en algunas hipótesis en donde las premisas conducen al resultado de que el Universo es muchas veces mayor que el ahora así llamado. Sus hipótesis son que las estrellas fijas y el Sol permanecen inmóviles, que la Tierra gira alrededor del Sol en el centro de la órbita, y que la esfera de las estrellas fijas, situada alrededor del mismo centro que el del Sol, es tan grande que el círculo en el que se supone que gira la Tierra guarda la misma proporción a la distancia de las estrellas fijas que la que el centro de la esfera guarda a su superficie. (Arquímedes, 1987: 3)

Todos estos astrónomos pretendían salvar los fenómenos observables de la retrogradación de los errantes (planetas) utilizando modelos esféricos y por lo tanto circulares. Recordemos que para el mundo antiguo lo más preciso es lo más simple y lo más simple es lo más perfecto. No es extraño entonces que, desde Eudoxo hasta Aristóteles, la cantidad de esferas, según sus respectivos modelos astronómicos, fuera en aumento, lo cuál da cuenta de una constante preocupación por la explicación del orden celeste. Aunque resulta igualmente evidente que la constante introducción de esferas contradice hipotéticamente la noción común de lo

más simple como lo más perfecto. Así esta pretensión por salvar los fenómenos del modelo geocéntrico representó una anomalía interna por el compromiso ontológico compartido por parte de los astrónomos con la esfera como sólido geométrico, cuyo movimiento circular uniforme se consideró como el más perfecto y por lo tanto, como el que es capaz de explicar los fenómenos aparentes de los errantes.

Si bien es cierto que este compromiso es muestra de la metodología compartida en la comunidad, también es cierto que excluye otras formas de explicación matemática que no necesariamente se comprometen con tales nociones comunes. Dicha ausencia de creencia puede estar basada en la cantidad de anomalías que surgen con dicha metodología o en la no-creencia en algún principio ontológico de realidad de la metodología. Esto se ejemplifica con la aceptación del modelo geocéntrico en detrimento del modelo heliocéntrico; en efecto, lo que determinó la justificación de un modelo sobre otro, fue el lugar natural de la Tierra, así como el marco ontológico constituido por las nociones de límite, finitud, determinación y consistencia. A esto debemos añadirle las hipótesis matemáticas del “epiciclo” y del “excéntrico”, que fueron las herramientas formales para salvar las anomalías del sistema geocéntrico para explicar el movimiento retrogrado de Venus y Mercurio, como parte de su justificación. La combinación de tales hipótesis realizada por Hiparco de Nicea resultó adecuada porque salvaguardó el modelo geocéntrico con toda su estructura ontológica natural, sobre el orden del universo.

Hiparco de Nicea, que floreció hacia mediados del siglo II a.C., brindó la explicación más convincente para la mentalidad de entonces, dando razón de los movimientos de los astros, basándose en estas hipótesis. Por ejemplo, la distancia variable entre el sol y la tierra, así como las estaciones, se explican fácilmente si se supone que el Sol gira de acuerdo con una órbita excéntrica respecto de la Tierra. Mediante una hábil combinación de ambas hipótesis, Hiparco logró dar cuenta de todos los fenómenos celestes. De este modo quedó a salvo el geocentrismo y, a la vez todos los fenómenos celestes parecieron recibir una explicación. (Reale y Antiseri, 2010: 263)

Lo cierto es que la noción de realidad en la tradición alejandrina permitió la justificación de la investigación en términos inductivos (fenómeno por fenómeno), así como la esquematización de aplicaciones prácticas de modelos matemático-mecánicos respecto al movimiento de palancas, poleas y ruedas. Todos estos instrumentos son creaciones humanas racionales y su uso se podía determinar mediante leyes. Estas leyes demostraban las formas limitadas de aplicación empírica de dichos instrumentos. Tal es el caso de Arquímedes, ingeniero de la antigüedad que consideró la mecánica como un método inductivo según el cuál se demostraba la validez de los teoremas matemáticos, aplicados empíricamente. La mecánica, para Arquímedes, no constituía un modelo de conocimiento por sí mismo, sino que fue considerado un método de comprobación, basado en la evidencia empírica que resultaba de la aplicación de aquello que se había considerado teóricamente correcto, en las investigaciones matemáticas.

De esta manera, las investigaciones de Arquímedes dan muestra de la integración de las aportaciones matemáticas de la comunidad alejandrina. Tal es el caso de la aplicación de los elementos de Euclides en el área de la geometría respecto a la esfera, el cilindro, los conoides y los esferoides. De igual manera, Arquímedes aprovechó el clima intelectual de su época para proponer la cantidad necesaria de granos de arena para colmar el universo. Esta proposición muestra un claro contraste entre la noción de cantidad y la de magnitud, presente en la tradición alejandrina, ya que la noción de cantidad posee una relación directa con la aritmética en sentido cuantificador determinante o delimitado, con un ejemplo evidente en los números naturales; mientras que la noción de magnitud posee sentido cualitativo al relacionarse con la geometría en el aspecto de la extensión, sin necesariamente tratarse de magnitudes determinadas o limitadas. Precisamente la diagonal del cuadrado sobre la que ya hemos hablado antes es un ejemplo de ello, dado que fue comprendido como una magnitud inconmensurable o indeterminada. Más aún, sobre los ejemplos mencionados, Aristóteles escribió:

Son también propias de una ciencia las cosas que <ésta> acepta como existentes y sobre las que estudia lo que se da en ellas en sí, v.g.: las unidades <respecto a> la aritmética, y <respecto a> la geometría, los puntos

y las líneas. En efecto, se acepta que estas cosas son y son precisamente esto. En cambio, qué significa cada una de sus afecciones en sí, se da por supuesto, v.g.: <respecto a> la aritmética, qué es lo impar o lo par o el cuadrado o el cubo, <respecto a> la geometría, qué es lo irracional o el estar quebrado o el inclinarse; en cuanto <al hecho de> que son, se demuestra a través de las cuestiones comunes y a partir de las cosas ya demostradas. (Aristóteles, Anal. seg. I, 10, 76b1-11, 2015)

Esto deja claro que, en algunos casos, es posible que la metodología de las ciencias de la naturaleza ponderé un sentido cuantificador o cualitativo, en función de sus objetivos, lo cuál no niega su cientificidad. Así, frente al criterio de verdad ateniense, el alejandrino no apelaba a la autoridad y no recurría a la lógica silogística discursiva para fundamentar sus modelos matemáticos; en su lugar, se ponderó la precisión matemática como criterio de verdad para juzgar la consistencia de las demostraciones tanto geométricas como aritméticas; de ahí que, la demostración funge como núcleo del potencial científico de las ciencias de la naturaleza que justifica la validez del conocimiento que producen, tal y como Aristóteles apuntó:

Es manifiesto que, si falta algún sentido, es necesario que falte también alguna ciencia, que <será> imposible adquirir. Puesto que aprendemos por comprobación o por demostración, y la demostración <parte> de las cuestiones universales, y la comprobación, de las particulares, pero es imposible contemplar los universales si no es a través de la comprobación (puesto que, incluso la cosas que se dicen procedentes de la abstracción, <solo> será posible hacerlas cognoscibles mediante la comprobación de que en cada género se dan algunas y, si no existen separadas, <mediante la comprobación de> cada una en cuanto precisamente tal), ahora bien, es imposible comprobar sin tener la sensación. En efecto, la sensación lo es de los singulares: pues no cabe adquirir <directamente> ciencia de ellos; ni <cabe adquirirla> a partir de los universales sin comprobación, ni a través de la comprobación sin sensación. (Aristóteles, Anal. seg. I, 18, 81a38-81b9.)

En contraste con lo anterior, el legado alejandrino se continuó desarrollando y acumuló presencia por medio del control teórico-práctico sobre los fenómenos observables que la filosofía natural dejaba de explicar. Así fue como encontró su lugar en la universidad dentro de la facultad de artes como parte del *quadrivium*. Parece un movimiento natural, el que la sociedad echara mano de las ciencias, específicamente de las físicas, como una medida de control sobre la naturaleza, en función de sus necesidades de anticipación de la posible eventualidad que tomaría el clima por ejemplo, o respecto la optimización en el rendimiento de maquinas y la posibilidad de hacer más eficiente el campo. Claro que las ciencias físicas, como medida de control, basada en la experimentación ofrece datos sobre fenómenos observacionales con un grado de certeza mayor que la tradicional filosofía natural especulativa o frente a la ciencia matemática de gran nivel de abstracción con fundamentos hipotético-deductivos o conjeturas. En todo caso, los beneficios obtenidos de sus aplicaciones empíricas mediante la mecánica, la óptica y la música resultaban evidentes para la sociedad en general. El ejemplo más claro de la aplicación matemático-mecánica de manipulación natural estaría en los inventos de Arquímedes (cf. Reale y Antiseri, 2010: 259).

De lo anterior derivó la existencia de una brecha social entre científicos matemáticos y filósofos naturales que dotaba de autoridad a la filosofía natural, por condiciones político-religiosas, dado que hemos de recordar que a pesar de que la universidad había estimulado un ambiente intelectual general, la jerarquía y la finalidad de la división de las facultades era clara: la razón debe estar al servicio de la fe y de entre la filosofía natural y las ciencias naturales, la primera resulta ser útil como primera línea de defensa de la fe. De ahí que no resulta extraño el lugar privilegiado que poseyó la filosofía natural en el seno de la universidad y con un sistema político-religioso que le favorecía en tanto que justificara su modo de ser, tal y como Cohen señaló:

Any educated person could take part in philosophical debate, whereas to contribute to Alexandrian mathematical science required highly specialised skills. Philosophers in the Athenian mode filled an obvious social role in helping people make sense of the world at large; Alexandrian science could

survive only for as long as the one powerful court that held a sustained interest in its doings persisted in its interest—which in antiquity was true only of the Hellenistic kings of Egypt, for reasons at which we can only guess. (Cohen, 2005: 13)

En este sentido, Galileo y Kepler fueron herederos de hombres importantes como Pitágoras, Euclides y Arquímedes porque actualizaron el realismo matemático de la mano de la astronomía; más aún este realismo esta presente en el modelado matemático del universo, pero no en sentido heurístico, como en el caso de Hiparco de Nicea, al introducir las hipótesis del excéntrico y de los epiciclos para salvar el modelo geocéntrico que llego a consolidarse con Ptolomeo y su *Almagesto*; sino que verdaderamente supuso una fuerte crítica que cuestionó la vigencia del modelo geocéntrico. Dicha crítica fue realizada por Copérnico con el postulado de un modelo astronómico que fue nutrido siguiendo las hipótesis heliocéntricas de Aristarco de Samos. La adición del modelo experimental práctico y la recopilación de datos observacionales hizo de la matemática un modelo explicativo más potente. Así, el modelo del realismo matemático fue cobrando notoriedad por la explicación de fenómenos naturales mediante la demostración; dicho modelo es un sistema argumentativo formal y por lo tanto científico, aplicado por ejemplo a los fenómenos celestes. En efecto, el realismo surgió de la estructura explicativa causal que tiende conexiones con observaciones empíricas. En este contexto, las hipótesis surgieron como herramientas heurísticas que permitieron postular consecuencias teóricas susceptibles de comprobación empírica. El resultado de la cooperación fue un modelo constitutivo y demostrativo del universo que no dejaba ningún fenómeno por explicar, es decir, real.

In short, Kepler mathematised nature in the sense that a subject previously treated mathematically in a fictional way was now turned real ('physical') for the first time, whereas Galileo mathematised nature in the sense that a subject previously treated in realist ('physical', i.e. natural-philosophical) fashion was now being treated mathematically for the first time. (Cohen, 2005: 21)

Más aún, Galileo y Kepler desarrollaron una nueva faceta de la metodología de las matemáticas con la aplicación de modelos experimentales basados en conjeturas (cf. Cohen, 2005: 9). Lo novedoso con Kepler fue el modelado geométrico-físico del sistema solar, basado en conjeturas respecto a una forma tradicional (alejandrina) de investigación científica. Él realizó una combinación de teoría y práctica con nociones antiguas como la armonía, y un criterio de verdad moderno (la precisión matemática). Precisamente, esto derivó en las leyes del movimiento elíptico del modelo heliocéntrico, el cual prevaleció sobre el sistema heliocéntrico-circular copernicano al revolucionar la forma de explicar fenómenos a pesar de que ello conlleve a la negación de la tradición. De ahí que, ya no se trataba de salvar fenómenos, sino de explicarlos. Por otro lado, con Galileo podemos observar una forma novedosa de aplicar los modelos explicativos con precisión matemática. Basado en los experimentos, ya sea físicos o mentales, Galileo se sirvió de ellos para corroborar la certeza de la teoría; de esta manera, el criterio de verdad fue transformado vía inductiva por los experimentos mentales y físicos de Galileo que permitieron un acercamiento entre los modelos matemáticos (ideales o formales) y los fenómenos empíricos (percepciones o sensibles).

Sin embargo, el conocimiento de la naturaleza comenzó a virar hacia una metodología basada en la idea de causalidad. Ésta comenzó a investigar según las formas del pensamiento o leyes, que justificaran conclusiones basadas en evidencia teórica o empírica verificable, de tal manera que el conocimiento producido, posea certeza al ser corroborado. Esto fue posible gracias a la acumulación de estímulos que consolidaron la práctica de la nueva metodología matemático-realista de las ciencias de la naturaleza. De igual manera, cabe mencionar que la recopilación de datos observacionales comenzó a tomar notoriedad como forma de evidencia para las ciencias de la naturaleza, tal y como Cohen apuntó:

These possible stimuli are: Tycho's data; the tradition in practical mathematics Galileo encountered in Padua; the uniquely wide, both intellectual and social chasm obtaining in Europe between the mathematical scientist and the philosopher; Copernicus' peculiar brand of cosmological realism; Kepler's personal vision of 'the astronomer as a priest of God to the

book of nature', and, finally, Jesuit promotion of 'mixed mathematics' within an Aristotelian frame. (Cohen, 2005: 23)

La noción que debemos analizar para tener clara la revolución científica que, siguiendo a Cohen, encontró en Newton el punto culminante basado en la noción de realidades verdaderamente conclusivas o explicaciones justificadas; de ahí que, en el contexto del siglo XVII se inició un proceso ilimitado de debates en torno a la diversidad de formas de conocimiento natural, sea filosofía natural, empirismo o realismo matemático. Dichas metodologías fueron ajustadas en función de los objetos de estudio que ponderaron en cada dominio de la ciencia. De ahí que, el elemento metodológico de la discriminación de objetos de estudio cobrara especial interés en los siglos posteriores dentro de las áreas de la biología, la química, la física, y la matemática, así como con áreas científicas mezcladas como las ciencias de la tierra y la medicina.

In the compass of less than a century humanity had moved from its customary pursuit of nature-knowledge in a variety of ways jointly bound to evoke unending, inherently irresolvable dispute, toward ways and means to make one's assertions about nature's realities truly conclusive. That particular move has since proven to be right at the heart of the making of our modern world. If it does not deserve the epithet 'revolutionary', then nothing in history does. (Cohen, 2005: 32)

En este sentido, los elementos cruciales para comprender la evolución de las ciencias de la naturaleza posteriores al siglo XVII que deben ser mencionados son: la crítica a la forma silogística de argumentación; la forma de explicación causal físico-matemática causal; el antecedente realista, así como la investigación empirista que primó en la tradición inglesa y la crítica a la metodología de las ciencias, por parte de Descartes y Bacon basados en la doctrina del movimiento corpuscular.

Todo lo anterior muestra la diversidad de elementos involucrados en la configuración y recuperación de las tradiciones de investigación filosófica-científica, en aras de establecer un sistema operable en términos universales y/o particulares.

De ahí que, es importante destacar que no es posible fijar un límite objetivamente válido a dichas metodologías, ya que por momentos primaron elementos que, desde una concepción de “rigurosidad” posterior a ellas, no les competen. Precisamente, lo que aquí interesa destacar es el desarrollo dinámico, fluctuante y, por momentos, entrelazado, de ambas tradiciones. Asimismo, para los fines del presente trabajo, lo que importa es la manera en cómo se desarrollaron las comunidades de investigación filosófica-científica y en qué marco metodológico, ontológico y conceptual operaron sus respectivos proyectos sin dejar de lado, claro está, su contexto.

Apartado 1.2. La revolución científica y consecuencias

La revolución científica fue emprendida por filósofos y científicos como Copérnico, Galileo, Kepler, Descartes y Bacon, la cual tuvo un gran impacto en el surgimiento y constitución de las ciencias naturales modernas. Ellos desarrollaron y aportaron distintas metodologías científicas a raíz de las críticas realizadas al método de la antigüedad, aunado a lo cual llevaron a cabo grandes aportaciones a los contenidos de las ciencias naturales.

Precisamente, una de las principales consecuencias de la revolución científica durante el siglo XVII fue el surgimiento de nuevas áreas del conocimiento de la naturaleza como, por ejemplo, la mecánica, la química y la física. Esto sucedió gracias a la aplicación de modelos matemáticos a fenómenos naturales y la coincidencia del nuevo conocimiento geográfico del mundo como base de una mayor disposición de fenómenos observacionales (cf. Granada, 2011: XII). Esto, a su vez, permitió un giro epistemológico de nociones cualitativas a nociones cuantitativas por parte de los practicantes de las ciencias de la naturaleza. Pese a los intentos de los filósofos naturales por defender las cualidades comprensivas de

los fenómenos, fueron ellos mismos quienes allanaron una crítica al criterio de verdad de la antigüedad para justificar la explicación causal de los fenómenos que percibían.

Ahora bien, las principales críticas a la lógica aristotélica fueron realizadas por Bacon y Descartes, quienes, partiendo de un mismo punto, fundamentaron dos corrientes distintas de investigación científica, a saber, el empirismo y el racionalismo. Para ambos pensadores, el criterio de verdad de la antigüedad, basado en la lógica aristotélica, no aseguraba conocimiento alguno. Su argumento partió de la imposibilidad de demostrar la producción de conocimiento nuevo basado en la lógica aristotélica, puesto que ésta siempre parte de una premisa mayor universal y afirmativa que se justifica por un proceso de acumulación de experiencia (cf. Frondizi, 2014: 18). Así, la crítica fue en el sentido de que proposiciones del tipo “Todo hombre es mortal” o “Todo objeto tiende a su lugar natural” no ofrecían argumentos respecto a las causas que las justificaban como conocimiento, sino que, a lo sumo, daban cuenta de hechos particulares que eran evidentes y conocidos, como por ejemplo el hecho de que “Sócrates es mortal” o que “la flecha tiende a su lugar natural”. La importancia de tales críticas fue que desembocaron en el desarrollo de dos métodos que, desde el punto de vista de Descartes y Bacon, sí aseguran el surgimiento de nuevos conocimientos, tal y como lo refirió Frondizi:

Hubo que esperar, sin embargo, hasta principios del siglo XVII, para que las dos grandes contribuciones a la metodología científica y filosófica vieran la luz. Francis Bacon publica en 1620 su *Novum Organum*; el *Discurso del método* aparece en 1637. Ambos filósofos insistieron, una y otra vez, en la importancia que tiene el método para el descubrimiento de la verdad, y coincidieron en señalar que la escasez de conocimientos auténticos logrados por la humanidad en tantos siglos de búsqueda se debía, principalmente, a la falta de un método seguro. (Frondizi, 2014: 42)

El establecimiento de semejante estructura metodológica de las disciplinas científicas fue, de hecho, una de las principales consecuencias de la revolución científica del siglo XVII. Así, sobre la base de un criterio de verdad, basado en la

evidencia empírica y en la consistencia lógico-matemática se consideró viable postular una sola estructura metodológica científica para todos los fenómenos posibles; de ahí que, la diversidad de disciplinas científicas se trató desde el punto de vista del objeto de estudio, la cual buscó dar cuenta de fenómenos tan diversos como por ejemplo, el movimiento de los objetos físicos, el orden de los orbes celestes o la estructura orgánica de los cuerpos vivos.

Precisamente, una parte del proyecto de Bacon estuvo enfocado en un cambio sustancial en los practicantes de la filosofía natural con el objetivo de llegar a lo que él consideró un verdadero conocimiento de la naturaleza.⁴ Para él, toda nueva metodología propuesta debía dejar de estar anclada a una vida contemplativa para virar hacia la vida práctica de la cotidianidad. De ahí la necesidad de desarrollar un adiestramiento que resultó novedoso respecto a la finalidad de la investigación de la naturaleza, misma que, para Bacon, debía ser útil para la humanidad. En ello se fundó la legitimidad del dominio de la naturaleza por parte de los seres humanos, así como una cierta idea de conocimiento que Bacon apuntó: “La ciencia y el poder humanos vienen a ser lo mismo, porque el ignorar la causa nos priva del efecto” (Bacon, 2011: 57). La insistente crítica de Bacon hacia la actividad puramente especulativa de los filósofos naturales se basó en que, desde su punto de vista, las especulaciones de éstos terminaban por ser una actividad improductiva en la medida en que no ejercen ningún dominio sobre la materia tangible:

The choice, in the first instance, is between the active or practical life and the contemplative life, where philosophers had traditionally fallen in the latter category. [...] Promoted through the rhetorical unity of *honestas* and *utilitas*, Bacon presents philosophy as something good and useful, and thus as intrinsic to the active life. (Gaukroger, 2005: 137)

⁴ Bacon escribió al respecto: “Los pasos han de ser guiados por un hilo conductor y todo el itinerario, desde las primeras percepciones de los sentidos, debe ser abierto con un procedimiento seguro. (...) Para que sea posible arribar a ámbitos más remotos y ocultos de la naturaleza se requiere necesariamente que se introduzca un uso mejor y más perfecto de la mente y del entendimiento humanos” (Bacon, 2011: 18-19).

Por lo tanto, La aplicación de la metodología de Bacon conllevó dejar de lado la justificación de la verdad de estados perceptibles de cosas como una categoría ontológica subyacente a las cosas mismas. Como consecuencia, la filosofía natural se confrontó con una creciente exigencia en la resolución de problemas prácticos dado que, como se mencionó, debía estar anclada a la realidad inmediata de las cosas y ser útil. Fue así como surgió una metodología inductiva de la experimentación y, con ella, un esquema, en principio, universalmente válido pero externo a la empresa filosófica, que a su vez limitó su práctica a los miembros de la comunidad científica que habían recibido por medio de la enseñanza, la disciplina de un método que pretendió ser útil en función de su constante acumulación de información, tal y como señaló Gaukroger:

The aim of the exercise is [...] the discovery of relevant, informative truth, where the criteria of relevance and informativeness derive from the ability of that truth to take us beyond our present state of engagement with natural processes to one in which our degree of control over those processes is increased. (Gaukroger, 2005: 148)

En este marco, el criterio que justificó la utilidad de la información fue aquel que permitió al sujeto pasar de un estado teórico menos actualizado a uno más actualizado por medio de una crítica objetiva basada en evidencia. Evidencia que, cabe mencionar, no entrañaba meramente una acumulación de observaciones y experimentos sino, a la vez, el uso de instrumentos para una mayor amplitud en el rango de información asequible por parte de los practicantes de la filosofía natural. Sin lo uno o lo otro, el desarrollo de la ciencia que tuvo lugar entonces no habría sido posible. Así, el compendio de observaciones efectuado por Tycho Brahe, mismas que fueron empleadas posteriormente por Kepler para fundamentar un sistema heliocéntrico basado en elipses y no en círculos como el copernicano, es un claro ejemplo de tal proceso (cf. Reale y Antiseri, 2016: 219).

Sin embargo, para sustentar las conclusiones presentadas por tales practicantes de la filosofía natural no sólo era necesario contar con la evidencia necesaria sino, además, plantear hipótesis y demostraciones consistentes, como señaló Peter

Anstey: "The notions of hypothesis, probability, induction, laws of nature, testimony, experimental replication and so on, were all being discussed and incorporated into accounts of natural philosophical method" (Anstey, 2005: 220). La propia historia de la astronomía, desde la teoría geocéntrica ptolemaica hasta la teoría heliocéntrica kepleriana, es ejemplo de ello.

Aunado a lo anterior, la novedad de la reforma metodológica propuesta por Bacon radicó en la idea de un conocimiento basado en la especialización conforme a la diversidad de áreas del conocimiento natural. Una especialización que implicó una suerte de adiestramiento, en contra de la tradición ateniense y su ideal de la participación común del conocimiento; aún más, dicha especialización demandaba que la mente se tornase objeto de sí misma para llevar a cabo una purga de las pasiones/emociones que garantizara que los juicios emitidos no fueran infectados por los estados anímicos de los practicantes.

Como Bacon observó, el mayor problema en dicha práctica era la existencia de juicios erróneos entremezclados con estados afectivos. Como consecuencia, se llegaba a conclusiones erróneas, ante lo cual Bacon postuló el desapego de los objetos y el dominio de las pasiones/emociones como elementos normativos fundamentales del adiestramiento del empirismo:

Mastery of the passions was, in one form or another, not only a theme in philosophy but a distinctive feature of the philosophical *persona* from Socrates onwards, and Renaissance and early modern philosophers pursue the theme of self-control with no less vigour than had the philosophers of antiquity. This is the model around which Bacon wishes to shape his new practitioner of natural philosophy. (Gaukroger, 2005: 137)

Así, además de postular una reforma metodológica de la ciencia moderna, Bacon introdujo una clausula normativa, a manera de ley moral, que comprendía un compromiso por parte de los practicantes de la filosofía natural con la humanidad: la filosofía natural debía ser útil y estar anclada a la vida práctica. Por ello, desde su punto de vista, los practicantes de la filosofía natural debían ser adiestrados por un método "empírico", esto es, uno que ponderara la experimentación, la observación

y la instrumentalización. Frente a la creencia en primeros principios como causas subyacentes a los estados de cosas perceptibles o fenómenos naturales, dicho método buscaba tener las condiciones materiales y formales necesarias para la producción de conocimiento nuevo de la naturaleza basado en un marco conceptual que enfatizaba la condición de la manipulación experimental e instrumental del conocimiento.

En contraste, la metodología de Descartes impulsó un clima ideológico basado en la creencia en una estructura ontológica del universo, misma que cabía justificar por medio de leyes mecánicas aplicables tanto a fenómenos macroscópicos como a aquellos a la mano, en la inmediatez de la vida cotidiana de los seres humanos. Al respecto, Hattab apuntó lo siguiente

Concluding his account of the purely material properties of the universe in Part IV of the *Principia Philosophiae* René Descartes writes, 'Indeed up to this point I have described this earth and, what is more, the whole observable universe, like [instar] a machine, considering nothing except the shapes and motions in it'. Descartes justifies this approach, claiming that it is much better to take what we perceive to happen in large bodies as a model for what occurs in imperceptible small bodies, than to invent 'extraordinary things which I am unable to know, having no resemblance to those which are sensed'. (Hattab, 2005: 99)

Un punto fundamental de la metodología de Descartes fue su inversión del modelo antiguo del conocimiento, pues propuso como forma válida de conocimiento un ejercicio deductivo de la razón (cf. Frondizi, 2014: 62-63). Así, para Descartes, aquel método debía partir de aquellas cosas que eran perceptibles en sus dimensiones macroscópicas o, dicho de otra manera, a simple vista. No es extraño, por ende, que Descartes retomara los avances astronómicos realizados por Galileo, aunque en un sentido inverso respecto a las fuerzas de atracción y repulsión en el modelado del universo como explicación de la mecánica celeste (cf. Descartes, 1989: 99). En cambio, lo interesante es que la mecánica, según Descartes, permite vincular las

entidades macroscópicas y aquellas que no son perceptibles a simple vista pero que se especulan como necesarias.

En efecto, dado que la mecánica explicó matemáticamente –o racionalmente– el movimiento de las máquinas, la mecanización de fenómenos observables se planteó como un modelo válido y efectivo de las ciencias de la naturaleza para producir conocimiento. Debido a ello, surgió entonces la necesidad de fundamentar la mecánica como ciencia de la naturaleza que podía probar empírica y teóricamente hipótesis novedosas. Empero, como apuntó Helen Hattab:

[...] the legitimation of mechanics as a science is in itself not sufficient to account for the incursion of its explanations of artificial devices into the realm of the natural. As a mixed mathematical science, mechanics could quite plausibly have been kept subordinate to and separate from physics—after all, it was the science of machines not of nature. (Hattab, 2005: 101)

En efecto, estrictamente hablando, la mecánica no pertenecería a la ciencia matemática ni a la filosofía natural porque su finalidad no era obtener conocimiento, sino producir cosas y efectos útiles para los artesanos, ingenieros y comerciantes. De ahí que semejante fundamentación de la mecánica como una ciencia físico-matemática resulte de particular interés, dado que surgió de la revolución científica y continuo presente en el desarrollo y en la consolidación de las ciencias naturales como disciplinas autónomas. Después de todo, ello planteaba el problema sobre los límites disciplinares entre la matemática y la filosofía natural, cuyas respectivas metodologías buscaban explicar el movimiento de fenómenos naturales bajo una misma estructura científica y de manera tanto comprensiva (cualidades) como demostrativa (cantidades).

Así, Descartes buscó fundamentar la mecánica en principios claros y distintos, y en la medida en que el conocimiento de la física de la filosofía natural tradicionalmente había sido concebido como lo más claro y cognoscible para el ser humano (por explicaciones simples de corte comprensivo), se asumió que debía existir una semejanza entre los principios de la física y los de la mecánica basados en el principio de simplicidad. De hecho, fue la modificación del criterio de verdad lo que

permitió a Descartes justificar la explicación de fenómenos naturales mecánicamente sobre principios claros y distintos compartidos por los principios metodológicos comprensivos y demostrativos de la física y la matemática, respectivamente.

Justamente, la explicación demostrativa matemática fue la que permitió vincular la teoría, la experimentación y la realidad, haciendo posible en este caso la aplicación de leyes mecánicas a la naturaleza. De ahí, además, la justificación del vínculo entre las leyes que gobiernan el movimiento de los instrumentos humanos y las leyes del universo. Más aún, en ello radicó la certeza de la funcionalidad de tales leyes: las leyes mecánicas humanas daban cuenta de las leyes mecánicas del universo a partir de los fenómenos empíricos demostrados mecánicamente. Esto fue posible porque la forma y la materia del movimiento de los fenómenos se basó en la idea del mundo como *res extensa* (cf. Turró, 1989: 23-24). De ahí que, Turró señaló lo siguiente:

En otros términos, la construcción metafísica de la realidad como partículas materiales de trayectoria geométrica es la *estructura ontológica* que abre el ámbito de la investigación empírica y exige, a la vez, el carácter *more mathematico* de las hipótesis, pero en nada determina materialmente cuáles deban ser estas hipótesis o por qué unas y no otras. (Turró, 1989: 31)

En este sentido, la física mecanicista resultó así capaz de justificar la causa material del movimiento y la forma cognitiva de explicación matemática demostrativa al establecer las relaciones de causalidad en términos de proporciones geométricas. Tal fue el caso de los vórtices y conos que Descartes utilizó para demostrar el movimiento de un objeto en los remolinos de agua en analogía con el orden celeste; más aún, la teoría de los vórtices negó la idea del vacío y la existencia de la gravedad como cualidad real, siendo el fenómeno aparente de la caída de los graves producto de las fuerzas centrifugas del movimiento de la materia que llena los cielos, en oposición al movimiento natural del objeto a alejarse de su centro de rotación (cf. Descartes, 173: 1989). Sobre ello, Salvio Turró comentó lo siguiente: “Dado que la totalidad del firmamento está lleno de materia, ésta compensa las

fuerzas centrífugas anteriormente señaladas y las oprime hacia sus respectivos centros provocando la llamada gravedad” (Turró, 1989: 179).

Con la forma de explicación mecanicista, por lo tanto, Descartes estableció un principio metodológico novedoso para que el método físico-matemático estuviera en condiciones de descubrir nuevos conocimientos. El método explicativo pasó entonces a adecuarse al fenómeno que pretendía explicar, tal y como lo resume Hattab: “What seems to justify the use of mechanistic explanations in physics for him is that mechanics, as the explanation of machines, derives from and makes use of the very same principles as physics” (Hattab, 2005: 104).

Ahora bien, más allá del surgimiento de algunos problemas epistemológicos, como el de los límites disciplinares de las áreas del conocimiento antes abordado, lo cierto es que Descartes aportó elementos fundamentales comunes a todas las ciencias naturales, por ejemplo, aportó un novedoso criterio de verdad que, desde el punto de vista de Turró, establece la claridad y la distinción como elementos de la validez objetiva para la legitimación del conocimiento científico.

Según hemos desarrollado, resulta que el concepto cartesiano de ciencia de la naturaleza se compone de dos niveles heterogéneos: por un lado, el de la fundamentación de sus principios (metafísicos y cinemáticos) que opera por deducción (...); por otro lado, el de explicación de los fenómenos particulares que opera por formulación de hipótesis experimentales verificables y, *a fortiori*, también falsables como el propio Descartes concede. (Turró, 1989: 30)

Este criterio de verdad cartesiano tiene dos momentos clave. El primero parte de la división del fenómeno en partes individuales más simples mediante un análisis de aquel, aportando claridad respecto a dichas partes y estableciendo así, el primer elemento del criterio de verdad. El segundo momento, parte con la síntesis y reconstrucción de las causas del fenómeno, yendo de la claridad de sus elementos simples a la distinción de la naturaleza de las partes elementales ya analizadas. De acuerdo con Descartes, sólo tras dicho proceso se podía estar en condiciones de realizar juicios deductivos con la certeza de la claridad y la distinción como base del

criterio de verdad de tales juicios. Juicios que, cabe resaltar, debían ser entendidos como hipótesis válidas susceptibles de confirmación con base en evidencia empírica o teórica, como en el caso del fenómeno de la gravedad antes mencionado.

Aún más, la adecuación del método a los fenómenos entrañaba el abandono de la práctica de la antigüedad conforme a la cual se buscaba salvar fenómenos con la introducción de hipótesis *ad hoc*. Ello al menos en la fundamentación a nivel metafísico que partía, según Descartes, de la *res cogitans* para evitar la invalidación de los sistemas explicativos vigentes, dado que las hipótesis *ad hoc* a nivel epistemológico se rigen en función de su comprobación, como antes se explicó.

The rhetorical advantage of appropriating mechanical explanations of such mundane things is clear because, as we have seen, mechanics had by this time obtained the reputation of combining the clarity and certainty of mathematical demonstration, which only dealt with abstractions, and physics, which explained the motions of existing material substances. (Hattab, 2005: 117)

A diferencia de Bacon, por lo tanto, Descartes sí aceptó la existencia de estructuras subyacentes a los estados de cosas perceptibles basándose en el isomorfismo presente en la relación del movimiento de los cuerpos celestes y el movimiento de los cuerpos terrestres, puesto que ambos son susceptibles de ser explicados causalmente mediante la mecánica. Así, ésta fue reconocida como una ciencia mixta objetivamente válida que tomó el criterio de verdad de la demostración matemática y los fenómenos de la física o ciencia de la naturaleza del movimiento.

Como todo lo anterior muestra, ambos pensadores realizaron aportes significativos a la fundamentación de las ciencias naturales, de tal manera que para finales del siglo XVII ya se había concebido una metodología y un criterio de verdad plenamente modernos. Esto derivó en el reconocimiento del fundamento de la mecánica como ciencia al establecer una pregunta básica, a saber, ¿cuál es la naturaleza del movimiento de los cuerpos físicos y cómo explicarlos geoméricamente?

Con base en lo anterior, la mecánica se consolidó como ciencia gracias a la tarea de fundamentación emprendida por Arquímedes, Copérnico, seguida por Kepler y Descartes, hasta llegar a la sistematización realizada por Newton. Gracias a su capacidad de descubrir conocimiento con un criterio de verdad abierto y condicionado a fenómenos particulares, la mecánica fue capaz de formar modelos explicativos universales e isomorfos entre el mundo macroscópico y el mundo microscópico. Sin embargo, lo novedoso de la mecánica fue que puso en duda los límites metodológicos entre la filosofía natural y las matemáticas al no abandonar la explicación comprensiva en su totalidad porque se propuso ofrecer una explicación demostrativa que partía lo más claro y cognoscible para nosotros, hacia lo más claro y cognoscible por naturaleza, tal y como señaló Hattab:

In fact, given the reclassification of mechanics and the gradual erasing of the line between physical explanations of natural phenomena and geometrical explanations of machines found in Renaissance commentaries on the *Quaestiones Mechanicae*, Descartes' absorption of mechanics into physics and his extension of mechanical forms of explanation to the unobservable causes of natural phenomena appears less like a rupture from the Aristotelian tradition in mechanics and more like an offshoot that ultimately supplanted the parent tree. (Hattab, 2005:127)

De esta manera, surgió una forma de explicación de la naturaleza que ya no es plenamente comprensiva, como lo había sido la filosofía natural o la física antigua; sino una forma en la cuál, insisto, tomó fuerza la demostración explicativa haciendo uso de las matemáticas para justificar las causas de los estados de cosas susceptibles de percepción; aunado a la recopilación de datos, el surgimiento de un sistema disciplinar metodológico de experimentación y el establecimiento de las condiciones formales y materiales para el surgimiento de nuevas disciplinas científicas contribuyen a comprender la magnitud de la revolución científica. Dichas condiciones fueron aprovechadas por científicos como Galileo, Kepler y, posteriormente, Newton que observaron en las matemáticas, la vía más segura para

fundamentar el conocimiento de la naturaleza, a pesar del sentido instrumental de éstas. No obstante, cabe señalar que la consolidación y fundamentación de las matemáticas como una disciplina científica autónoma en estricto sentido, llegaría hasta el siglo XIX.

Ahora bien, la mecánica fue un punto de partida para toda la ciencia moderna al incluir en su metodología la parte empírica de las observaciones, la recopilación de datos y la experimentación, así como la teorización respecto al movimiento de las máquinas con modelos geométricos. Esto derivó en la aplicación técnica de la ciencia con base en su utilidad y su realidad. Precisamente, el realismo matemático presente en la mecánica fue la parte teórica más importante de la revolución científica, ya que pretendía recuperar el carácter constitutivo del orden matemático del universo y no solamente su carácter instrumental. Copérnico, Tycho Brahe, Kepler, Galileo, Descartes y Newton fueron precisamente los grandes recuperadores de esta tradición, como indicó Cohen:

The mathematical, broadly 'Alexandrian' portion of the Greek legacy, after undergoing several centuries of reception and enrichment in Islamic civilization and then in Renaissance Europe, was turned, by Galileo and Kepler alone, into the beginnings of an on going process of mathematisation of nature, a process that was sustained and articulated through experimentation. (Cohen, 2005: 9)

Así, el compendio de todos los casos anteriores muestra los elementos que constituyen una imagen general de la ciencia moderna, a saber, teorización, observación, experimentación, evidencia, representación matemática, instrumentos, confrontación y comunicabilidad. En cualquier caso, la astronomía fue la principal área de las ciencias de la naturaleza en verse envuelta en los debates por la nueva metodología científica; esto conllevó a la astronomía a confrontar la teoría del geocentrismo como representante y fundamento de la tradición científica antigua y la nueva teoría astronómica copernicana. A su vez, Copérnico fue el primer astrónomo moderno en aceptar y postular el heliocentrismo como modelo

geométrico constitutivo del orden natural del universo⁵; ello inauguró el debate por la teoría fundamental de la astronomía moderna. Al desplazar a la Tierra hacia la periferia e introducir el sol en el centro del universo, Copérnico también desplazó el orden antropológico de la totalidad del universo. Además, incluyó descripciones demostradas matemáticamente para el movimiento natural de los orbes celestes. En este caso, recuperó el realismo de las matemáticas como orden constitutivo del universo; sin embargo, Copérnico sólo estableció las bases del realismo matemático sin desarrollarlo completamente, como comenta Cohen: “It is more enlightening by far to regard Copernicus as Ptolemy’s last and greatest heir, who throughout books II–VI of *De revolutionibus* carried the hoary art of ‘saving the phenomena’ to new heights by means of his heliocentric, Aristarchus-inspired hypothesis” (Cohen, 2005: 24).

De igual manera, es importante mencionar que el período de la revolución científica fue un período de instrumentalización muy importante para la consolidación de la ciencia moderna. En el caso de la teoría astronómica de Galileo, fundamenta a partir de la copernicana, debemos mencionar que no hubiera sido posible sin el uso del telescopio y la idea de la “amplificación de los sentidos” (cf. Galileo, 2010: 48). Para el caso de Kepler, cabe mencionar que uno de los antecedentes fundamentales para el desarrollo y consolidación de su astronomía fueron las observaciones compiladas por Tycho Brahe, quien, a su vez, estuvo bajo la protección y patrocinio del rey Federico II de Dinamarca, el cual le concedió todas las condiciones materiales para el desarrollo de la astronomía: una isla, un observatorio, ayudantes y honorarios fijos. Gracias a esto, Tycho Brahe introdujo la tradición de la observación mediante instrumentos que aportaban un conjunto de datos precisos sobre el posicionamiento de estrellas fijas y el movimiento de lo planetas que evitaban una serie de problemas de la antigüedad por observaciones poco precisas (cf. Reale y Antiseri, 2010: 207). De esta manera, la teoría heliocéntrica de Kepler

⁵ Véase el “Prefacio de Nicolás Copérnico a los libros Sobre Las Revoluciones” para una idea general del contexto en el cual que surgió su teoría, específicamente la nota 4 donde se muestran los tres juicios peyorativos sobre las hipótesis de Copérnico (cf. Copérnico, 2009: 9-21).

debe mucho a los instrumentos de los que dispuso en su estancia en Praga por parte del patrocinio que gozó.

De igual manera, el surgimiento de las ciencias modernas debe mucho al patrocinio y mecenazgo por parte de los hombres de la corte. Tal es el caso del patrocinio de Tycho Brahe y de Kepler, así como de otras figuras importantes como el propio Galileo quien también tomó parte de esta forma de financiamiento para sus investigaciones.

The spectacular development which finally projected Galileo into the public arena, and quickly secured him the patronage of the Grand Duke of Tuscany, came in 1609, with his discovery of four satellites of Jupiter. Sidereus Nuncius catapulted Galileo to fame. (Graukroger, 2005: 142)

En el caso del patrocinio, las disputas de los filósofos patrocinados consistieron en argumentos, metodologías y evidencia que podrían o no ser completamente distintas unas de otras, lo que resultó en un ejercicio de confrontación con un vencedor y un vencido naturalmente.⁶ En todo caso, estaba en juego la fundamentación y sistematicidad de las tesis propuestas; este fue el debate entre hombres de ciencia. A pesar de ese tipo de disputas, resultó más importante el estatus social de los mecenas de la corte que financiaban a distintos filósofos y que ponía en juego dicha condición en cada disputa. Además, en tales confrontaciones, no importaba mucho seguir leyes morales o éticas para salir vencedor de la confrontación. Dicho de otra manera, lo que se buscaba no era la verdad de las teorías, sino convencer que uno era mejor que el otro; esto se determinaba por aquellos que aseguraban el patrocinio de los mecenas de la corte. En todo caso, el conocimiento no fue la principal motivación de los patrocinadores para determinar al vencedor. En efecto, aquí podemos incluir la retórica intelectualmente correcta pero moralmente incorrecta, como herramienta práctica de los contendientes. De ahí que, el patrocinio no propiciaba descubrir cosas nuevas, sino que buscaba

⁶ Considérense los eventos en que estuvo involucrado Galileo a la hora de justificar su descubrimiento de los satélites de Júpiter y en la confrontación con Grassi (cf. Gaukroger, 2005: 146-147).

justificar y legitimar las empresas filosóficas en asociación con sujetos de la corte, lo que aseguraba las condiciones materiales para las investigaciones y aumentar el estatus social de los patrocinadores.

Ahora bien, por el lado teórico, que en buena parte resultó del patrocinio de filósofos naturales, el modelo astronómico de Kepler prevaleció sobre el copernicano, debido a la introducción de órbitas elípticas en lugar de las órbitas circulares propuestas por Copérnico. Gracias a esta adecuación teórico-hipotética, Kepler llegó a descubrir las dos primeras leyes del movimiento de los orbes celestes mediante una combinación de teoría y experimentación (cf. Rada, 1994: 38). La teoría se basó claramente en la creencia de la realidad del modelo copernicano; sin embargo, las observaciones contradijeron la creencia fundamental del movimiento circular como el más perfecto de todos los movimientos posibles, necesaria para la operatividad de la teoría heliocéntrica copernicana. Sólo mediante una amplia serie de experimentos y observaciones se logró negar la validez de una teoría lógica y matemáticamente adecuada, como la copernicana.

Kepler operated throughout from the conviction that God had created the world in geometric fashion, so as to conform to harmonic models founded upon the musical consonances. Out of this came as one by-product a conception of the planetary system simultaneously mathematical and (this was the new thing) physical in the sense that the elliptical orbits he eventually determined for the planets and the two other laws he discovered about them, were held by Kepler to depict the true state of the solar system, not just fictional gadgets fit to 'save the phenomena'. (Cohen, 2005: 20)

Lo novedoso de Kepler fue la forma de reformular la teoría copernicana. Las adecuaciones teórico-hipotéticas sobre el orden y constitución del movimiento de los orbes celestes ofrecen una imagen clara de la aplicación de un nuevo criterio de evidencia para fundamentar las teorías astronómicas modernas; dicha adecuación partió de la evidencia observacional y mediante conjeturas se pretendió ofrecer una explicación lógica viable para los fenómenos anómalos que la teoría previa no pudo explicar. Más aún, sólo la evidencia observacional logró invalidar la teoría

copernicana original y fundamentar la validez de la teoría de Kepler gracias a la explicación de los mismos movimientos celestes, más la predicción de la posición de los planetas y el descubrimiento de las leyes que gobiernan y determinan consistentemente el movimiento de éstos. Así, gracias a las matemáticas, Kepler produjo un efecto verdaderamente revolucionario con una característica claramente moderna al explicar los fenómenos astronómicos con la precisión de una causalidad cuantitativa expresada en términos de leyes universales; también, Kepler recuperó la idea del carácter ontológico del lenguaje matemático como la forma más asequible de comprensión humana de la estructura subyacente del orden del universo, sobre la que Rada comentó lo siguiente:

Kepler ensaya generalizaciones poligonales para todos los planetas, series numéricas (radios, diámetro, etc.) funciones trigonométricas (senos), hasta que cae en la cuenta de la naturaleza <<espacial>> (tridimensional) de los espacios interpuestos entre los planetas y ensaya con los poliedros regulares. (...) Y el 24 de septiembre, más explícitamente, manifiesta a Maestlin que son los poliedros regulares los que determinan las distancias de los orbes planetarios, mientras que los movimientos de los mismos se deben a una fuerza (<<anima movens>>) residente en el Sol y que actúa a distancia con menor eficacia en función de la distancia mayor, de donde se sigue la desigualdad periódica de los retornos planetarios. (Rada, 1994: 19)

Por otro lado, Galileo al igual que Kepler, también defendió el realismo matemático mediante la experimentación y transformó el criterio de verdad vía inductiva por medio de experimentos mentales y físicos que permitieron conectar los modelos matemáticos formales y los fenómenos empíricos perceptibles. De ahí que, la certeza de la validez teórica, según Galileo, se fundamentó mediante la aplicación y experimentación de la precisión de las matemáticas como modelos explicativos de los fenómenos estudiados. Sin embargo, a pesar de que ambos científicos reconocían el valor de la evidencia teórica o empírica como criterio de verdad para la ciencia, la principal diferencia entre ellos fue que Galileo logró establecer las condiciones materiales necesarias para la experimentación, mientras que Kepler estuvo condicionado a la indeterminación de la aparición de los fenómenos celestes

necesarios como evidencia observacional para su justificación y fundamentación teórica.

Likewise Galileo operated throughout from a religion-laden conviction that the only language fit to decipher our world is that of mathematics. Out of this came a novel, really mathematical conception of motion expressed in (among other things) his view that bodies tend to retain their motion once acquired; that the motion of a body can only be judged relative to the state of motion of other bodies, and that a body may be subject to various motions at the same time. (...) The link with reality was established by means of experiment. (Cohen, 2005: 20)

Así, de esta manera, uno de los elementos afectados por las críticas a la filosofía natural es el lugar que ocupan los sentidos como medio para la adquisición de conocimiento y cómo se relaciona éste con la realidad y la naturaleza en función de la evidencia. Esto plantea una distinción fundamental entre el conocimiento inmediato y el mediato. Por un lado, el conocimiento mediato es aquel que se obtiene gracias a los sentidos, los cuales se pueden extender y amplificar para tener un mayor rango de percepción, ya que esto permite acceder a fenómenos que a simple vista no son posibles de percibir. Por otro lado, el conocimiento mediato es posible gracias al ejercicio cognitivo de teorizar sobre los elementos percibidos empíricamente para llegar a la causa de la existencia aparente de los fenómenos naturales; así, el conocimiento mediato revela algo de la forma en que esta constituida la realidad que es asequible a lo humano.

Teniendo en cuenta lo anterior y, desde el punto de vista de Reale, una de las aportaciones más significativas del patrocinio fue la fundación de tres importantes organizaciones para las ciencias naturales, a saber, la Academia de los Linceos, la Accademia del Cimento y la Sociedad Real de Londres para la promoción de los conocimientos naturales.

Justamente en contraposición a la enseñanza universitaria eclesiástica (...), el jovencísimo príncipe Federico Cesi fundó en Roma, en 1603, a expensas suyas, la Accademia dei Lincei (Academia de los Linceos), provista de

biblioteca, un gabinete de historia natural y un jardín botánico anexo. (...) Galileo formo parte de la Academia de los Linceos. Esta acabó sus actividades en 1651 y, luego de algunos resurgimientos no demasiado significativos, volvió a funcionar en 1847. (Reale y Antiseri, 2010: 277-278)

La fundación de estas organizaciones consolidó una forma de solventar las condiciones materiales necesarias para investigaciones independientes de la educación universitaria eclesiástica. Así, los miembros gozaron de libertad de investigación; ello conllevó principalmente a debates contra la autoridad de la iglesia en cuestiones sobre la forma y constitución de la naturaleza. En efecto, las investigaciones independientes encontraron en estas organizaciones protección gracias a la estructura de la corte; sin embargo, a pesar de esta protección, los autores no siempre resultaron inmunes a los peligros de sus investigaciones. El ejemplo más claro fue el propio Galileo y su disputa con la iglesia respecto a la posibilidad de interpretar los fenómenos naturales desde un sentido que no necesariamente es el manifestado por las Escrituras Sagradas. En este sentido, Galileo escribió: "Así, las cosas, me parece que, al discutir los problemas naturales, no se debería partir de la autoridad de los pasajes de la Escritura, sino de la experiencia de los sentidos y de las demostraciones necesarias" (Galilei, 2010: 4). Aunado a ello, para comprender el desarrollo de las teorías científicas de esta época, debemos considerar que el patrocinio también consolidó el desarrollo de instrumentos como una actividad cotidiana que, en la mayoría de los casos, fueron desarrollados y construidos por los propios practicantes de las ciencias naturales como por ejemplo, el telescopio construido por Galileo.

El lema distintivo de la Academia fue la expresión <<probando y volviendo a probar>>, y las investigaciones científicas de los académicos del Cimento abarcaron toda la gama de las ciencias naturales: fisiología, botánica, farmacología, zoología, mecánica, óptica, meteorología, etc. No podemos olvidar tampoco la gran atención que los académicos concedieron a la construcción de instrumentos cada vez más exactos: termómetros, higrómetros, microscopios, péndulos, etc. (Reale y Antiseri, 2010: 278)

Precisamente, una diferencia fundamental entre los filósofos naturales y los practicantes de las ciencias de la naturaleza fue el uso de instrumentos para obtener conocimiento respecto a la naturaleza. Por su parte, los filósofos naturales no requieren de instrumentos, ya que su conocimiento parte de la especulación teórica de la constitución de los fenómenos empíricos, es decir, especulan sobre la esencia y finalidad de los estados de cosas perceptibles desde una tradición formativa que defienden. En contraste, al llevar a cabo experimentos, observaciones y obtener evidencia que sustente los postulados teóricos, los practicantes de las ciencias de la naturaleza se distinguieron de los filósofos naturales porque buscaban una validez universal comprobable sobre los hechos percibidos. Tal fue, de hecho, el objetivo de la Royal Society que, desde el punto de vista de Reale, ejemplifica el resultado de la revolución científica al establecer la necesidad de compilar, sistematizar y difundir el conocimiento sobre la naturaleza entre la comunidad científica como una actividad normal (cf. Reale y Antiseri, 2010: 280).

En 1662 Carlos II concedió el estatuto (*charter*) que establecía los derechos y prerrogativas de la Royal Society. El objetivo de la sociedad consistía en redactar <<informes fidedignos de todas las obras de la naturaleza>> y redactarlos en un lenguaje austero y natural, un lenguaje de <<expresiones positivas>> y con <<significados claros>>. La sociedad quería un lenguaje que se acercase al de los <<artesanos, los campesinos, los comerciantes>> más que al de los <<filósofos>>. Un lenguaje de esta clase era, lógicamente, el lenguaje de las ciencias: la matemática, la anatomía, el magnetismo, la mecánica o la fisiología. (Reale y Antiseri, 2010: 280)

Así, desde nuestro punto de vista, toda la actividad de la revolución científica emprendida desde Copérnico y al menos hasta Newton, se consolidó como a partir de la búsqueda de la estructura subyacente de la naturaleza. Ello supuso un reconocimiento dentro de la sociedad al mismo tiempo que se ampliaban los debates en torno a la nueva metodología de la ciencia de la naturaleza. Sin embargo, esto fue posible en gran medida por la comunidad científica consolidada históricamente en las instituciones y sociedades que ya hemos mencionado; el objetivo de estas instituciones y comunidades fue la producción y difusión de la

totalidad del conocimiento hasta el momento; tal fue el objetivo de las Transactions de la Royal Society.

Las <<Transactions>> de la Royal Society constituyen el primer ejemplo que se da en Europa de revista periódica dedicada a temas científicos. Oldenburg inició su publicación con el convencimiento de que dar a conocer a los demás los descubrimientos científicos era un elemento necesario para el avance del conocimiento científico. Su intención era que las <<Transactions>> fuesen una invitación y un estímulo a que los estudiosos <<investigasen, experimentasen y descubriesen nuevas cosas, a que se comunicasen recíprocamente sus propios conocimientos, contribuyendo así en el mayor grado posible al gran proyecto consistente en el enriquecimiento del conocimiento de la naturaleza y el perfeccionamiento de todas las artes y las ciencias filosóficas. (Reale y Antiseri, 2010:280)

El objetivo de la Royal Society al utilizar el lenguaje matemático fue expresar significados claros que justificaran la validez del conocimiento de la naturaleza por medio de una estructura representativa universal. Ciertamente, el lenguaje matemático cumplió con este objetivo al mostrar su potencial explicativo al representar fenómenos en términos asequibles de relaciones causales, proporciones cuantificables y magnitudes comprensibles. En efecto, la forma de representación de fenómenos mediante un lenguaje específico establece la posibilidad de integrar sus constantes experimentales en formas universales. De aquí surgen las leyes que precisamente enuncian una constante universal. El ejemplo más adecuado de este tipo de conocimiento son las leyes del movimiento y de la gravitación universal de Newton, siguiendo la noción de realidades verdaderamente conclusivas o explicaciones justificadas.

Ahora bien, una de las principales consecuencias de la difusión de los descubrimientos científicos, como una actividad consolidada dentro de organizaciones como la Royal Society, fueron los constantes debates en torno a la diversidad de formas de conocimiento natural que a través del siglo XVII se

desarrollaron en filosofía natural. Tales debates abarcaron metodologías como el mecanicismo fundado por Descartes, el empirismo coercitivo postulado por Bacon o el realismo matemático impulsado por Kepler y Galileo. Cabe mencionar que cada metodología poseyó un área del conocimiento particular en función de la adecuación específica a su objeto de estudio, tales son el caso de los fenómenos celestes, las leyes de la mecánica y la forma de la materia.

Como pudo observarse, la teoría de Kepler se basó en una estructura elíptica simple subyacente a la forma constitutiva del universo; Kepler fundamentó la teoría principalmente con evidencia empírica, lo que permitió justificar las posiciones y movimientos de los fenómenos celestes, pero no la predicción de sus futuras posiciones en períodos de tiempo determinados. Ante la situación planteada, la demostración matemática de Newton de las hipótesis de Kepler dio por resultado una teoría uniforme, consistente con la evidencia empírica observacional y con la capacidad de predecir con gran precisión fenómenos en períodos de tiempo determinados. Este es el fundamento del potencial explicativo de las leyes del movimiento y la ley de la gravitación universal de Newton.

Cabe agregar que gracias a Newton, las ciencias modernas comenzaron a ponderar la condición predictiva de la teoría; esto quiere decir que, ya no bastó con explicar un estado de cosas concreto basado en la causa antecedente inmediata, sino que ahora se debía establecer el presente hecho como un estado consecuente necesario dentro de una concatenación causal de hechos futuros, susceptible de explicación mediante leyes universales que abarcan la totalidad de hechos comprendidos en dicha concatenación causal.

Así, una de las aportaciones más significativas de Newton fue la sistematización de todo lo realizado anterior a él en las ciencias de la naturaleza respecto al movimiento de los fenómenos celestes, como resultado de lo cual se superó la teoría de los vórtices de Descartes (cf. Rada, 1983: 21-22). En este sentido, Newton sintetizó y sistematizó la diversidad de metodologías vigentes en el siglo XVII en una sola metodología científica mediante el uso del lenguaje matemático como forma de representación, a la vez que estableció dos principios ontológicos básicos para el

estudio de la naturaleza, la simplicidad y la uniformidad sobre la que Reale apuntó lo siguiente:

<<El doctor Vincent ha presentado a la Sociedad el manuscrito de un tratado con el título *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, que el señor Isaac Newton dedica a la Sociedad y en el que se ofrece una demostración matemática de la hipótesis copernicana tal como la propone Kepler, explicando todos los movimientos celestes por medio de la única hipótesis de una gravitación hacia el centro del Sol, decreciente de acuerdo con el inverso de los cuadrados de las distancias a éste>> (Reale y Antiseri, 2010: 261)

Por una parte, el principio de uniformidad establece las condiciones para que a un mismo conjunto de efectos le fuera asignado un mismo conjunto de causas. Esto permitió establecer la relación analógica entre una diversidad de fenómenos distinguidos por sus cualidades más no necesariamente respecto a la forma en que se manifestaban, como en el caso de la reflexión de luz de la Tierra y la de otros planetas: las cualidades de la diversidad de planetas pueden ser muchas, pero el efecto de la reflexión de la luz de la Tierra está determinado naturalmente y permite establecer la posibilidad de que la causa de la reflexión de la luz sea válida tanto para la Tierra como para cualquier otro planeta, ya que la naturaleza actúa de manera uniforme(cf. Reale y Antiseri, 2010:262). Por otra parte, el principio de simplicidad en la metodología de Newton es constitutivo porque toma como base la demostración matemática para establecer las relaciones causales de los fenómenos físicos estudiados sin crear grandes estructuras argumentativas. De ahí que, Reale apuntó que el objetivo es establecer leyes formales que determinan el comportamiento de los fenómenos naturales y añadió:

Por eso, a los mismos efectos debemos, en lo posible, asignar las mismas causas. (...) Nadie puede controlar el reflejo de la luz en los planetas; pero basándose en el hecho de que la naturaleza se comporta de manera uniforme en la Tierra y en los planetas, nos es posible decir también cómo actúa la luz en los planetas. (Reale y Antiseri, 2010:262)

Para Newton, las leyes son explicaciones justificadas en función de la evidencia

empírica y teórica disponible, siendo enunciadas como realidades verdaderamente conclusivas. Por ende, las leyes existen como formas de explicación causal de las regularidades de la naturaleza, por lo que la formalización de aquellas, expresadas matemáticamente, resultó clave para descubrir la estructura subyacente a las regularidades aparentes. Piénsese por ejemplo en la ley del inverso cuadrado, postulada empíricamente por Kepler y demostrada matemáticamente por Newton (cf. Rada, 1994: 13). Además, habría que añadir que las leyes son una forma de explicación científica a los problemas considerados por las teorías. En todo caso, las leyes son generalizaciones que sirven para demostrar la uniformidad de la naturaleza en general; más aún, son la forma que tenemos los seres humanos de comprender la forma de la naturaleza. Sin ellas, desde nuestro punto de vista, la ciencia y el conocimiento humano sobre la naturaleza en general no existirían.

Aunado a ello, dentro de la metodología newtoniana, la experimentación cobró una mayor importancia para producir evidencia capaz de fundamentar las teorías científicas. Esto ayudó a consolidar una estructura metodológica para la producción de conocimiento que derivó en el descubrimiento de leyes naturales simples y uniformes capaces de explicar universalmente los estados aparentes de los objetos gobernados por ellas. Sin embargo, Newton introdujo un cambio metodológico fundamental respecto a sus antecesores, a saber, las cualidades cognoscibles de los objetos físicos se fundamentan a partir de compromisos ontológicos que forman parte de la metodología. Esto es algo que nadie había propuesto ya que, hasta Newton, siempre existieron primeros principios que dotaban de cualidades a los objetos materiales y al medio en que se manifestaban. Con Newton esto cambió. Él postuló principios metodológicos, no primeros principios constitutivos de la existencia de los estados aparentes de objetos perceptibles. Con ello, Newton introdujo la noción de razón limitada dentro de la metodología de las ciencias de la naturaleza, sobre la que Reale escribió lo siguiente:

La física newtoniana admite una razón limitada: la ciencia no tiene como tarea el descubrir substancias, esencias o causas esenciales. La ciencia no busca substancias, sino funciones; no busca la esencia de la gravedad, sino que se contenta con que ésta exista de hecho y explique los movimientos de los

cuerpos celestes y de nuestro mar. (Reale y Antiseri, 2010:269)

Si bien es cierto que la física o filosofía natural llegó a consolidarse como área del conocimiento, esto se debió en gran medida a las leyes del movimiento constituidas formalmente para la explicación y predicción de fenómenos naturales. La idea de razón limitada surgió con la noción moderna de física que se constituyó principalmente por la mecánica newtoniana. En todo caso, respecto a la idea de razón limitada debemos comprenderla en el sentido metodológico más que constitutivo con relación al conocimiento de la naturaleza. Esto quiere decir que el conocimiento de la naturaleza puede ser, de hecho, absolutamente infinito, sin embargo, los seres humanos no pueden simplemente crear infinitas hipótesis *ad hoc* para responder a estados de cosas o fenómenos inexplicados y postular dichas hipótesis sin evidencia verificable como conocimiento objetivamente válido. No obstante, este límite metodológico estableció el criterio para diferenciar entre lo que posiblemente puede ser correcto y lo que probablemente es correcto. Tal es el caso de los corpúsculos físicos newtonianos y su división hasta el infinito que Reale señaló:

<<que las partículas de los cuerpos, divididas pero contiguas, pueden separarse entre sí es cuestión observable; y en las partículas que permanecen indivisas nuestras mentes están en disposición de distinguir partículas aún más pequeñas, como se demuestra en matemática. Empero, no nos es posible determinar con certidumbre si las partes que así se distinguen y que no están divididas entre sí, pueden dividirse efectivamente y separarse las unas de las otras por medio de los poderes de la naturaleza. (...) En consecuencia, a una seguridad matemática le corresponde-en lo que se refiere a la divisibilidad hasta el infinito de las partículas- una incertidumbre fáctica. (Reale y Antiseri, 2010:263)

Más aún, la idea de razón limitada también introdujo una distinción conceptual entre lo puramente formal y las aplicaciones empíricas de un conjunto de conceptos esenciales para la física newtoniana, a saber: los conceptos de tiempo absoluto, espacio absoluto y movimiento verdadero. El tiempo absoluto se denominó,

duración en general. Por otro lado, el espacio absoluto siempre permanece semejante a sí mismo y sin relación a objeto alguno. A su vez, el movimiento verdadero sólo es determinable en función de la distinción entre aceleración relativa y aceleración absoluta. Así, la aceleración relativa opera entre dos objetos físicos, como es el caso del experimento del balde con agua de Newton (cf. Nagel, 1981: 198-199). Según Newton, el experimento ofrece evidencia empírica suficiente para sustentar la creencia en el espacio absoluto basado en la idea de aceleración absoluta. La idea parte de la diferencia en los tiempos relativos en que el balde y el agua aceleran y comienzan a rotar sobre su eje, hasta alcanzar un estado de reposo relativo (momento en que el balde y el agua poseen la misma aceleración) y en la diferencia de los tiempos en que tanto el balde como el agua dejan de girar. La evidencia observacional muestra que el agua al principio del movimiento no tiende a deformarse, sino hasta que la fuerza centrípeta ejercida sobre el agua la comienza a volver cóncava la forma de ésta. Dado que la deformación no aparece respecto al balde, debido a la diferencia de tiempos relativos en que comenzaron y dejaron de moverse, y de que el movimiento se da con el balde, Newton concluyó que las deformaciones del agua son atribuidas a la rotación relativa al espacio absoluto (cf. Nagel, 1981: 198).

A su vez, la razón limitada reconoce los conceptos de espacio y tiempo como las condiciones formales de posibilidad del conocimiento sobre el movimiento de los objetos gobernados por leyes naturales. Así, en su dimensión relativa, el tiempo es enunciado como horas, minutos, segundos y cualquier forma de medida para designar un cambio en un objeto relacionado a un antes y un después; de igual manera, el espacio es designado como la unidad de medida del lugar que ocupa un objeto. Por su parte, el movimiento relativo es designado como la medida de la relación entre un objeto que se desplaza y uno que permanece en reposo sin la necesidad de que esta relación permanezca inalterable. De esta manera, el movimiento relativo naturalmente necesita de los conceptos de espacio y tiempo en su dimensión relativa para dar cuenta de la relación existente entre un conjunto de objetos empíricos y los movimientos que experimentan.

En efecto, estos conceptos son fundamentales para comprender el marco de

referencia conceptual de Newton para justificar su oposición a la total relatividad del movimiento, ya que, sin un marco de referencia limitado lógicamente y ontológicamente, ningún conocimiento fundado en leyes naturales habría podido tener la validez objetiva que Newton estableció al fundar la mecánica clásica con sus tres leyes del movimiento como núcleo teórico. De ahí que, Nemirovsky declaró que:

La *petitio principii* es clara. El movimiento absoluto que Newton cree haber demostrado es el movimiento relativo respecto del espacio absoluto y de ahí concluye que el espacio absoluto existe. Sea como fuere, el concepto de espacio absoluto es una necesidad lógica y ontológica en los *Principia*. Sin él la primera ley del movimiento no vale: sin espacio absoluto el reposo es impensable. Un cuerpo puede estar en reposo o en movimiento, pero si otro se mueve respecto de él uno de los dos debe estar dotado de movimiento absoluto y sólo uno de ellos puede estar en reposo respecto del espacio absoluto. (Nemirovsky, Samuel, 1993: 14)

No obstante, después de Newton, el conocimiento científico tomó un matiz donde la idea de lo cuantitativo y la experimentación primó sobre lo cualitativo y discursivo. Tal es la idea sobre la que se fundó el Ecole Polytechnique en 1794 en Francia (cf. Buchwald y Hong, 2003: 166). Esto se debió gracias al potencial explicativo de las leyes del movimiento y de la gravitación universal de Newton expresadas en términos matemáticos. Este fue un paso bastante significativo para el conocimiento científico ya que permitió la fundamentación de la física moderna fuera de la filosofía natural con una metodología experimental y un marco de representación basado en la matemática. Esto permitió que la física moderna se constituyera al margen de los límites de la filosofía natural que ponderaba lo cualitativo y lo discursivo. De ahí que, una de las principales consecuencias de la separación de la física de la filosofía natural fue la institucionalización de la física dentro de las universidades, lo que conllevó a la profesionalización de los practicantes de la física y la fundación de nuevas ramas científicas como, por ejemplo, el electromagnetismo. De igual manera, dicha profesionalización operó con una concepción renovada de actividad científica basada en la utilidad de sus aplicaciones industriales, cuyo financiamiento fluyó al interior de las instituciones

educativas. Precisamente, esto marcó una gran diferencia con la filosofía natural, puesto que no logró llegar a ser una actividad profesional a pesar de que existieron momentos históricos en los que la filosofía natural primó sobre las ciencias de la naturaleza (cf. Buchwald y Hong, 2003: 168).

De esta manera, la división del conocimiento en áreas y disciplinas específicas cobrará especial interés siglos posteriores con la consolidación y desarrollos específicos de la biología, la química, la física, y la matemática, así como con áreas científicas, que anacrónicamente cabría denominar interdisciplinarias, como las ciencias de la tierra y la medicina.

Esto nos lleva a pensar en la semejanza entre los siglos XVII y XIX. Está claro que existió una preocupación centrada en la sistematicidad de las disciplinas de las ciencias de la naturaleza. Ya en el siglo XVII había existido la pretensión de reformar la metodología científica con Bacon, Descartes y Galileo, pero dentro de un modelo de filosofía natural con sus respectivas variantes; para el caso del siglo XIX, podemos establecer una pretensión similar pero con nuevas variantes en términos de elementos fundamentales, uno de los cuáles fue la eliminación del sentido teleológico que todavía subyacía en el siglo XVII y la independencia de la metafísica como herramienta heurística de argumentación sistemática para evitar la creación de hipótesis *ad hoc*. Esta independencia surgió por la imposibilidad de establecer evidencia verificable para demostrar la validez de tales hipótesis, es decir que este tipo de hipótesis resultaban ser una variante de alguna creencia ontológica relacionada a entidades no verificadas como el éter o el flogisto. Lo cierto es que existió la necesidad de sistematizar los nuevos conceptos de la física moderna, como por ejemplo materia, energía, átomo, etc., de tal manera que estuvieran coordinados y permitieran la justificación de la investigación científica en un sistema fundamentado sobre los principios de simplicidad y uniformidad, con evidencia empírica, teorías que explicaran una mayor cantidad de fenómenos y resultados verificables en términos cuantitativos. Toda esta estructura representa lo que podríamos denominar como ciencias naturales en sentido moderno.

En efecto, tales desarrollos también implicaron un cambio político-social al interior

de las ciencias de la naturaleza. Al objetivarse la actividad científica por medio de la profesionalización, con estándares cuantitativos y experimentales, la física se volvió jerárquica en la medida en que una teoría explicativa, como la newtoniana, abarca una mayor cantidad de fenómenos y ofrece una explicación cuantificable observacional o experimental más precisa; de ahí que, una consecuencia de la profesionalización de las ciencias de la naturaleza fue la decadencia de la filosofía natural discursiva puesto que se concentró en discusiones cualitativas sobre las manifestaciones aparentes de los fenómenos en cuyo caso, los filósofos naturales podían llegar a un consenso para establecer las causas de dicho fenómeno. Así, el criterio de validez de la filosofía natural resultó ser arbitrario y subjetivo respecto a la comunidad existente. En contraste, la física moderna ponderó la demostración con evidencia cuantificable como criterio de verdad, tal y como Buchwald y Hong lo señalaron respecto al Ecole Polytechnique:

During the last quarter of the eighteenth century, and especially after the founding of the Ecole Polytechnique, French *physiciens* had become profoundly concerned with precision, with the invention of new instruments, and with putting existing instruments to new uses. They had also begun to insist on presenting their results in the form of numerical tables, which had been uncommon previously. (Buchwald y Hong, 2003: 170)

Derivado de la profesionalización, surgieron los planes educativos al interior de las instituciones y con ellos subdivisiones disciplinares. Estas subdivisiones se fundaron en una distinción básica de la actividad científica, es decir, distinguieron la teoría de la práctica o, lo puro de lo empírico. Desde nuestro punto de vista, es importante mencionar la forma de transmitir académicamente la nueva metodología de la actividad científica, ya que ello permite tender puentes con la actividad científica de las áreas que pretenden ser unificadas bajo un mismo esquema metodológico; esto resulta evidente, desde el punto de vista de Buchwald y Hong, para el caso de la química y la biología cuya idea de ciencia parte de la física moderna y las matemáticas:

Throughout the eighteenth century in France, *physique* had consisted of two

separate disciplines: *physique générale* and *physique particulière*. After midcentury the former meant Newtonian mechanics, while the latter connoted experimental science in general, but sometimes, meant specific studies in heat, light, sound, electricity, and magnetism. During the first quarter of the nineteenth century, due largely to the work of Coulomb, Laplace, Malus, Biot, Siméon-Denis Poisson, Fourier, and Fresnel, these disciplines were bound together although there were many powerful differences in specific beliefs among these men. (Buchwald y Hong, 2003: 168)

El período de finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX ofrece una vasta imagen de las ciencias de la naturaleza preocupadas por consolidarse en disciplinas independientes; esto parte principalmente de la existencia de una teoría que ofrece un sistema metodológico bien fundamentado, capaz de darse a sí mismo un objeto de estudio específico, herramientas teórico-explicativas, fenómenos por explicar, un criterio de evidencia objetivamente válido y un marco conceptual de referencia. Hemos ya expuesto la física moderna con Newton y la consolidación de su mecánica basada en las leyes del movimiento y de la gravedad como aquellas que consolidaron la disciplina de la física moderna y la distinguieron de la filosofía natural; otro tanto es posible de ser enunciado para los casos de la química y la biología.

En el caso específico de la química, podemos observar la fundamentación de la química moderna partiendo de la crítica realizada por Lavoisier contra la teoría del flogisto que dio origen a la revolución química a finales del siglo XVIII (cf. Bensaude-Vincent, 2003: 196). La teoría del flogisto se basó principalmente en la creencia en la existencia de un principio de combustibilidad. Como tal, se creía que el flogisto era una sustancia carente de materia que hacía posible la combustión de los cuerpos sólidos. Sin embargo, el flogisto poseía movimiento y lugar al interior de los cuerpos sólidos. Este era su lugar natural y cambiaba en función de la capacidad del flogisto de adherirse a un cuerpo más afín a su naturaleza o bien, hacerlo actuar en función de su capacidad de principio de combustión, lo que producía una predisposición de los cuerpos sólidos a entrar en un estado de fusión; de esta manera el flogisto se liberaba y disipaba en el ambiente. Estas son las dos formas

de manifestación del flogisto. No obstante, la teoría del flogisto defendida por el químico alemán Georg Ernst Stahl, postulaba que el flogisto era la sustancia liberada bajo la acción de la combustión de los cuerpos sólidos, por lo que la masa del residuo será menor a la masa de los cuerpos antes de la calcinación y consecuentemente, el flogisto liberado por la combustión de los cuerpos sólidos será asimilado por el aire y dará por resultado un volumen de aire mayor (cf. Bertomeu, 2019).

Lavoisier por su parte, tomó la parte experimental de la química para criticar la teoría del flogisto, es decir, aplicó los métodos de medición cuantitativos y la confrontación de datos empíricos para demostrar la invalidez de la teoría del flogisto. La demostración parte de los experimentos que Lavoisier realizó con mercurio, estaño, plomo y azufre. Los resultados fueron opuestos a los principios establecidos por la teoría del flogisto y son los siguientes: la masa de los cuerpos calcinados es mayor que la masa de los cuerpos antes de ser calcinados y el volumen de aire es menor después del acto de la calcinación y no mayor como la teoría del flogisto postuló. La interpretación de Lavoisier prevaleció y eliminó el flogisto de la explicación. En su lugar, Lavoisier sostuvo que las sustancias calcinadas se combinan con el oxígeno presente en el aire y adquieren mayor peso; de igual manera, al combinarse con las sustancias calcinadas, el aire pierde oxígeno y por lo tanto volumen. Esto explica por qué las sustancias adquieren mayor peso después de ser calcinadas y por qué el volumen de aire se reduce después de la calcinación.

La refutación de la teoría del flogisto estableció los fundamentos metodológicos para la reestructuración de la química moderna, adoptando los métodos de medición y experimentación cuantitativos como estructura para la producción de conocimiento partiendo de la evidencia empírica experimentable. Esto contribuyó a consolidar los principios modernos de la estructura disciplinar de la química, así como su propia identidad de cara al siglo XIX y posteriores, como lo refiere Bensaude-Vincent: “NINETEENTH-CENTURY CHEMISTRY has been aptly described as a modern experimental science whose theoretical structures and disciplinary organization were gradually established in the academic and the industrial worlds” (Bensaude-Vincent, 2003: 196).

Algo similar a la física y la química pasó con la biología en los primeros años del siglo XIX. Aunque la diferencia principal fue la definición del marco conceptual sobre el que se fundamentó la actividad científica de la biología moderna. En este sentido, Gottfried Reinhold Treviranus y Jean-Baptiste de Lamarck con apenas un par de años de diferencia, comenzaron por definir 'biología' como punto de partida para reconfigurar la actividad científica y determinar su identidad como disciplina en función de su objeto de estudio.

Treviranus announced: "The objects of our research will be the different forms and manifestations of life, the conditions and laws under which these phenomena occur, and the causes through which they have been effected. The science that concerns itself with these objects we will indicate by the name biology [Biologie] or the doctrine of life [Lebenslehre]. Jean-Baptiste de Lamarck, also in 1802, employed the term with comparable intention. In the work of both of these biologists, the Word became immediately associated with the theory of the transmutation of species—a new term in recognition of the new laws of life. (Richards, 2003: 16)

Sin embargo, lo que se pretende hacer notar en el caso de la biología es el sentido moderno del conocimiento sobre la vida estableciendo las condiciones necesarias para fundamentar leyes sobre ella. Resulta éste el punto donde la biología se distingue de la física y la química. La biología moderna surgió con una sola teoría en el núcleo de su definición, la teoría de la transmutación de las especies con el objetivo de establecer las nuevas leyes de la vida. Así, lo interesante con la afirmación de Treviranus sobre la biología es la vida como su objeto de estudio. En este sentido, la manifestación de la diversidad de formas de vida, las condiciones en que ésta se presenta y las causas mediante las cuáles puede ser afectada, forman la estructura metodológica de la disciplina para la producción de conocimiento tal y como señaló Richards:

Treviranus thought the progressive deposition of fossils evinced a modification of species over time. And Lamarck, in the very year of 1800, declared, in his "Discours d'Ouverture," that diverse enviromantal influences

would cause creatures to adopt new habits that could alter anatomical parts, which themselves would become heritable, thus progressively modifying species. (Richards, 2003: 17)

En el caso de la biología, llama la atención los criterios de evidencia que sustentan la teoría de la transmutación de las especies. Por un lado, los depósitos de fósiles postulados por Treviranus nos hablan de una evidencia empírica observable que requiere la reconstrucción histórica de las condiciones en que se manifestó esa forma específica de vida. En este sentido, la posibilidad de establecer leyes objetivamente válidas sobre la vida de una especie en específico no puede ser posible sin la reconstrucción histórica de sus antepasados y las condiciones en que éstos habitaron. De esta manera, las regularidades subyacentes al fenómeno de la vida requieren de una visión comprensiva, ya que el medio en que se desarrollan las formas de vida ciertamente no son regulares en todos los casos.

Por otro lado, el énfasis de Lamarck en los factores ambientales nos habla de un criterio de evidencia hipotético-deductivo respecto a una mutabilidad gradual de las especies. En este sentido, la teoría parte de una petición de principio que se basó en la creencia de la modificación en los factores ambientales que afecta las formas y funciones de las especies, determinando así una mutabilidad en las especies que se hereda generacionalmente. En este sentido, Lamarck sustentó la teoría de la transmutación de las especies en conjeturas lógicamente bien estructuradas que parten de la probabilidad de alteraciones ambientales y al igual que Treviranus, de evidencia empírica observable. De esta manera ambos naturalistas establecieron la justificación, los fundamentos operacionales y los criterios de evidencia de la teoría de la transmutación de las especies que más adelante fueron retomados por Darwin a mediados del siglo XIX. Así es como surgió la biología moderna con una teoría objetivamente válida como núcleo de su propia constitución.

How did Lamarck arrive at his evolutionary theory? Answer: As a conchologist aware of the similarities between fossil shells and those of living species, and as a geologist seeking to avoid Cuvierian theories of geological catastrophe and animal extinction, he sought refuge in the idea of a gradual mutability of

species over long periods of time. (Richards, 2003: 28)

Tales fueron algunos de los principales acontecimientos fundacionales que consolidaron las ciencias naturales a finales del siglo XVIII e inicios del siglo XIX. Lo que se pretende mostrar con esto es como fue posible el surgimiento disciplinar de las principales áreas del conocimiento de la naturaleza de cara al siglo entrante y los posteriores. De igual manera, la imagen científica de este período ilustra también la diversidad de modelos fundacionales válidos, como se ha visto con los casos específicos de la física, la química y la biología. En este sentido, tenemos que reconocer al menos dos ideas subyacentes a la fundamentación de la actividad moderna de las ciencias de la naturaleza, a saber, la idea del conocimiento objetivamente válido como ejercicio constante de la disciplina y la idea de las matemáticas como herramienta metodológica para el descubrimiento de las leyes de la naturaleza tanto en la física como en la química y la biología. Esta empresa es compartida por las tres áreas del conocimiento de la naturaleza en el período descrito anteriormente y hasta la posterior fundamentación de las matemáticas como una disciplina independiente en función de su propio objeto de estudio.

At the beginning of the nineteenth century, mathematics served as an instrument of great utility in applications primarily to astronomy and various branches of physics; by the end, it had become an increasingly abstract independent discipline, more indispensable than ever to sciences when applied, but also devoted at its most advanced levels to pure mathematics. (Dauben, 2003: 132)

De esta manera, la división del conocimiento en áreas y disciplinas específicas cobrará especial interés siglos posteriores con la consolidación y desarrollos específicos de la biología, la química, la física, y la matemática, así como con áreas científicas, que anacrónicamente cabría denominar interdisciplinarias, como las ciencias de la tierra y la medicina. Cabe mencionar que, dentro de cada metodología, al menos en el caso de la física, la química y la biología, las nociones de crear y descubrir establecen un problema central de teoría del conocimiento con relación a la naturaleza, ya que poseen una relación directa con un marco común

de creencias en espacios y tiempos determinados históricamente que, a su vez, plantean la siguiente pregunta: ¿el conocimiento de la naturaleza se descubre o se crea? Este es uno de los grandes debates contemporáneos que surgieron con la gran diversidad de áreas especializadas del conocimiento científico y que será retomado y desarrollado en capítulos posteriores.

Finalmente, así como existieron puntos en común de la fundamentación de las ciencias naturales, también existieron distintas creencias ontológicas subyacentes a la constitución de las disciplinas. En el caso de la física, existió la creencia en un orden del universo que estaba gobernado por fuerzas de entidades como el calor, la luz y la gravedad. También, los físicos creían sólo en la existencia de átomos de manera metodológica en la medida en que funcionaban para fundamentar sus teorías y no como entidades existentes que constituyen la realidad (cf. Buchwald y Hong, 2003: 192).

En el caso de la química atomista, existió la creencia en la existencia de que los átomos estaban constituidos por una sola molécula del elemento que constituían, por lo que la teoría de Avogadro que postuló que los átomos estaban constituidos por dos moléculas del elemento que constituían, entraba en contradicción con la creencia de la química atomista. De igual manera, la síntesis de la urea y de cianuro de amonio, dos compuestos de mismas proporciones, pero en diferentes relaciones estableció la base para la creencia en el isomorfismo de la materia (cf. Bensaude-Vincent, 2003: 206). Por otro lado, en la biología existió la creencia de que la selección natural existe y es el núcleo de la teoría evolutiva que tiene sus antecedentes en la teoría de la transmutación de las especies.

Estas creencias ontológicas básicas son las directrices de los debates de la actividad científica en los siglos posteriores. Dichos debates, que serán abordados en el siguiente capítulo, serán concernientes principalmente al objeto de estudio de la física porque se ponderó su método, sus criterios de evidencia y su forma de producción o descubrimiento de conocimiento; así mismo, se problematizaran las creencias básicas postuladas sobre entidades como el átomo, molécula o célula, postuladas dentro de las diversas tradiciones de investigación científica que se

consolidarán hacia finales del siglo XIX y principios del siglo XX.

Capítulo 2: La noción de evidencia a través de la perspectiva de los filósofos de la ciencia

Apartado 2.1: Las contribuciones del Circulo de Viena

Como se mencionó en el capítulo previo, entre las grandes aportaciones científicas que tuvieron lugar hacia finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX, cabe mencionar la física newtoniana, la teoría del oxígeno de Lavoisier y la teoría de la transmutación de las especies. Tales desarrollos, entre otros, contribuyeron al conocimiento y fundamentación de las ciencias naturales. De ahí que el análisis filosófico de estas teorías resulte importante para la comprensión del quehacer científico, dado el impacto de diversas nociones contenidas en ellas. En particular, nociones tales como espacio, tiempo, selección natural, estructura atómica e isomorfismo, resultan esenciales para comprender los debates filosóficos en torno al conocimiento científico durante dicho período.

Dicho lo anterior, el objetivo de este apartado es analizar la noción de evidencia en las propuestas de filosofía de la ciencia durante buena parte del siglo XX. Para ello, lo que pretendemos estudiar, de manera cronológica, son las diversas perspectivas de la noción de evidencia desde una perspectiva teórica, partiendo de los análisis de algunos de los principales miembros del Circulo de Viena. La finalidad es comprender y hacer inteligibles los criterios mediante los cuales las teorías filosóficas tratan de explicar el proceso de selección entre teorías científicas, tomando en cuenta la función de la diversidad de matices de la noción de evidencia que se considere como válida.

En términos generales, la llegada a Viena de Moritz Schlick en la década de 1920-1930, originó un movimiento denominado “Positivismo Lógico”, cuyos simpatizantes, formados en diversas áreas, tales como: filosofía, matemáticas, ciencias naturales y sociales, formaron el Circulo de Viena. En palabras de uno de los simpatizantes, el positivismo lógico es una postura filosófica respecto a la manera de resolver problemas epistemológicos y metodológicos fundamentales,

desde *una concepción científica del mundo* (cf. Asociación Ernst Mach, 2002: 107). Así, el Circulo de Viena se concentro en la revisión epistemológica de los fundamentos de la ciencia en general, aunque el enfoque se planteara en diversas disciplinas, por ejemplo: la aritmética, la física, la geometría, las ciencias sociales, la biología y la psicología.

Las características esenciales del positivismo lógico fueron: la aplicación del análisis lógico, el rechazo categórico de la metafísica y el reconocimiento de la experiencia como fuente de todo conocimiento posible. Por una parte, estas características surgen como herramientas metodológicas para limitar, clarificar y precisar el uso del lenguaje proposicional, de modo que las proposiciones establecidas por las diversas áreas de la ciencia no resulten carentes de sentido. Por otra parte, estas características proyectaban el objetivo común del Circulo de Viena que se pretendía alcanzar desde diversos frentes teóricos, a saber, la unificación de la ciencia.

A su vez, el medio para lograr dicho objetivo implica el establecimiento de criterios intersubjetivamente válidos⁷ que, por un lado, permitan articular la diversidad de conocimientos científicos en una unidad sistemática que manifieste la naturaleza de la red arquitectónica de la ciencia y, por otro lado, hacer posible la comunicación entre diversos agentes que comparten la estructura del lenguaje, aunque el área de conocimiento particular de cada sujeto difiera empíricamente en su objeto de estudio. Así, surge la necesidad de clarificar y uniformar la noción de evidencia como uno de los criterios mediante los cuáles se pretende unificar la totalidad de conocimientos científicos, de manera que se evite la introducción de pseudo-problemas⁸. Sobre ello, Carnap menciona lo siguiente:

⁷ Es importante especificar que por intersubjetivamente se debe entender la perspectiva en que dos o más sujetos, expuestos a una diversidad de fenómenos, sean capaces de expresar con claridad y sentido proposiciones que permitan la comunicación y el entendimiento entre los sujetos. De esta manera, los criterios lógico-lingüísticos establecen el marco normativo que posibilita el carácter científico del conocimiento.

⁸ Conviene mencionar que los miembros del Circulo de Viena comparten cierta noción sobre pseudo-problemas. Éstos manifiestan una antinomia de carácter metafísico, cosa que el Circulo de Viena rechaza. Tal es el caso de la cuestión sobre los números como entes reales ejemplificada en la disputa entre un

I cannot think of any possible evidence that would be regarded as relevant by both philosophers, and therefore, if actually found, would decide the controversy or at least make one of the opposite theses more probable than the other. (...) Therefore I feel compelled to regard the external question as a pseudo-question, until both parties to the controversy offer a common interpretation of the question as a cognitive question; this would involve an indication of possible evidence regarded as relevant by both sides. (Carnap, 1956: 11)

Respecto de la noción de evidencia, Moritz Schlick en su texto, *El viraje de la Filosofía* (1930-31), apunta una relación esencial para el positivismo lógico: el acto de verificar y el contenido de la verificación, es decir, la evidencia. Por medio del primero se determina la verdad y la falsedad de cualquier enunciado proposicional; el segundo es un hecho acaecido susceptible de experimentación dotado de significación (cf. Schlick, 1981: 62). Sobre esta relación, Schlick ahonda más en su texto, *Positivismo y Realismo* (1932-1933). En él, Schlick expresa que la evidencia nunca se determina de manera aislada, sino que para determinar que algo es susceptible de ser evidencia, debe atravesar un proceso que establece criterios empíricos de observación y experimentación. Así, el proceso de verificación se realiza mediante una reconstrucción racional de hechos. A su vez, la reconstrucción racional ofrece una comprobación de estados de cosas, donde los enunciados proposicionales significativos, establecen condiciones de posibilidad experimentables en la comprobación. La naturaleza de la evidencia que surge de una reconstrucción racional es su capacidad de ser descrita mediante sus características, reproducida experimentalmente y comunicable significativamente.

La originalidad de los positivistas lógicos radica en que hacen depender la imposibilidad de la metafísica no en la naturaleza de lo que se puede conocer, sino en la naturaleza de lo que se puede decir; su acusación contra el

realista y un nominalista (cf. Carnap, 1956: 11). En una palabra, los pseudo-problemas son aquellos que carecen de contenido cognitivo verificable y, por lo tanto, de sentido.

metafísico es en el sentido de que viola las reglas que un enunciado debe satisfacer si ha de ser literalmente significativo. (Ayer, A., 1981:16)

En consecuencia, una cierta noción de evidencia justifica el conocimiento de la ciencia mediante el cumplimiento de las reglas lógicas del lenguaje que determinan la forma de los enunciados proposicionales válidos. De ahí que, como criterio de la ciencia en general, la noción de evidencia vincula los enunciados proposicionales y la realidad, es decir, el mundo de la experiencia posible gracias a la aplicación de criterios convencionales intersubjetivamente válidos, mediante el análisis lógico del lenguaje, cuya función es determinar la forma correcta o incorrecta de las proposiciones postuladas. De esta manera, el propósito del análisis lógico del lenguaje es esclarecer el contenido cognoscitivo de los enunciados científicos, mediante el significado de las palabras empleadas en ellos (cf. Carnap, 1981: 66).

En contraste con lo anterior, Carnap fue, a consideración del autor, el más claro y preciso miembro del Circulo de Viena, respecto a la explicitación de una postura sobre la noción de evidencia. En este sentido, Carnap se refiere a dos nociones de evidencia complementarias, pero epistemológicamente distintas, a saber: evidencia empírica y prueba lógica. La primera establece la relación entre el mundo de los objetos⁹ como un sistema ordenado espaciotemporalmente de cosas observables y eventos, cuya reconstrucción racional, permite explícitamente identificar las reglas para la evaluación de proposiciones significativas que refieran al mundo de los objetos (cf. Carnap, 1988: 13). La segunda remite a la necesidad de articular un sistema de referencia lingüístico mediante el análisis lógico del lenguaje, cuya finalidad es negativa al limitar la introducción de pseudo-problemas como el fundamento ontológico de la realidad; aunque, también positiva al plantear el objetivo de la construcción iterativa del árbol genealógico de todos los conceptos,

⁹ Carnap utiliza la expresión "objeto", en el sentido más amplio posible, cuya principal característica es nombrar cualquier elemento de un sistema proposicional (cf. Carnap, 1988: 3). Cabe mencionar que, para el caso específico de Carnap, los términos ente, elemento, cosa y objeto pueden ser comprendidos en sentido amplio como sinónimos a través de sus textos: *Meaning and Necessity* (1948); *Empiricism, Semantics, and Ontology* (1956); *La construcción lógica del mundo* (1988).

partiendo desde los más básicos hasta los más complejos. Así, la deducción lógica es una función que permite llegar al objeto de cada concepto mediante una definición. De esta manera, se evita metodológicamente la posibilidad de preguntar por la existencia de la materia de cualquier proposición analítica. Sobre este punto, Carnap menciona lo siguiente: “la constitución de un objeto tiene que ser dada en la forma lógica de una definición; más precisamente, todo objeto que hay que constituir será introducido mediante una definición constitucional, ya sea como clase o como relación” (Carnap, 1988: 12).

Por otro lado, A. J. Ayer estaba de acuerdo con el criterio de verdad establecido por el acto de verificar de Moritz Schlick en el que la verdad o falsedad de una proposición se determina por su concordancia con la realidad (evidencia empírica), o por medio de la verificación (prueba lógica). Sin embargo, Ayer claramente estableció que el criterio de verdad de las proposiciones sintéticas *a posteriori* se determina por simple observación; a su vez, las proposiciones analíticas *a priori* se verifican mediante su derivación lógica. Así, la diferencia entre las proposiciones analíticas *a priori* y las proposiciones sintéticas *a posteriori* es que las primeras necesariamente deben ser contradictorias para ser negadas, mientras que las segundas no necesitan ser contradictorias para ser negadas, sino simplemente que no concuerden con la realidad de la experiencia posible (cf. Ayer, 1981: 233).

Precisamente, Ayer aportó una clarificación de la noción de “dato” como traducción de las diversas nociones de lo “dado” (experiencia, percepción, vivencia, observación), cuya carga cualitativa se expresa mediante el estatuto de las proposiciones básicas de lo dado a través de la sensibilidad¹⁰. Esto quiere decir que, la noción de dato complementa la noción de lo dado porque añade una carga cuantitativa deseable para la formalización teórica; así como claridad sobre la noción de evidencia observacional susceptible de experimentación empírica traducible a datos formales. Sobre esto, Ayer ejemplifica de la siguiente manera:

¹⁰ Las proposiciones básicas de los datos sensibles son verdades analíticas que expresan la experiencia de un sujeto sobre un objeto dado. Al respecto, Ayer escribe: “Admittedly, I see what I see, feel what I feel, experience what I experience. That is a tautology” (Ayer, 1972: 116).

Hemos dicho que el modo de comprobar la validez de una proposición universal acerca de la solubilidad del oro, consistía en averiguar la verdad o la falsedad de las proposiciones singulares relativas a los fragmentos particulares de oro. Pero para su verificación, esas proposiciones dependen, a su vez, de la verificación de otras proposiciones. Un fragmento de oro es algo material y para comprobar la validez de las proposiciones relativas a cosas materiales, debemos averiguar la verdad o la falsedad de las proposiciones relativas a los datos de los sentidos. (Ayer, 1981: 234)

En efecto, las proposiciones básicas son definidas como aquellas cuya verdad o falsedad es conclusivamente establecida en una situación dada, por una regla de significado¹¹. Sin embargo, debemos destacar la postura de Ayer, para quien el uso correcto de un enunciado en una situación dada no implica que tal enunciado expresado sea verdad. En otras palabras, el uso de dicho enunciado por una regla del significado solo implica un grado de probabilidad, no un grado de certeza. De esta manera, el conocimiento de la experiencia y la noción de evidencia adquieren el carácter de probables porque a pesar de que parten de proposiciones básicas cuya validez es de carácter tautológico, es decir, ciertamente verdaderas, las proposiciones subsiguientes que se derivan lógicamente de ellas no heredan dicho estatuto de certeza porque no han sido verificadas por al menos una prueba. Al respecto, Ayer comentó lo siguiente: “Por lo tanto, en la práctica solo acepto esa proposición después de haber realizado un número limitado de pruebas, quizá una sola, lo que hace aún posible que sea falsa, pero esto no significa que mi aceptación sea el resultado de una decisión arbitraria” (Ayer, 1981: 241). En este sentido, se dice que las proposiciones deducidas lógicamente son probablemente verdaderas. Ahora bien, para Ayer, transitar del estatuto ontológico hacia el epistemológico de la noción de evidencia consiste en determinar convenciones asequibles sobre la

¹¹ Las reglas de significado determinan las palabras que se deben utilizar en las situaciones en que expresan experiencias de sujetos. Son reglas del lenguaje que hacen posible la comunicación y, por lo tanto, el conocimiento intersubjetivamente válido. De ahí que, Ayer escribió lo siguiente: “The meaning rules are impersonal in the sense that they do no more than prescribe what words are to be used in what situations (Ayer, 1972:123)”.

cantidad, los grados y el estatuto de verdad, como criterios necesarios para aceptar pruebas que se presenten, en principio, como evidencia. Con ello lo que se modifica es el estatuto de todas las proposiciones al plantearse como hipótesis probables susceptibles de comprobación mediante pruebas aceptadas convencionalmente. Naturalmente, la finalidad es determinar aquello que es y no es evidencia válida para la teoría y la práctica científica. Sin embargo, como el propio Ayer reconoció, no existe una cantidad de evidencia suficiente que justifique un conocimiento absolutamente verdadero sobre un objeto porque las proposiciones que describen alguna experiencia sensible no se derivan lógicamente de ningún estatuto de datos sensibles. De ahí que Ayer dictó que: “The suggestion is that however strong the evidence in their favour may be it is never altogether sufficient; it is always consistent with their being false” (Ayer, 1972: 113).

Aunado a ello, otro autor que aportó ideas y matices a la noción de evidencia y al criterio empirista del significado fue Hempel. Como él explicó, el criterio de verificabilidad del significado empírico se expresa mediante un conjunto finito de oraciones observacionales que designan una propiedad o una relación de objetos físicos que pueden, en principio, ser pruebas concluyentes o evidencia probatoria. En este sentido, la condición de verificabilidad implica que las proposiciones no sean analíticas y su deducción lógica parta de dicho conjunto de oraciones observacionales (cf. Hempel, 1981: 118).

El argumento que queremos enfatizar es el punto sobre el que una clase finita y lógicamente consistente¹² de oraciones observacionales, establece como condición de verificación de una proposición hipotética P, una cantidad de condiciones previas que, en principio, deben ser consistentes lógicamente, lo cual no implica que de

¹² Una clase finita de oraciones observacionales constituye un conjunto limitado que expresa, al menos, un hecho. Así lo expresa Hempel de la siguiente manera: “Si una oración expresa un hecho, digamos *f*, (...) siempre podemos formar una clase que contenga a *f* juntamente con el hecho expresado por una oración, lo cual convierte a *f* en miembro de una clase de hechos, uno de los cuales es por lo menos capaz, en principio, de observación directa” (Hempel, 1981: 122). Así, la condición de finitud y de consistencia son criterios necesarios para la aplicación de pruebas que determinen si un conjunto de oraciones observacionales es correcto o incorrecto.

hecho acontezcan en el mundo empírico. En este sentido, Hempel concuerda con Carnap en la distinción metodológica sobre la cuestión práctica y cognitiva del conocimiento científico (cf. Carnap, 1988: 336). Así, plantear las condiciones de posibilidad de un conjunto finito de observaciones a través de proposiciones hipotéticas es una cuestión teórica porque incluye las condiciones actuales de la experiencia y las condiciones necesarias de la experiencia posible. En cualquier caso, habría que hacer énfasis en el hecho de que el acontecimiento o no acontecimiento de tales condiciones no es una dificultad cognitiva lógica, sino práctica. De ahí que Hempel expresó lo siguiente: “En otras palabras, el significado cognoscitivo de un enunciado en un lenguaje empirista se refleja en la totalidad de sus relaciones lógicas con todos los demás enunciados en aquel lenguaje, y no sólo con las oraciones observacionales”. (Hempel, 1981: 130)

Esto quiere decir que las condiciones de verificación deben ser claramente explicitadas y cumplir con los criterios de finitud y consistencia lógica puesto que, en muchos casos, las condiciones de verificación de una hipótesis no están determinadas por el quehacer científico, sino que están sometidas a la eventualidad de la naturaleza. En este sentido, el ejemplo de la hipótesis sobre el agente de la tuberculosis posee forma de bastón, no implica que por si misma, una muestra de esputo tuberculoso observado a través del microscopio se verán bastones; para ello se requiere explicitar la teoría del microscopio y varias hipótesis subsidiarias (cf. Hempel, 1981: 130). No obstante, se debe añadir que del hecho de que no acontezcan las condiciones de verificación empíricas de una determinada hipótesis, ello no implica la negación de la validez de dicha hipótesis; solo un contraejemplo podría negar su validez. Sobre este punto, Hempel mencionó lo siguiente:

Como se ha señalado frecuentemente en la literatura empirista, el término verificabilidad se usa para indicar, desde luego, la concebibilidad, o mejor, la posibilidad lógica de pruebas observacionales que, si realmente se encuentran, resultarían concluyentes para la oración dada; esto no se refiere a la posibilidad técnica de realizar las experiencias necesarias para obtener dichas pruebas, y todavía menos la posibilidad de encontrar realmente fenómenos directamente observables que constituyan prueba concluyente

para aquella oración ya que esto equivaldría a la existencia real de dicha prueba e implicaría, así, la verdad de la oración dada. (Hempel, 1981: 118)

Por otro lado, Hempel también introdujo otro criterio de verificación: traducibilidad para el significado cognoscitivo. Este criterio establece la necesidad de traducir oraciones de la teoría derivadas y no fundamentales, a proposiciones empíricas llamadas definiciones operacionales cuyo significado es parcialmente especificado, mediante los principios sintácticos del lenguaje (cf. Hempel, 1981: 128-129). Sin embargo, es importante mencionar que Hempel y Ayer concuerdan en el carácter probable de la noción de evidencia concluyente o probatoria (cf. Ayer, 1981: 233). Esto quiere decir que, hacer uso de proposiciones hipotéticas para la predicción o verificación de fenómenos observables, requiere de la explicitación de las relaciones lógicas entre los enunciados, respecto a las condiciones necesarias y suficientes para su comprobación; así se justifica, en principio, la experiencia probable de fenómenos observables en términos teóricos, no de verdad (cf. Hempel, 1981: 118). En cualquier caso, Hempel expresa de manera precisa la postura generalizada por los simpatizantes del Circulo de Viena sobre la noción de evidencia de la siguiente manera:

Para comprender "el significado" de una hipótesis en un lenguaje empirista, tenemos que saber no meramente que oraciones de observación implica sola o en conjunción con hipótesis subsidiarias, sino también que otras oraciones empíricas, no observacionales, son implicadas por ella, que oraciones en el lenguaje dado la confirmarían o negarían, y de que otras hipótesis sería la hipótesis dada confirmatoria o refutadora. (Hempel, 1981: 130)

Establecida una noción común de evidencia probatoria entre los simpatizantes del Circulo de Viena, la investigación adquiere un matiz complementario: ¿Qué entendían los simpatizantes del Circulo de Viena por teoría científica y cómo se relaciona con la noción de evidencia probatoria comúnmente aceptada? La respuesta no es simple porque implica el cómo y a través de qué herramientas metodológicas se constituye una teoría científica; a su vez, también apertura el debate en torno a la diversidad, evaluación y ponderación de teorías científicas.

En este sentido, Hans Hahn expresa el punto de partida sobre la metodología que permite constituir teorías científicas de la siguiente manera: “La lógica no trata, de ningún modo, de la totalidad de las cosas, no trata de objetos en absoluto, sino *únicamente del modo en que hablamos acerca de los objetos*” (Hahn, 1981: 158). De esta manera, la lógica como herramienta permite determinar formas convencionalmente válidas sobre el uso del lenguaje para establecer lo correcto y lo incorrecto respecto a la forma de las teorías científicas.

Respecto a lo anterior, consideramos oportuna la postura de Carnap sobre el análisis lógico del lenguaje que surgió del giro epistemológico que aplicó a la filosofía a través del contacto con dos de las áreas del conocimiento más fecundas del siglo XIX y XX, a saber, las matemáticas y la física. Así, Carnap identificó una relación entre la filosofía, la física y las matemáticas: las tres comparten una estructura formal-simbólica de justificación lógica que hace posible, hipotéticamente hablando, una investigación sistemática de sus conceptos fundacionales. En este sentido, Carnap coincide con Ayer respecto a la necesidad de un lenguaje simbólico que describa de manera adecuada las condiciones hipotéticas de la experiencia posible (cf. Ayer, 1972: 116). De esa manera, Carnap retomó el concepto de reconstrucción racional de Moritz Schlick y lo desarrolló en términos formales. Mas aún, Carnap tematizó la reconstrucción racional como la búsqueda de nuevas definiciones que sustituyan los conceptos antiguos. Sobre este punto, Carnap mencionó lo siguiente: “Las nuevas definiciones tendrán que ser mejores que las definiciones dadas en la tradición, mejores en cuanto a su claridad y a su exactitud, pero sobre todo deberán encajar mejor en una construcción sistemática de los conceptos” (Carnap, 1988: IX).

Como lo sugiere lo anterior, para los miembros del Círculo de Viena una teoría científica es un conjunto de proposiciones coherentes cuya composición tiene sentido y no entraña contradicción lógica, siendo susceptibles a verificación empírica. Desde este punto de vista, la ciencia total unificada se consideró como el conjunto de las teorías científicas ordenadas y estructuradas sistemáticamente para asegurar la proyección lógico-epistemológica de una imagen del mundo intersubjetivamente válida. Así, Carnap sostiene que la noción de teoría científica

se articula desde la fundamentación de proposiciones analizadas lógicamente desde sus partes elementales y hasta sus relaciones más complejas, partiendo del desarrollo de un sistema de constitución de conceptos.

Por “sistema de constitución” entendemos una ordenación de los objetos en forma de escalera, de modo que los objetos pertenecientes a cada uno de los niveles son constituidos a partir del nivel inferior. Debido a que la reducibilidad es transitiva, todos los objetos del sistema de constitución son contruidos indirectamente con los objetos del primer nivel. Estos son los “objetos básicos” que forma la “base” del sistema. (Carnap, 1988: 5)

En este sentido, el sistema de constitución se plantea como un método por el cual se pueden construir niveles de proposiciones o enunciados¹³ estructurados lógicamente y cuyo fundamento subyace en la coherencia de las cadenas definitorias que parten desde la base del sistema y se extienden hasta los niveles subsiguientes. Sin embargo, el sistema abarca más que solo cadenas definitorias; también se compone de conceptos básicos, complejos y/o compuestos, definiciones, conectores (y, o) y otros elementos como, por ejemplo: teoremas y/o axiomas. Tal amplitud posibilita la descripción de relaciones y la expresión de propiedades; así como la clarificación de clases (extensión de un predicador) de objetos (cf. Carnap, 1948: 1). A su vez, dicha amplitud también abarca los dominios (intensión de un predicador) de objetos (cf. Carnap, 1948: 26). En este sentido, la expresión de propiedades se establece mediante una definición. De ahí que, la descripción de relaciones implica una referencia extralingüística de hechos empíricos verificables. Para clarificar este punto, retomamos un ejemplo planteado por Carnap que dicta lo siguiente:

Una descripción de propiedades es la siguiente: a este dominio pertenecen los objetos a, b, c; los tres son personas, a tiene 20 años y es alto, b tiene 21, es chaparro y flaco, c es gordo. Una descripción de relaciones es la

¹³ Al respecto del uso del término proposición o enunciado, Carnap menciona lo siguiente: “The term “**sentence**” will be use in the sense of “declarative sentence” (Carnap, 1948: 4-5).

siguiente: a este dominio pertenecen los objetos a, b, c; a es padre de b, b es madre de c, c es hijo de b, a es mayor que c. (Carnap, 1988: 18)

El ejemplo anterior permite comprender la descripción de relaciones (el ser padre, madre o hijo); la expresión de propiedades (el ser alto, chaparro, flaco o gordo); la clase (personas); el dominio (objetos). Naturalmente, aquí no desarrollamos el sistema de constitución para la construcción de los niveles que justificarían las proposiciones estructuradas lógicamente y coherentemente de este caso en particular. Lo que nos interesa es mostrar la amplitud de las condiciones necesarias del sistema de constitución.

Ahora bien, el sistema de constitución de los conceptos se establece en términos convencionales, es decir, arbitrariamente, lo cual no implica que se trate de algo subjetivo o relativo. Por el contrario, para Carnap ello significa que todo sistema de constitución debe partir de un número limitado de conceptos básicos¹⁴ y su elección se determina en función de la intención y la extensión que se pretende abarcar y fundamentar. Sobre ello, Carnap menciona lo siguiente: “La tesis principal de la teoría de la constitución sostiene que es posible derivar todos los conceptos a partir de unos cuantos conceptos básicos, por lo cual se distingue de las otras teorías de los objetos” (Carnap, 1988: 4). Así, cada sistema constitutivo habilita un orden de objetos distinto cuya composición y amplitud puede variar. Por lo tanto, si existen diferencias entre teorías científicas se deberá a la elección de los conceptos y elementos básicos que fundamentan dicha teoría dentro de la estructura del sistema de constitución.

Como consecuencia, y siguiendo a Carnap, el punto de partida del sistema de constitución son los elementos básicos y las relaciones básicas. Los primeros son las vivencias de las cosas físicas que se perciben inmediatamente del mundo y que

¹⁴ La noción de conceptos básicos debe ser comprendido en el sentido amplio en el que Carnap lo emplea, es decir, como propiedades o relaciones en los objetos contenidas en los datos concretos de las sensaciones, tales como una relación temporal, una relación espacial y cualidades (cf. Carnap, 1988: XII).

se albergan en la propia conciencia o psique humana¹⁵ (cf. Carnap, 1988: 13). Las segundas son los primeros postulados que permiten ordenar los elementos básicos entendidos como cualidades sensibles, los dominios de las sensaciones, el sentido de la vista, el orden espacial del campo visual, el orden cualitativo del espectro cromático y un orden temporal (cf. Carnap, 1988: 14). En este sentido, existe una relación esencial entre la noción de definición y la noción de concepto para comprender el funcionamiento del sistema de constitución. Ambas son funciones teóricas cuya diferencia radica en la operación que realizan (cf. Carnap, 1988: 72). Por un lado, la definición es la función operacional que permite analizar las proposiciones que constituyen un objeto del sistema de constitución entendido como elemento; por otro lado, el concepto es la función que sintetiza enunciados que definen el sentido operacional de tales objetos, por ejemplo: “el estar fundado” y “número primo”.

Así, ambas funciones son inseparables para el correcto funcionamiento del sistema de constitución que depende de esta relación para transitar entre niveles mediante cadenas definitorias. Al respecto, Carnap plantea lo siguiente: “El sistema de constitución consiste en una construcción de definiciones en cadena” (Carnap, 1988: 355). Sin embargo, como se mencionó anteriormente, el sistema de constitución abarca e incluye más que solo cadenas definitorias, ya que el medio por el cual se pueden articular los niveles de constitución subsecuentes del sistema es la inferencia discursiva, a partir del entramado de relaciones básicas que conforman la base de dicho sistema. Al respecto de la naturaleza de la inferencia, Carnap hace la siguiente afirmación:

Es verdad que frecuentemente se pueden inferir las relaciones que tienen los objetos a partir de una descripción de propiedades (...), y al revés, de la descripción de relaciones se pueden inferir las propiedades de los objetos

¹⁵ La psique humana es la base del sistema de constitución por su capacidad de enunciar mediante proposiciones, la correspondencia entre los objetos psíquicos (vivencias) propios y los objetos (fenómenos) físicos dados. Sobre este punto, Carnap menciona lo siguiente: “Cuando se elige la psique propia como base, la elección de los elementos básicos se restringe a aquellos objetos psíquicos que pertenecen solamente a un sujeto psíquico.” (Carnap, 1988: 115).

(...). Pero lo inferido no significa lo mismo que (no es equivalente a) lo dado, sino que es más pobre en contenido. La inferencia no puede hacerse en sentido contrario, de manera que la diferencia fundamental persiste. (Carnap, 1988: 18)

Para explicar la diferencia respecto al punto de partida de la inferencia discursiva, sea la descripción de propiedades o la descripción de relaciones, retomamos el siguiente ejemplo desde la perspectiva de la primacía epistemológica cuya función establece el orden por el cual, el conocimiento de un objeto o un género de objetos, se reduce al conocimiento de un objeto o género de objetos, que le anteceden (cf. Carnap, 1988: 352-353). a) descripción de un cono y su número de secciones, indicando las propiedades de cada una de ellas; b) descripción de una figura geométrica, la cual consiste en puntos y líneas rectas, indicando las relaciones de su incidencia (cf. Carnap, 1988: 18).

El caso a) presupone la constitución de un objeto X mediante una definición que no está dada y cuya descripción implica propiedades (secciones cónicas) que dependen de la definición antecedente para describir sus propiedades. Ciertamente, el ejemplo a) es operable dentro del sistema de constitución lingüístico, pero no como primer nivel del sistema, debido a que depende de una definición operacional de relaciones cuya primacía epistemológica le antecede. Por otro lado, el caso b) parte de la descripción de la relación que establecen puntos¹⁶ (definición operacional)¹⁷ y rectas¹⁸ (definición constituyente) cuya descripción es una constante

¹⁶ Sobre la definición de punto, Euclides propuso lo siguiente: "Un punto es lo que no tiene partes" (Euclides, 1991: 189).

¹⁷ Se debe dar al menos una definición operacional que no es explícita sobre el signo o concepto de su referencia, pero sí sobre su uso en operaciones completas, por ejemplo: la noción de punto como parte de la definición de una recta, sí posee una definición constituyente explícita. Sobre este tema, Carnap planteó lo siguiente: Si no es posible dar una definición explícita de un objeto, entonces el nombre aislado del objeto no designa nada en el sentido de los objetos previamente constituidos. (...) Al contrario de la definición explícita, el introducir un nuevo signo se llama "definición en uso" o "definición operacional" ("definition in use"), ya que no explica el signo nuevo mismo, el cual por si solo no tiene referencia alguna, sino solamente su uso en oraciones completas. (Carnap, 1988: 70-71)

¹⁸ Al respecto de la definición de recta, Euclides postuló que: "Una línea recta es aquella que yace por igual respecto de los puntos que están en ella" (Euclides, 1991: 190).

que permite establecer un conjunto de proposiciones limitadas para constituir un objeto X (figura geométrica) a partir de la definición operacional que le antecede. De esta manera, el caso b) opera en el primer nivel del sistema de constitución lingüístico como enunciados atómicos que hacen posible una definición operacional de un concepto básico. Sobre este tema, Carnap estableció lo siguiente: “A sentence consisting of a predicate of degree n followed by n individuals constants is called an **atomic sentence**” (Carnap: 1948: 5).

En suma, la base del sistema de constitución esta conformado por conceptos básicos, relaciones básicas, elementos básicos y proposiciones atómicas. Así, estas partes lógicamente consistentes hacen posible la construcción de los niveles del sistema de constitución, cuyas proposiciones articuladas sobre esta base, son válidas y coherentes para la descripción de estados de cosas del mundo¹⁹. Teniendo en cuenta dicha base, los niveles subsiguientes del sistema de constitución podrán introducir nuevas variables y/o entidades cuya validez se determina por la consistencia de la deducción lógica de las proposiciones que las fundamentan y de las que derivan. Retomando el ejemplo a), planteado anteriormente, podemos observar que el sistema de constitución ordenado espacialmente para la geometría permite introducir nuevas entidades, como es el caso del cono, cuya definición es un sólido generado por el giro de un triángulo rectángulo alrededor de uno de sus catetos. Luego entonces, las secciones cónicas pueden ser constituidas como las curvas que resultan de las diferentes intersecciones entre un cono y un plano²⁰ que no pasan por el vértice y que denominamos como: parábola, elipse, hipérbola y circunferencia. Así mismo, la definición de cada una de estas secciones se articula de predicados atómicos. Al respecto, Carnap escribió lo siguiente:

¹⁹ El mundo de las cosas es un sistema ordenado espaciotemporalmente de cosas observables y eventos, cuya reconstrucción racional permite explicitar reglas de evaluación para sus proposiciones dentro del sistema de constitución (cf. Carnap, 1956: 2).

²⁰ Euclides estableció que: “Una superficie es lo que solo tiene longitud y anchura” (Euclides, 1991: 191).

A class of sentences in S_1 which contains for every atomic sentence either this sentence or its negation, but not both, and no other sentences, is called a state-description in S_1 , because it obviously gives a complete description of a possible state of the universe of individuals with respect to all properties and relations expressed by predicates of the system. (Carnap, 1948: 9)

Ahora bien, los niveles simbólicos que se configuran a partir de la base del sistema de constitución siguen reglas operacionales que permiten la traducción del lenguaje ordinario del mundo cotidiano, al lenguaje lógico simbólico del sistema de constitución. Tales reglas son: regla de designación para constantes individuales, regla de designación para predicados, regla de formación y regla de verdad (cf. Carnap, 1948: 4-5).

La regla de designación para constantes individuales permite la traducción de cualquier objeto del mundo a una constante simbólica dentro del sistema (cf. Carnap, 1948: 4). Para el ejemplo de a), se plantea que 's' es la traducción simbólica de 'cono'.

Por otro lado, la regla de designación para predicados de constantes individuales permite la traducción de un número finito de enunciados declarativos²¹ al lenguaje simbólico del sistema (cf. Carnap, 1948: 4). Para el ejemplo de a), podemos plantear los siguientes enunciados declarativos: 'CGx' - 'x es un cuerpo geométrico', 'SRx' - 'x es una superficie de revolución', 'BCx' - 'x tiene por base un círculo', 'TRx' - 'x es un triángulo rectángulo que gira 360° sobre su eje', 'Cox' - 'x tiene por eje el cateto opuesto', 'Ax' - 'x tiene por altura el eje', 'RBx' - 'x tiene por radio de la base el cateto adyacente', 'Gx' - 'x tiene por generatriz la hipotenusa', 'Vx' - 'x tiene por vértice el punto de intersección de la hipotenusa y el cateto opuesto'; en otras palabras, lo que acabamos de plantear son los predicados que designan las características que permiten articular la definición de un cono.

²¹ Sobre la noción de enunciado declarativo, Carnap establece lo siguiente: "Only (declarative) sentences have a (designative) meaning in the strictest sense, a meaning of the highest degree of independence" (Carnap, 1948: 7).

A su vez, la regla de la formación determina las formas válidas de los enunciados admitidas por el sistema (cf. Carnap, 1948: 5). Esta regla permite una descripción semántica de cada elemento constitutivo de los enunciados declarativos sobre un determinado objeto 'x', cuyo análisis del significado establece el sentido cognitivo, teórico, referencial o informativo de los enunciados declarativos (cf. Carnap, 1948: 6).

De igual manera, la regla de la verdad, junto con las reglas anteriores, constituyen una herramienta metodológica que permite determinar para cada enunciado del sistema una condición suficiente y necesaria de su verdad; esto es, para cada constante individual 's', seguido de un predicado individual constante 'CGx' es verdad, si y solo si la constante individual 'cono' posee la propiedad 'ser un cuerpo geométrico' referida en el predicado (cf. Carnap, 1948: 5). Así mismo, la falsedad se plantea respecto al predicado individual cuya propiedad contenida y referida en el predicado no la posee la constante individual. Sobre la noción de falsedad, Carnap menciona lo siguiente: "Thus 'false' has here its ordinary meaning" (Carnap, 1948: 6).

Como resultado, los niveles subsecuentes que se articulan desde la base del sistema de constitución y que cumplen con las reglas aquí planteadas están justificados y fundamentados lógicamente de manera sistemática. Así, la función del lenguaje simbólico es traducir, describir y comunicar el contenido hipotético de la teoría científica mediante un conjunto de reglas y símbolos intersubjetivamente válidos. De esta manera, todo lo anterior comprende la metodología por la cual se articula una teoría científica lógicamente consistente cuya validez se establece en términos de probabilidad o grados de confirmación (cf. Carnap, 1948: 9). De igual manera, su verificación se plantea en términos del acontecimiento o no acontecimiento de fenómenos empíricos que se presenten como evidencia probatoria. Sobre este punto, Carnap establece lo siguiente: "Que estas formas garantizan univocidad y existencia lógica, es un hecho conocido por la logística; pues las formas fueron creadas con miras en estas propiedades requeridas" (Carnap, 1988: 182).

Al respecto del vínculo de la teoría con la práctica científica, éste se da en función de su traducibilidad mediante las nociones de realidad y existencia. Anteriormente se trató la forma válida en que una entidad es introducida en el sistema de constitución; sin embargo, no se trató su estatuto ontológico, es decir su condición de realidad. Para esclarecer el tema, Carnap distinguió, por un lado, la noción de realidad en una cuestión interna sobre las entidades del sistema de constitución y, por otro lado, en una cuestión externa respecto a la realidad del sistema. Sobre la naturaleza de la realidad de las entidades en la cuestión interna se plantea que las entidades introducidas de forma válida son reales o existen como elementos del sistema de constitución. Al respecto, Carnap menciona lo siguiente: “To be real in the scientific sense means to be an element of the system” (Carnap, 1956: 2).

Sobre la cuestión externa de la realidad del sistema, se establece que no puede ser significativamente aplicada porque sabemos de antemano que su fundamento es la psique humana; preguntarse por la realidad del sistema constitutivo lingüístico es preguntarse por la realidad de la psique humana cuyo planteamiento no constituye un problema teórico, sino práctico sobre la aceptación de dicho sistema como medio para la comunicación efectiva del conocimiento. En este sentido, al limitar el problema de la ontología e introducirlo lógicamente en el sistema de constitución, la realidad del sistema de constitución se presenta como una forma que tenemos los seres humanos de crear imágenes del mundo que operan bajo cierta lógica de forma que sea más comprensible y entendible. Sobre este punto, Carnap señala lo siguiente: “An alleged statement of the reality of the system of entities is a pseudo-statement without cognitive content” (Carnap, 1956: 8).

Cabe señalar que la cuestión sobre la aceptación práctica del sistema de constitución esta influenciada por cuestiones teóricas que no se pueden someter a preguntas cerradas porque los factores que intervienen son criterios de grado como: eficiencia, productividad, simplicidad y comunicabilidad (cf. Carnap, 1956: 3). Cada uno de estos criterios establece un conjunto de factores que determinan virtudes y carencias que deben ser comparadas y explicitadas. Sin embargo, ninguno de estos criterios justifica y confirma evidencia sobre la realidad del mundo que se designa lingüísticamente, sino solo hace admisible el lenguaje con el que se designan los

objetos en términos cognitivos. En este sentido, Carnap coincide con Ayer respecto al convencimiento de un sujeto sobre la verdad de un conjunto de proposiciones plantea una cuestión práctica (creer) y no cognitiva (conocer). Sobre este tema, Ayer plantea el siguiente ejemplo:

Otro punto que conviene aclarar es que no estamos poniendo límites arbitrarios al campo de la experiencia posible. Como ejemplo de esto, examinemos el caso de un hombre que pretende tener una experiencia inmediata no sensorial de Dios; mientras use la palabra "Dios" simplemente como un nombre para el contenido de su experiencia, no tengo derecho a no creerlo. Como por mi mismo no he tenido esas experiencias, no puedo entenderlo cabalmente. Por mí propio no sé en qué consiste tener conocimiento de Dios, pero por lo menos puedo comprender que está teniendo una experiencia de una clase que yo no tengo. Y esto lo puedo creer fácilmente. Ciertamente, no tendría justificación que pensara que las experiencias que yo he tenido son las únicas posibles. Al mismo tiempo, hay que señalar que en este uso "Dios" no puede ser el nombre de un ser trascendente, ya que sería contradictorio consigo mismo decir que se ha tenido un conocimiento inmediato con un ser trascendente. (Ayer, 1981: 244)

Por lo que se refiere al ejemplo, éste no constituye una cuestión cognitiva desde el momento en que un sujeto justifica el conocimiento de una experiencia en un acto de intuición; el rechazo de tales actos viene dado por la carencia de pruebas empíricas. A esto se le añade el punto de vista lógico que plantea que, del hecho de que alguien este convencido de la verdad de una proposición acerca de una experiencia, no se sigue que dicha proposición sea verdadera (cf. Ayer, 1972: 111). Ciertamente, el caso plantea una cuestión práctica sobre la aceptación o el rechazo del uso de la palabra "Dios" para nombrar el contenido de la experiencia inmediata de un sujeto sobre un ser trascendente, la cual se puede resolver en términos de creencias, pero no de conocimiento.

En suma, los simpatizantes del Circulo de Viena estarían de acuerdo con respecto a la operatividad y eficiencia del lenguaje lógico formal como criterio general para la

aceptación o rechazo del sistema de constitución que, en último término, plantea una cuestión práctica, como se ha visto anteriormente. Al respecto, Carnap resume de manera sucinta esta postura:

The acceptance or rejection of abstract linguistic forms, just as the acceptance or rejection of any other linguistic forms in any branch of science, will finally be decided by their efficiency as instruments, the ratio of the results achieved to the amount and complexity of the efforts required. To decree dogmatic prohibitions of certain linguistic forms instead of testing them by their success or failure in practical use, is worse than futile; it is positively harmful because it may obstruct scientific progress. (Carnap, 1956: 13)

Teniendo en cuenta el punto de vista de los simpatizantes del Circulo de Viena respecto al sistema de constitución y la forma en que se articulan las teorías científicas, surge el tema de la ponderación o valoración de teorías debido a que, si las teorías científicas se configuran desde el sistema de constitución, se debe plantear un criterio que determine qué teoría es mejor, o más adecuada, o más operable en términos teóricos y prácticos para cada área específica de la ciencia. Ciertamente, el tema de la valoración de las teorías científicas va de la mano con el tema del progreso científico y aunque ambos temas fueron poco tratados explícitamente por los simpatizantes del Circulo de Viena, eso no significa que no hayan planteado ideas clave al respecto.

Así, por ejemplo, Moritz Schlick planteó que la valoración de las teorías científicas debe establecerse en términos de la concordancia con la realidad. Esto significa que, en algún momento, la teoría debe plantear proposiciones que establezcan las condiciones necesarias y suficientes para su verificación empírica, sin importar si resultan ser verdaderas o falsas (cf. Schlick, 1981: 105). De ahí, Schlick planteó que la coherencia lógica no basta para que una teoría se valore mejor que otra.

Si se enfoca la atención a la relación de la ciencia con la realidad, se contempla lo que efectivamente es un sistema de sus enunciados, a saber, un medio de encontrar una ruta entre los hechos, de llegar al goce de la confirmación, al sentimiento de finalidad. El problema del "fundamento" se

convierte entonces automáticamente en el inmovible punto de contacto entre el conocimiento y la realidad. Hemos llegado a conocer estos puntos de contacto absolutamente fijos, las constataciones, y los hemos conocido en su peculiaridad específica: son los únicos enunciados sintéticos que no son hipótesis. (Schlick, 1981: 232)

En su estudio concerniente a la naturaleza de la relación entre teorías científicas sucesivas, Craig Dilworth, por ejemplo, concuerda con Schlick al retomar el tema sobre la competencia o rivalidad que existe entre teorías sucesivas, el cual se basa en la forma en cómo explican los aspectos de la realidad que tratan de comprender tales teorías (Dilworth, 2007: 1). Así, Dilworth caracteriza los estudios de los simpatizantes del Círculo de Viena respecto al sistema de constitución como un modelo de explicación y predicción. En este sentido, considero que Hempel y Carnap estarían de acuerdo con tal caracterización, ya que Hempel ponderaría la función explicativa y predictiva, mientras que Carnap ponderaría la aplicación práctica de las teorías con base en la utilidad de sus resultados.

Precisamente, fue Hempel quien retomó la postura de Schlick pero desarrolló la vía negativa al plantear un requisito de refutabilidad completa en principio: “Una oración tiene significado empírico si, y solo si, su negación no es analítica y se sigue lógicamente de una clase finita lógicamente consistente de oraciones observacionales” (Hempel, 1981: 121). A partir de ello, Hempel planteó la idea de refutación teórica basada en una clase finita de proposiciones observacionales que nieguen, en principio, un conjunto finito de proposiciones lógicamente consistentes de otra teoría. Así, desde el punto de vista de Hempel, la ponderación científica establece la necesidad de comprender la mayor cantidad de datos disponibles. Dicho de otra manera, en el caso de dos teorías lógicamente consistentes, coherentes y cuya amplitud sea compatible, al menos una de las teorías debe ser capaz de postular un conjunto limitado de proposiciones que planteen las condiciones lógicamente necesarias y suficientes para negar un estado de cosas, propuesto por otra teoría científica (cf. Hempel, 1981: 132). Así, Dilworth caracteriza estas condiciones como los estatutos restringidos de tiempo y espacio específicos de una teoría (cf. Dilworth, 2007: 5). Sin embargo, Hempel también limitó el requisito

de refutabilidad completa al excluir las hipótesis existenciales y universales, así como leyes generales, pues, para él, “éstas no pueden ser verificadas concluyentemente por un conjunto finito de datos observacionales” (Hempel, 1981: 119).

Sobre dicho límite, Dilworth plantea que tales hipótesis y leyes son irrestrictas porque no se someten a la condición de espacio y tiempo específico, por lo que su verificación o refutación no puede ser concluyente, a diferencia de los casos singulares respecto a los cuales se puede establecer concluyentemente su verdad o falsedad (cf. Dilworth, 2007: 5). Además, Hempel introdujo como criterio adicional, la predicción de fenómenos observacionales lógicamente posibles, formulados mediante hipótesis que se someten a verificación empírica que pueden o no acontecer, pero que deben ser expresadas en términos empíricos (cf. Hempel, 1981: 130). Aún más, retomando lo planteado por Hempel y la caracterización de Dilworth, las teorías científicas en su fase explicativa parten de la experiencia de los estatutos restringidos que establecen las condiciones que garantizan la verdad de los estatutos irrestrictos; mientras que, en su fase predictiva, se asume metodológicamente la verdad de los estatutos irrestrictos y después del establecimiento como condición de posibilidad de los estatutos restringidos, se determina empíricamente el valor de verdad de los fenómenos observacionales hipotéticos, sea que acontezcan o no acontezcan (cf. Dilworth, 2007: 6).

Sin embargo, aunque el planteamiento es consistente teóricamente, Dilworth planteó una crítica a la postura de los simpatizantes del Círculo de Viena que distingue entre regularidades observacionales naturales y explicaciones causales. Dilworth planteó el caso de la expansión del cobre cuando se le aplica calor para mostrar la diferencia. Mientras que los simpatizantes del Círculo de Viena estarían de acuerdo con el modelo hipotético deductivo que concluye que todo el cobre se expande cuando se le aplica calor, siendo que, experimentalmente a un conjunto de piezas de cobre se les aplica calor y, por lo tanto, observamos que tales piezas de cobre se expanden. De esta manera, la experiencia empírica verifica y concluye que la hipótesis es verdadera. Naturalmente, éste procedimiento sí genera conocimiento, entendido como el descubrimiento de una regularidad de la

naturaleza, es decir, una ley natural; sin embargo, Dilworth planteó que, aunque la hipótesis resulte ser verdadera, no es una explicación en sentido estricto, porque concluir que todo el cobre se expande verdaderamente cuando se le aplica calor no es una explicación de por qué todo el cobre se expande cuando se le aplica calor. Al respecto, Dilworth escribió lo siguiente: “In other words, his knowing that all copper behaves in this way under these conditions does not tell him why this particular piece does so” (Dilworth, 2007: 7).

En este sentido, Dilworth caracteriza las teorías científicas como modelos explicativos hipotéticos que describen el comportamiento en términos de causalidad, mediante la acción y la relación de las entidades físicas contenidas en las regularidades registradas a partir de los datos experimentales. De esta manera, Dilworth declaró lo siguiente: “Here scientific theories are taken to explain phenomena or experimental laws by indicating the precise way in which they can be seen as being the result of particular causes, as this notion is understood in science” (cf. Dilworth, 2007: 180).

En contraste, el ejemplo del progreso de la matemática, en términos teóricos, justificó a Carnap creer que las ciencias empíricas pueden progresar de la misma manera si, en principio, definen con mayor claridad sus conceptos fundamentales. Pero como hemos visto anteriormente, el sistema de constitución se planteó con el objetivo de uniformar la forma de constituir las teorías científicas. Así, en sentido estricto, no es posible comparar teorías en términos formales, salvo en el caso del análisis semántico sobre las entidades cuya definición operacional es fundamental para justificar su introducción y aplicación por las distintas teorías. De esta manera, asegurado el plano lógico sobre el cual se articulan consistentemente las teorías científicas, la ponderación se plantea en términos prácticos respecto a cómo las teorías científicas se ocupan de los problemas prácticos. De ahí que, Carnap planteó el progreso gradual de la ciencia con base en la ponderación de las teorías científicas desde el punto de vista de la utilidad. Sobre ello, Carnap concluyó lo siguiente:

For those who want to develop or use semantical methods, the decisive question is not the alleged ontological question of the existence of abstract entities but rather the question whether the rise of abstract linguistic forms or, in technical terms, the use of variables beyond those for things (or phenomenal data), is expedient and fruitful for the purposes for which semantical analyses are made, viz. the analysis, interpretation, clarification, or construction of languages of communication, especially languages of science. (...) It is not a question simply of yes or no, but a matter of degree. (Carnap, 1956: 12)

En este sentido, Dilworth concuerda con Carnap al plantear que cada teoría científica ofrece un entendimiento particular respecto al comportamiento de ciertos fenómenos que fungen como evidencia observacional para la teoría que hace inteligible y manifiesta la relación causal de su comportamiento (cf. Dilworth, 2007: 182). Así, Dilworth plantea que raras veces los científicos simplemente se dedican a trabajar sobre conjuntos de datos esperando encontrar regularidades; más bien, la práctica científica se da en el contexto de alguna teoría que, como hemos visto en el sistema de constitución, incluye leyes naturales expresadas como teoremas en términos de la lógica simbólica o, como ecuaciones que sugieren relaciones cuantitativas entre valores dentro de ciertos parámetros (cf. Dilworth, 2007: 10). Así, Dilworth escribió lo siguiente: “Thus, on the empiricist conception, scientific advance may be seen to consist in the discovery of higher-level laws or theories – conceived as universal statements – which deductively entail lower-level ones” (Dilworth, 2007: 19).

Dicho lo anterior, resulta complicado establecer una noción común de los simpatizantes del Círculo de Viena sobre la ponderación de teorías científicas, debido a la diversidad de posturas y matices que se pueden vislumbrar en lo expuesto anteriormente. Aún así, es posible identificar y plantear directrices sobre el tema a partir de lo expuesto por tales posturas. De ahí que, en primer lugar, se debe plantear una cuestión de concordancia con la realidad mediante una verificación empírica de hipótesis lógicamente coherentes y probables. En segundo lugar, las teorías científicas deben ser capaces de abarcar la mayor cantidad de

datos disponibles y de establecer las condiciones necesarias y suficientes para la predicción y verificación de fenómenos observacionales que, en principio, negarían un estado de cosas planteado por una teoría rival. En tercer lugar, las teorías se deben valorar como herramientas de comunicación útiles y fructíferas mediante la interpretación, análisis y clarificación de los términos lingüísticos empleados por ellas mismas. En cuarto lugar, las teorías científicas deben ofrecer una explicación causal sobre las regularidades de los datos empíricos, de tal manera que provean una satisfacción intelectual a los científicos (cf. Dilworth, 2007: 178). En suma, siguiendo estas directrices, es posible articular criterios intersubjetivamente válidos para la ponderación de teorías científicas rivales que, en función de los objetivos planteados en la práctica científica, permitirían determinar qué teoría debería valorarse mejor que otra.

Apartado 2.2: Las propuestas de Popper y Lakatos en torno a la relación de la noción de evidencia y el progreso científico

Hacia el año 1938, el Círculo de Viena se disolvió debido a la insostenible situación política derivada de la anexión de Austria por la Alemania Nazi y el asesinato de Moritz Schlick por parte de un exalumno suyo (cf. Reale y Antiseri, 2016: 874). Estos eventos obligaron a los simpatizantes del Círculo a emigrar a distintas partes del mundo: por ejemplo, Carnap emigró a Estados Unidos y, aunque no era miembro del Círculo, Karl Popper (la oposición oficial, según Otto Neurath) emigró a Nueva Zelanda en 1937 (cf. Reale y Antiseri, 2016: 889).

Como se desarrolló anteriormente, desde su conformación, los simpatizantes del Círculo de Viena estuvieron concentrados principalmente en las cuestiones formales del positivismo lógico respecto al conocimiento, el lenguaje, la evidencia observacional y la constitución de las teorías científicas. Así en palabras de los propios miembros, plantearon lo siguiente: “No obstante, el trabajo de las investigaciones “filosóficas” o “sobre los fundamentos” permanece siendo importante para los propósitos de la concepción científica del mundo, puesto que la

dilucidación lógica de los conceptos, enunciados y métodos científicos nos libera de prejuicios que frenan nuestra marcha” (Asociación Ernst Mach, 2002: 122).

Como la oposición oficial, Karl Popper planteó diversas críticas al proyecto científicista del Círculo de Viena. En algunos casos, se distanció de ellos, pero en otros, su postura fue más cercana, de lo que el propio Popper reconoció. La principal crítica se basó en una postura anti-probabilística acorde con el criterio de demarcación del falsacionismo metodológico, nombre con el que Imre Lakatos designa el método de la filosofía popperiana (cf. Lakatos, 2002: 123).

Popper concibió el falsacionismo metodológico para solventar las carencias de los criterios de verificación y probabilidad convencionalmente establecidos por los simpatizantes del Círculo de Viena, dado que, desde su punto de vista, tales criterios no ofrecían un marco normativo adecuado para diferenciar entre teorías científicas y pseudo científicas, por razones que desarrollaremos más adelante. En oposición a la verificación y probabilidad, el método de Popper pondera como criterios normativos de una teoría científica su grado de corroboración y de contrastabilidad. En este punto, el criterio de demarcación del falsacionismo metodológico popperiano se diferenció del criterio del sentido planteado por los simpatizantes del Círculo de Viena, especialmente por Carnap. Al respecto, Popper escribió lo siguiente:

Por consiguiente, era evidente que se necesitaba de un criterio de demarcación diferente, y yo propuse (...) que se considerara como criterio de demarcación la *refutabilidad* de un sistema teórico. Según esta concepción (...) un sistema sólo debe ser considerado científico si hace afirmaciones que puedan entrar en conflicto con observaciones; y la manera de testar un sistema es, en efecto, tratando de crear tales conflictos, es decir, tratando de refutarlo. Así, la testabilidad es lo mismo que la refutabilidad y puede ser tomada igualmente, por lo tanto, como criterio de demarcación. (Popper, K., 1991: 312)

Otra de las críticas de Popper está dirigida contra la justificación del método inductivo basado en la generalización de inferencias de grandes conjuntos de

observaciones en las ciencias naturales, esto es, “el problema de la inducción”. Una crítica que, de hecho, Lakatos, siguiendo a Popper, llevó más lejos al plantear que los hechos no pueden probar proposiciones (cf. Lakatos, 2002: 26). Sin embargo, lo que hizo Popper fue problematizar la justificación de la validez de las proposiciones universales con base en un conjunto finito de proposiciones atómicas, como diría Carnap, cuyo fundamento son los datos inmediatos de la experiencia empírica. Así, Popper observó que la justificación de generalizaciones inductivas conlleva a una regresión infinita de enunciados singulares que, de manera injustificada, plantean un salto de la mayoría de los casos observados, a la totalidad de casos observables (hipotéticos o teóricos): “cualquiera que sea el número ejemplares de cisnes blancos que hayamos observado, no está justificada la conclusión de que *todos* los cisnes sean blancos” (Popper, 1980: 27).

En este sentido, Popper criticó que la verdad de las proposiciones universales, tales como las planteadas por las leyes naturales, sean justificadas en términos de inferencias de enunciados observacionales. Esto significa que, por ejemplo, del hecho de que observemos que el sol “sale” por el oriente y se “oculta” por el occidente, no se prueba la validez de la proposición “todos los días el sol sale por el oriente y se oculta por el occidente”, sino que, simplemente, cabe establecer una proposición hipotética susceptible de análisis lógico cuyo resultado ha sido corroborado empíricamente por un largo período de tiempo (cf. Popper, 1980: 33).

Considerando el punto de vista de Popper, el método de la ciencia moderna y su finalidad de alcanzar juicios cuya verdad sea objetiva hacen insostenible el método inductivo como método científico válido. Así, Popper elimina, en principio, la aplicación de la inducción a cualquier ámbito posible (cf. Popper, 1991: 80). Por otro lado, Lakatos no es tan estricto con la función de la lógica inductiva e incluso plantea que ella tiene un alto valor para la actividad científica dentro del cuerpo de teorías sintácticamente metafísicas (cf. Lakatos, 2002: 59). Sirva de ejemplo el caso de la metafísica mecanicista cartesiana y las *Reglas para Filosofar* de Newton:²² tales

²² Newton estableció la regla IV de la siguiente manera: *Las proposiciones obtenidas por inducción a partir de los fenómenos pese a las hipótesis contrarias, han de ser tenidas, en filosofía*

reglas –o principios– cumplen la función de orientar o apoyar las explicaciones teóricas; aunque para Lakatos, se debe reconocer su falibilidad, a pesar de ser metafísicamente influyentes en la actividad científica. Sobre este tema, Lakatos escribió lo siguiente:

[E]n mi opinión, el que una proposición sea un <<principio inductivo>> no sólo depende de la proposición en sí misma, sino además de su *naturaleza* y función epistémicas: la verdad de un principio inductivo ha de establecerse *a priori*, porque su función consiste en ser premisa de una *prueba* o justificación. (Lakatos, 1987: 250)

Cabe señalar que la regla IV trata sobre un conjunto de proposiciones con sentido cuyo contenido empírico tiene una alta probabilidad; en términos de Popper, eso la hace mínimamente corroborable. Esto quiere decir que, la verdad²³ predicable de dicha regla se establece *a priori* y convencionalmente para el uso extrametodológico de la inducción, puesto que su finalidad es evitar introducir hipótesis *ad hoc* de manera arbitraria y sin evidencia empírica.

Ciertamente, los principios o reglas inductivas ayudan a conducir y entender el cambio en el tipo de criterios válidos de la filosofía natural. Para ejemplificar lo anterior, sirva mencionar la polémica en la que estuvo involucrado Newton a partir de la carta que Halley redactó sobre la recepción de los *Principia* en la *Royal Society* el 22 de mayo de 1686 (cf. Lakatos, 2002: 263). En dicha carta, lo que se menciona es que Newton tomó de Hooke la fórmula del inverso del cuadrado de la ley de gravitación y que solo la demostración de las curvas generadas a partir de la ley pertenecía enteramente a Newton. Esta polémica, de acuerdo con Lakatos, hizo que Newton escribiera en la primera edición de los *Principia* la siguiente frase: “La

experimental, por verdaderas exacta o muy aproximadamente, hasta que aparezcan otros fenómenos que las hagan o más exactas o expuestas a excepciones. Debe hacerse esto para evitar que el argumento de inducción sea suprimido por las hipótesis. (Newton, 2002: 214).

²³ Lakatos tomó el término ‘verdad’ siguiendo la noción de verosimilitud de Popper, entendida como la diferencia entre el contenido de verdad, menos el contenido de falsedad de un conjunto de proposiciones con sentido. (cf. Lakatos, 1987: 242).

ley de gravitación del inverso del cuadrado se cumple para todos los movimientos celestes, como también fue descubierto de forma independiente por mis compatriotas Wren, Hooke y Halley” (Lakatos, 2002: 263-264). Sin embargo, en la segunda y la tercera edición, se observa una modificación importante al introducir *Reglas* en lugar de hipótesis; así, las *Reglas* prohíben postular hipótesis sin pruebas inductivas experimentales, como descubrimientos (cf. Lakatos, 2002: 264). En este sentido, las *Reglas* fueron una modificación metodológica que le permitió a Newton eliminar la concesión con sus compatriotas. Esto muestra la falibilidad de las pruebas a la luz de la rigurosidad de las reglas o principios convencionalmente aceptados como válidos.

Ahora bien, la crítica popperiana parte de la noción de teoría científica como sistema de enunciados universales que excluyen eventos y que son susceptibles de entrar en conflicto con enunciados básicos que representan acontecimientos observacionales. Esta caracterización establece así una relación asimétrica entre los enunciados, ya que los primeros no se justifican por los segundos, pero éstos últimos sí que pueden refutar a los primeros. Esto significa que, por ejemplo, un enunciado singular acerca del perihelio de Mercurio puede refutar las leyes de Kepler, pero ninguna cantidad de enunciados singulares puede verificar formalmente dichas leyes (cf. Popper, 1991: 67).

En cualquier caso, el argumento más sólido de Popper contra la justificación inductiva de la verdad (probable) de las teorías es que siempre trascienden la experiencia empírica (cf. Popper, 1980: 86). Ello entraña un cambio en los criterios normativos para aceptar metodológicamente una teoría o ley; sobre ello escribió: “la aceptación por la ciencia de una ley o una teoría es sólo tentativa; lo cual equivale a afirmar que todas las leyes y teorías son conjeturas o hipótesis de ensayo” (Popper, 1991: 81). De ahí que Popper opusiera la noción de corroboración y refutabilidad a la noción de verificación y de probabilidad.

Ahora bien, aunado a los argumentos en contra de la verificación de teorías con base en la inducción, también se deben mencionar aquellos en contra de la probabilidad. A la noción de probabilidad desarrollada por los simpatizantes del

Círculo de Viena, Popper opuso una crítica dirigida a la idea de los datos inmediatos de la experiencia empírica, caracterizados por Ayer como tautologías. Desde el punto de vista de Popper, la utilidad de los datos cualitativos y cuantitativos, requiere una interpretación realizada a la luz de alguna teoría (cf. Popper, 1991: 46). Esto significa que no es posible que haya observaciones y mediciones puras, debido a lo cual el conocimiento científico no puede basarse exclusivamente en la acumulación de ellas. Sobre este tema, Popper expuso lo siguiente:

Los empiristas creían por lo común que la base empírica consistía en percepciones u observaciones absolutamente “dadas”, en “datos”, y que era posible construir la ciencia sobre estos datos como sobre una roca. En oposición a esta doctrina, señalé que los “datos” aparentes de la experiencia son siempre interpretaciones a la luz de teorías por lo cual tienen el carácter hipotético o conjetural de todas las teorías. (Popper, 1991: 461)

En los casos de Galileo y Newton, por ejemplo, las observaciones y mediciones requirieron explícitamente ser interpretados a la luz de una teoría. Al respecto, Carlos Solís escribió: “No basta con orientar el telescopio a los cielos para revolucionar la visión clásica del mundo” (Solís, 1988: 17). Así, en el caso de Galileo, las observaciones respecto a las estrellas fijas de Júpiter (lunas), el relieve lunar, las manchas solares y las fases de Venus requirieron una teoría interpretativa consistente para darle sentido a los datos recogidos gracias al telescopio, a saber, la teoría-copernicana (cf. Solís, 1988: 21). De igual manera, ello ayudó a establecer la contrastación de teorías por medios experimentales cuyos resultados justifican una teoría interpretativa, a la luz de la evidencia disponible; tal fue el caso de la evidencia observacional a favor de la teoría platónico-copernicana, y en contra de la teoría aristotélico-ptolemaica.

En el segundo caso, cabe mencionar la controversia y cooperación de Newton con John Flamsteed, el primer astrónomo Real. La controversia se generó por el uso de las observaciones de Flamsteed como fundamento de la teoría lunar de Newton. Esto no le agradó por el hecho de que sus observaciones, en principio, resultaron ser contraejemplos de la teoría newtoniana, lo cual debió ser suficiente para que la

teoría se abandonase a la luz de la evidencia observacional disponible (cf. Lakatos, 2002: 275). Sin embargo, la cooperación surgió cuando Newton le explicó a aquél cómo debía reinterpretar las observaciones que contradecían su teoría y le enseñó una mejor teoría del poder refractario de la atmosfera que la aceptada por él y que, de hecho, corregía sus datos originales (cf. Lakatos, 2002: 276). Como lo muestra este ejemplo, se da así un cambio en la naturaleza de la relación entre observación y teoría que, a diferencia del ejemplo anterior, los newtonianos establecieron de manera dinámica. Así Lakatos se refirió a los newtonianos de la siguiente manera: “sabían que no sólo las teorías deben ser contrastadas mediante las observaciones, sino también las observaciones por medio de las teorías” (Lakatos, 2002: 274-275).

La crítica popperiana a la noción de la probabilidad de teorías, sin embargo, va más allá, pues se basa en la incompatibilidad entre la probabilidad lógica y el contenido empírico de una teoría. Anteriormente, ya hemos explicado la noción de probabilidad lógica, desde el punto de vista de los simpatizantes del Círculo de Viena. Sin embargo, Popper plantea, según sus criterios de progreso científico, que las teorías deben: 1) poseer mayor contenido informativo, es decir mayor contenido empírico; 2) ser lógicamente consistentes y coherentes; 3) tener poder explicativo y predictivo; y 4) ser susceptibles a evaluaciones independientes severas entre observaciones y predicciones (cf. Popper, 1991: 266-267).

Bajo dichos criterios, los ejemplos que expusimos en el capítulo anterior sobre la solubilidad del oro y la expansión del cobre cuando se le aplica calor, cumplen con los criterios 2 y 4, si bien, siguiendo a Popper, son los criterios 1 y 3 aquellos cuyo objetivo es llegar a tener teorías explicativas y predictivas con un mayor contenido empírico. Así, los criterios 2 y 4 solo justifican teóricamente una proposición universal (ley natural) como una descripción probable de un estado de cosas, dado que su verdad depende de la inferencia inductiva de una cantidad limitada de observaciones verificadas momentáneamente que cumplen con la descripción planteada por la ley natural. Una postura, esta última, que Popper considera injustificada: “La razón por la cual las leyes universales no son verificables es, así, idéntica a la razón por la cual no son confirmables: es demasiado lo que afirman

acerca del mundo, más de lo que podríamos ‘verificar’ o ‘confirmar’” (Popper, 1991: 342).

En tales casos, por lo tanto, resulta imposible verificar las leyes universales por la dependencia que existe entre la noción de probabilidad lógica y el método inductivo, cuyo fundamento son los datos de la experiencia inmediata. Esto se deduce de los argumentos de la asimetría y la necesidad de una teoría interpretativa que expusimos anteriormente. De esta manera, para Popper queda inhabilitada la noción de probabilidad lógica:

Puede expresarse esto diciendo que la probabilidad lógica de una oración x con respecto a un conjunto dado de elementos de juicio y disminuye cuando el contenido informativo de x aumenta. Pues el científico está más interesado en las teorías con un alto contenido informativo. No se ocupa de trivialidades altamente probables, sino de hipótesis audaces y severamente testables (y severamente testeadas). (Popper, 1991: 347)

Precisamente, el falsacionismo metodológico de Popper propuso alternativas para establecer normativamente un criterio de demarcación que permitiera justificar las teorías científicas y explicar el progreso científico. La postura de Popper invierte la perspectiva epistemológica del conocimiento científico, abandonando la idea de verdad convencional (probable) y antigua (*episteme*), misma que se basa en el supuesto de que la verdad es manifiesta, como si la naturaleza fuera un libro abierto a la espera de ser simplemente leído (cf. Popper, 1991: 36).

Pese a lo anterior, Popper preserva una idea de verdad objetiva como principio teleológico, un patrón al cual nunca podemos ajustarnos conclusivamente con las teorías (cf. Popper, 1991: 38). Así, Popper propuso, siguiendo a Tarski²⁴, la noción de verosimilitud como idea metodológica de verdad, entendida como correspondencia con los hechos o aproximación a la verdad (cf. Popper, 1991: 286).

²⁴ Alfred Tarski fue un matemático y filósofo, considerado uno de los mejores lógicos del siglo XX, cuyas principales contribuciones fueron las caracterizaciones matemáticas del concepto de verdad y las consecuencias lógicas de enunciados en lenguajes formalizados (Cf. Gómez-Torrente, 2019).

La importancia de esto radica en que, desde este punto de vista, la verdad es una propiedad predicable del contenido empírico de un enunciado básico x o bien, de una teoría T . En el primer caso, el contenido empírico de un enunciado básico es la expresión verdadera o falsa sobre la existencia de hechos observacionales dentro de una región espacio-temporal pequeña (cf. Popper, 1991: 460). En el segundo caso, el contenido empírico de una teoría es la clase de enunciados básicos (hechos observacionales) que contradicen la teoría; Popper los considera la clase de los falseadores potenciales (cf. Popper, 1991: 459). Así, el contenido empírico de x y T resulta de sus consecuencias lógicas no tautológicas, compatibles e incompatibles, sobre las cuales es posible predicar su verdad o falsedad.

Lo anterior nos sugiere la posibilidad de combinar las ideas de verdad y de contenido y fundirlas en una sola: la idea del grado de mejor (o peor) correspondencia con la verdad o de mayor (o menor) semejanza o similitud con la verdad; o, para usar un término ya mencionado antes (en contraposición con la probabilidad), la idea de (grados de) *verosimilitud*. (Popper, 1991: 284)

No obstante, no debe obviarse el que los medios observacionales solo son capaces de determinar conclusivamente la verdad o falsedad de los enunciados básicos. En el caso de las teorías, solo se puede determinar conclusivamente su falsedad por medio de enunciados básicos que contradigan la teoría, por lo que la única manera de predicar de ellas alguna noción relacionada a la verdad se basa en su grado de verosimilitud o corroboración, cuya finalidad Popper describe de la siguiente manera: “Nuestra idea de aproximación a la verdad, o de verosimilitud, tiene el mismo carácter objetivo y el mismo carácter ideal o regulador que la idea de verdad objetiva o absoluta” (Popper, 1991: 286).

Lo que hizo el falsacionismo metodológico fue establecer criterios convencionales para definir cuándo una teoría puede ser tomada como candidata a evaluación y determinar su grado de corroboración. En este sentido, Popper concuerda con los simpatizantes del Círculo de Viena en algunos de tales criterios como en el caso de un lenguaje descriptivo apropiado, la contrastación intersubjetiva, el uso de términos

indefinidos²⁵ y la coherencia, como el requisito más general que debe cumplir una teoría científica (cf. Popper, 1980: 88). Además, Popper concuerda, aunque con matices, con el criterio de sencillez, pues, para él, la sencillez de una teoría se determina por la cantidad de sus falsadores potenciales, es decir, por sus contrastaciones: a mayor cantidad de éstas, más sencilla es la teoría (cf. Popper, 1980: 254). Tal sería el caso de la geometría euclidiana frente a la geometría de Lobachevski-Bolyai: en el caso de la suma de los ángulos de un triángulo formado por rayos luminosos, cualquier desviación apreciable de los 180° falsará la hipótesis euclidiana, mientras que la geometría de Bolyai-Lobatschewski será compatible con toda medida que no exceda los 180° . Al respecto de la falsabilidad de la geometría de Lobachevski-Bolyai, Popper escribió:

Para falsear esta última hipótesis no sólo sería necesario medir la suma de los ángulos, sino también el tamaño (absoluto) del triángulo –lo cual quiere decir que tendría que definirse otra unidad de medida (además de la de los ángulos), tal como una unidad de área–. Así pues, vemos que se necesitan más mediciones para llevar a cabo una falsación, que la hipótesis es compatible con mayores variaciones del resultado de aquéllas, y que, por ello, es más difícil de falsear, o sea, es falsable en grado menor. (Popper, 1980: 135-136)

Ahora bien, mientras que los criterios normativos para determinar cuándo una teoría debe ser tomada en cuenta para someterse a evaluación son claros, será necesario, para los fines de este trabajo, ampliar la explicación sobre los criterios normativos respecto a la forma de evaluar el progreso científico y los argumentos a favor del criterio de demarcación científica planteado por Popper. En primer lugar, una teoría que cumple con los criterios normativos para ser tomada en cuenta para su evaluación o contrastación, parte de condiciones iniciales que son enunciados singulares y ofrece una explicación causal racional, es decir, coherente y

²⁵ Popper concuerda con Carnap al reconocer la necesidad de usar términos primitivos indefinidos cuyo significado varía conforme al contexto de la teoría y el uso práctico experimental (cf. Popper, 1991: 339).

consistente que postula como hipótesis cuyo carácter es, en principio, el de leyes universales. Sobre la noción de teoría científica, Popper escribió: “Las teorías son redes que lanzamos para apresar aquello que llamamos <<el mundo>>: para racionalizarlo, explicarlo y dominarlo. Y tratamos de que la malla sea cada vez más fina” (Popper, 1980: 57).

A lo anterior se suma la condición de falsabilidad de la teoría: la teoría divide los enunciados singulares experimentales en dos clases no vacías, a saber, la de los falsadores potenciales y la de los verificados²⁶. Sin embargo, debemos agregar que a los criterios normativos para la evaluación del progreso científico subyacen una condición que debe ser cumplida, a saber, la regularidad y reproducibilidad experimental, de modo que se cumpla la contrastación intersubjetiva y se eviten las coincidencias o se tomen en consideración eventos aislados (cf. Popper, 1980: 44). Así, se establece que tanto los hechos verificados, como los eventos excluidos o prohibidos que podrían falsear la teoría, deben ser experimentalmente regulares y reproducibles. “Esta condición”, escribe Popper, “es necesaria, pero no suficiente, pues hemos visto que los acontecimientos aislados no reproducibles carecen de significación para la ciencia” (Popper, 1980: 83).

En tercer lugar, la disposición, como condición, establece que las teorías deben evitar usar enunciados negados, disyunciones y condicionales porque son enunciados ejemplificadores (cf. Popper, 1991: 461). A pesar de que tales enunciados son empíricos, ellos no cumplen con la finalidad planteada por la evaluación, es decir, la refutación. Aunado a lo cual, la disposición complementa la falsabilidad porque establece que la teoría debe ser un sistema gradual de términos disposicionales que permitan predecir estados de cosas observacionales

²⁶ Es importante destacar que la noción de verificación en Popper remite a un período de tiempo corto en el que las deducciones (enunciados singulares) de la teoría han sido verificadas momentáneamente. Esto quiere decir que no se han encontrado contraejemplos que den razón de su falsedad, en dicha evaluación, pero esto no garantiza que no se encontrarán contraejemplos en evaluaciones posteriores (cf. Popper, 1980: 33).

desconocidos hasta el momento: de darse el caso, corroboraría la teoría, mientras que, en caso contrario, la falsearía.

Las palabras disposicionales tales como “rompible”, puede decirse, describen algo, ciertamente; pues decir de una cosa que es rompible es describirla como algo que puede romperse. Pero decir que es rompible o soluble es describirla de una manera diferente, y por un método diferente, que decir que esta rota o disuelta; de no ser así, no usaríamos el sufijo “ible”. La diferencia es esta: al usar palabras disposicionales, describimos lo que puede ocurrirle a una cosa (en ciertas circunstancias). (Popper, 1991: 144)

Por último, el punto final de la evaluación es el dictamen, según lo cual, asumiendo que una teoría que ha cumplido con todos los criterios normativos descritos anteriormente y que ha superado exitosamente su evaluación (esto es, no ha sido falseada), ella es aceptada solo tentativamente y es etiquetada como “buena” teoría (cf. Popper, 1991: 78). Esto quiere decir que su éxito corroborado solo es temporal, pues nada garantiza que a la luz de nuevos experimentos (o evaluaciones posteriores) no será falseada, a pesar de lo cual, llegado el caso, ella no deberá ser eliminada en la medida en que: a) puede seguir siendo útil como una aproximación fácil de manipular (cf. Popper, 1991: 83); y b) garantiza un dominio de aplicación más limitado que el propuesto originalmente por la teoría. Tal sería el caso de la teoría de la gravitación universal de Newton frente a la teoría de la relatividad de Einstein (cf. Popper, 1991: 288).

Como consecuencia, la noción de evidencia derivada de la evaluación tendría un matiz observacional negativo, ya que solo podríamos establecer conclusivamente que una teoría es falsa a la luz de contraejemplos que la tornen inconsistente o incoherente. De tal forma, la inconsistencia y la incoherencia constituyen criterios que ofrecen un marco normativo objetivo para determinar cuándo se debe rechazar una teoría, a pesar de que reconozcamos que las refutaciones nunca son enteramente concluyentes (cf. Popper, 1980: 49). Al mismo tiempo, queda un vestigio de la noción de evidencia con un matiz teórico positivo en la idea de “buenas razones” o “buenas muestras”. Así, de una teoría que ha sido aceptada se dice, en

un sentido, que no se han encontrado buenas razones para rechazarla pero, en otro sentido, se dice que presenta o presentó buenas muestras para ser aceptada, siendo solo en este último sentido que se puede establecer racionalmente que una teoría es aproximadamente verdadera. Al respecto, Popper planteó lo siguiente:

El juego de la ciencia, en principio, no se acaba nunca. (...) No se eliminará una hipótesis propuesta y contrastada, y que haya demostrado su temple, si no se presentan <<buenas razones>> para ello. Ejemplos de <<buenas razones>>: sustitución de la hipótesis por otra más contrastable, falsación de una de las consecuencias de la hipótesis. (Popper, 1980: 52)

Queda algo por decir, sin embargo, respecto a la valoración entre teorías y el progreso científico, con base en el poder explicativo y predictivo tenidos como criterios normativos. Si se toma en cuenta la mencionada relación entre la teoría de la gravitación de Newton y la de Einstein, se puede decir que la teoría del segundo superó a la del primero porque permitió explicar el desplazamiento del perihelio de Mercurio que, en la teoría newtoniana, era una anomalía que no había sido explicada. Pero, además, ella predijo con éxito que, en circunstancias tales como un eclipse, se podría observar un desplazamiento de la luz (teoría de la deflexión gravitatoria) de las estrellas cercanas al sol y entre ellas mismas, observaciones que fueron fotografiadas y confirmadas por la expedición de Eddington durante el eclipse de 1919 (cf. Popper, 1991: 58).

Como resultado de las confirmaciones de la teoría de Einstein, se dice, en un sentido, que la teoría newtoniana ha sido superada, refutada, falseada, pero no eliminada. Esto debido a la que la teoría de Einstein incluyó los casos contenidos en la teoría newtoniana dentro de un corpus teórico más amplio,²⁷ el cual reformula

²⁷Es importante destacar que, a pesar de que la mecánica clásica fue refutada, no significa que sea de hecho falsa, sino mas bien, inconsistente bajo ciertas condiciones iniciales. De esta manera, resulta que su grado de verosimilitud es menor al pensado en relación con su correspondencia con los hechos o, es menos próxima a la verdad de lo que se pensaba. En este sentido, la teoría de la relatividad, junto con las geometrías no Euclides, ampliaron considerablemente la noción de realidad en términos macroscópicos; algo que de igual manera hizo teoría cuántica, pero en términos microscópicos. Al respecto, Reale escribió: Las dos

la noción de tiempo y espacio de la mecánica clásica. Más aún, con base en los argumentos anteriores cabe sostener que la teoría de Einstein hizo progresar a la ciencia porque la hizo transitar de una parcela de realidad menos actualizada a una más actualizada, en el entendido de que el progreso científico se basa en una mayor cantidad de conocimiento, mejores explicaciones y predicciones riesgosas confirmadas.

Todo el análisis anterior da muestra de la riqueza contenida en el debate en torno al criterio de demarcación entre ciencia y pseudo-ciencia, así como también respecto al progreso científico y los temas relacionados con él. Ciertamente, debemos reconocer que Popper realizó una importante aportación al proponer el falsacionismo metodológico como marco normativo de la actividad científica. No obstante, pensadores posteriores tales como Imre Lakatos²⁸, Ernest Nagel²⁹ y Thomas S. Kuhn consideraron deficiente la propuesta de Popper a la luz de diversas metodologías para reconstruir la historia de la ciencia. Para ellos, el falsacionismo metodológico no agotó la riqueza del campo de estudio en el que se había insertado, lo cual implicó, como en el caso de Lakatos y Nagel, una actualización con base en desarrollos ulteriores y críticas puntuales.

Precisamente, Lakatos planteó mejoras y críticas al falsacionismo metodológico porque consideró que la propuesta de Popper era irrealizable en algunos casos y

teorías admiten que la física clásica es una excelente aproximación en lo que respecta a los valores de las magnitudes físicas que entran dentro de los límites de nuestra experiencia cotidiana. La teoría cuántica, empero, es necesaria para enfocar los fenómenos microscópicos (por ejemplo los fenómenos atómicos, nucleares o subnucleares), mientras que la relatividad se aplica a velocidades y longitudes muy grandes, por ejemplo a escala astronómica. (Reale y Antiseri, 2016: 849)

²⁸ Imre Lakatos huyó de su país natal Hungría, a causa de la invasión soviética y emigró a Londres en el año de 1956, donde emprendió el estudio de la filosofía (cf. Hacking, 1985: 243). Llegó a ser profesor de lógica en la London School of Economics, pero nunca obtuvo la ciudadanía y falleció a la edad de 51 años de un ataque al corazón en 1974 (cf. Musgrave y Pidgen, 2016).

²⁹ Ernest Nagel fue un filósofo estadounidense de origen checo; obtuvo su doctorado en la Universidad de Columbia, donde también ejerció de profesor. Falleció el 20 de septiembre del 1985 en Nueva York.

en otros, no describía adecuadamente la actividad científica. De ahí que, para él, aquel fuera un marco normativo deficiente e incompleto de una teoría de la racionalidad científica. No obstante, Lakatos concuerda con las condiciones formales planteadas por el Círculo de Viena, respecto a la constitución de proposiciones científicas al considerarlas teóricas y expresiones de un conocimiento causal (cf. Lakatos, 2002: 30). Asimismo, él concuerda con Popper al considerar todas las proposiciones científicas como falibles (cf. Lakatos, 2002: 27). Dicho esto, la propuesta que Lakatos desarrolló puede ser interpretada como una actualización del falsacionismo metodológico, porque él comienza a hablar de 'programas' en lugar de teorías aisladas; así denominó su propuesta: *La metodología de los programas de investigación científica*³⁰.

De esta manera, Lakatos observó que la forma en que se han desarrollado y constituido los programas a lo largo de la historia de la ciencia implican relaciones más complejas y diversas que un simple aventurarse a conjeturar y probar teorías aisladas; crítica con la que concuerda Nagel (cf. Nagel, 1981: 21-22). Más aún, Lakatos esquematizó los PIC como unidades descriptivas históricamente exitosas, constituidas por un núcleo duro, un cinturón protector y una heurística con una vertiente positiva y negativa (cf. Lakatos, 2002: 13). Simultáneamente, Nagel propuso una metodología basada en la *estructura de la ciencia*, la cual incluye la analogía en dos vertientes, formal y substantiva, como parte de sus elementos constitutivos (cf. Nagel, 1981: 110). Cabe señalar que, desde nuestro punto de vista, consideramos plausible abordar la analogía y la heurística como herramientas metodológicas que, a la luz de argumentos ulteriores, muestren en qué sentido dichas herramientas son similares, con base en la función que desempeñan en sus respectivas metodologías.

Por su parte, la MPIC surge como una propuesta para reconstruir la historia interna y externa del desarrollo de un PIC; así como también, evaluar su carácter progresivo o regresivo, a la luz de una teoría de la racionalidad científica que puede ser

³⁰ A partir de este momento, abreviamos la propuesta de Lakatos como (MPIC) y (PIC) para hablar sobre los programas de investigación científica.

falseada historiográficamente (cf. Lakatos, 2002: 169). Así, partiendo de los elementos mencionados por Lakatos, el núcleo duro³¹ de un programa surge como un corpus teórico (conjunto de leyes) irrefutable e inalterable, desde un punto de vista metodológico; un ejemplo de ello sería el caso de las tres leyes de la dinámica y la ley de la gravitación de Newton (cf. Lakatos, 2002: 67). En cambio, el cinturón protector está articulado por hipótesis auxiliares (conjunto de teorías) que sirven para proteger el núcleo duro del programa del *modus tollens*; estas teorías tratan de ofrecer una explicación satisfactoria para las anomalías o contraejemplos que surgen contra el PIC, de forma que resulten ser casos corroboradores del PIC. De esta postura se deriva que, el cinturón protector [o dichas hipótesis auxiliares] funcionan como puente del PIC con la realidad, donde acontecen las corroboraciones del programa o, las refutaciones de las hipótesis auxiliares, pero no del núcleo duro. Tal es la función de la óptica geométrica y la teoría de la refracción atmosférica en el PIC newtoniano, sobre el que Lakatos comentó lo siguiente:

Llamo a este cinturón, *cinturón protector* porque protege al núcleo firme de las refutaciones: las anomalías no se aceptan como refutaciones del núcleo firme sino como refutaciones de algunas hipótesis del cinturón protector. En parte, debido a la presión empírica (pero, en parte, según el *diseño* de su heurística) el cinturón protector es modificado constantemente, expandido,

³¹Cabe mencionar que el ‘núcleo duro’ y su demarcación con la ‘heurística’ posee un carácter histórico, es decir, se desarrolla a través del tiempo. Así, podemos observar que, en el caso de dos programas rivales como el copernicano y el ptolemaico, poseen un origen común en el proto-programa pitagórico-platónico, el cual dictaba que todos los cuerpos celestiales son perfectos y que todos los fenómenos astronómicos deben reproducirse mediante una combinación de un número mínimo de movimientos circulares y uniformes (cf. Lakatos, 2002: 232). No obstante, el proto-programa pitagórico-platónico no contenía directrices para articular la ubicación del centro del universo, por lo que Lakatos se refirió él de la siguiente manera: “En este caso la heurística era primaria; el <<núcleo firme>>, secundario (Lakatos, 2002: 232). Más aún, la hipótesis geocéntrica defendida por Eudoxo, sólo llegó a constituirse como ‘núcleo duro’ hasta que Aristóteles desarrolló la física (sublunar y supra lunar) que distinguió entre movimiento natural y violento, para cada uno de sus fenómenos (cf. Lakatos, 2002: 232).

complicado, mientras que el núcleo firme permanece intacto. (Lakatos, 2002: 230)

Ahora bien, Lakatos configuró la heurística cómo una herramienta metodológica desde el área de las pruebas matemáticas³². Lo que Lakatos se propuso mostrar, con base en el método de pruebas y refutaciones, fue la riqueza de las pruebas pre-formales ante la mecanización e irracionalismo del método deductivo privilegiado por la escuela formalista³³ a la que, de hecho, dirigió unas palabras:

Mientras que en una teoría informal existen realmente posibilidades ilimitadas de introducir más y más términos, más y más axiomas, hasta el presente ocultos, más y más reglas ocultas hasta el presente en la forma de nuevos esclarecimientos llamados <<obvios>>; en una teoría formalizada la imaginación está amarrada a un pobre conjunto recursivo de axiomas y a unas pocas reglas. (Lakatos, 1987: 100)

Dicho lo anterior, la heurística permitió a Lakatos articular en particular la naturaleza de las matemáticas como una actividad creativa, a través de una relación dinámica y estática compleja, en la cual, se involucran situaciones problema, conjeturas, pruebas, contraejemplos y refutaciones (cf. Mancosu, 2015: VIII). Más aún, esta relación compleja permitió introducir ideas clave para la reconstrucción racional de la historia de las ciencias, como el período crítico y el período creativo de las teorías, mismas que se corresponden con la historia intelectual de los PIC. Así, desde esta perspectiva, se puede comprender la explicación de Lakatos respecto a las ideas revolucionarias de Euler, frente a las de Descartes, quién de hecho hizo un gran

³² El caso analizado fue la prueba del Teorema de Euler para la clasificación de Poliedros (cf. Lakatos, 2015: 6).

³³ La escuela formalista, según Lakatos, se configuró en torno a los trabajos de David Hilbert, Rudolf Carnap, Alfred Tarski, Giuseppe Peano etc., quienes ponderaron la lógica de la justificación por sobre la lógica del descubrimiento, con base en la idea de las matemáticas como puros sistemas formales axiomatizados (cf. Lakatos, 2015: 4). Cabe mencionar que el método deductivo, privilegiado por ellos, parte de la idea de proposiciones verdaderas e inferencias válidas cuyo conjunto se va enriquecido indefinidamente, lo que garantiza un conjunto de verdades inmutables siempre en crecimiento.

aporte en relación con el número de ángulos planos y ángulos sólidos. No obstante, fue Euler quién estableció las condiciones necesarias y suficientes para la completa caracterización de poliedros, tal y como Lakatos lo describe: “The key to Euler’s result was just the invention of the concepts of *vertex* and *edge*: it was he who first pointed out that besides the number of faces the number of *points* and *lines* on the surface of the polyhedron determines its (topological) character” (Lakatos, 2015: 6). Precisamente, Lakatos utilizó el teorema de Euler³⁴ para exponer su propuesta de la aproximación heurística con base en el concepto de generación de pruebas críticas (cf. Lakatos, 2015: 153). Así, los teoremas propuestos como conjeturas deben ser probados mediante experimentos mentales³⁵ (pruebas pre-formales). En tales experimentos, lo que se lleva a cabo es una descomposición de la conjetura original en sub-conjeturas (argumentos), como fue el caso del teorema de Euler para poliedros simples. Ahora bien, estas sub-conjeturas pueden ser refutadas por contraejemplos locales³⁶ que no afectan la conjetura principal. En contraste, Lakatos denominó ‘*monstruos*’ o ‘casos patológicos’ a contraejemplos globales³⁷ que pueden refutar la conjetura principal, como fue el caso propuesto por ALPHA sobre un par de cubos anidados, uno de los cuales está dentro del otro sin tocarse; en este ejemplo, el argumento que se sostiene es que, al quitar una cara del cubo

³⁴ Lakatos expuso el teorema de Euler así: “Supongamos que V denota el número de vértices, A es el número de aristas y C es el número de caras de un poliedro simple; entonces invariablemente $V-A+C=2$ ” (Lakatos, 1987: 94).

³⁵ Un experimento mental puede mostrar intuitivamente que un teorema es verdadero, aunque a veces no cumpla con este objetivo. Sin embargo, interpretados erróneamente se les suele hacer pasar por hechos matemáticos (cf. Lakatos, 1987: 96).

³⁶ Los contraejemplos locales muestran la falsedad de los argumentos presentados en las pruebas; no obstante, no implica que la conjetura sea falsa, sino que la prueba es inconsistente y requiere mejorarse. Así, respecto al criticismo de las pruebas, Lakatos escribió lo siguiente: “Criticism is not necessarily destruction. I shall improve my proof so that it will stand up to the criticism” (Lakatos, 2015: 11).

³⁷ Los contraejemplos globales son capaces de refutar, en principio, la conjetura principal: por ejemplo, un poliedro estrella, dos tetraedros que tienen una arista en común o, dos tetraedros que tienen un vértice en común refutan, en principio, el teorema de Euler (cf. Lakatos, 2015: 15-18).

interno, el poliedro no puede ser estirado en un plano; algo que tampoco se logra al eliminar una cara del cubo externo. Además, la aplicación del teorema para este caso da como resultado $V-A+C=4$ (cf. Lakatos, 2015: 14).

Lo interesante de la aproximación heurística es la forma en cómo permite afrontar los diversos contraejemplos que surgen contra la conjetura y/o la prueba. En el caso de los contraejemplos locales, la heurística permite introducir hipótesis *ad hoc*³⁸ (mejoras o cambios) en las sub-conjeturas, con base en modelos de creciente complejidad, de manera que eviten ser refutados y eliminen o asimilen el contraejemplo. Así, la incompatibilidad teórica entre la tercera ley de la dinámica de Newton y la ley del inverso cuadrado de la elipse de Kepler, es un ejemplo de ello. Por su parte, dicha dificultad llevó a Newton a modificar su modelo astronómico que inicialmente postulaba un punto fijo representado por el sol, el cual posteriormente fue sustituido por un centro de gravedad común respecto al sol y los planetas (cf. Lakatos, 2002: 69). Precisamente, en los primeros modelos ideales de una conjetura es posible descubrir aspectos inesperados que no se contemplaban; en tales casos, la heurística es capaz de profundizar o generalizar dichos aspectos, con base en la introducción de sub-conjeturas, de tal manera que sean contemplados explícitamente. Más aún, Lakatos apuntó que las pruebas ayudan a mejorar la conjetura, la cual puede ser verdadera, a pesar de que la prueba no lo pruebe y añadió lo siguiente:

The theorem does not always differ from the naive conjecture. We do not necessarily improve by proving. Proofs improve when the proof-idea discovers unexpected aspects of the naive conjecture which then appear in the theorem. But in mature theories this might not be the case. It is certainly the case in young, growing theories. This intertwining of discovery and

³⁸Al respecto del carácter *ad hoc* de las hipótesis auxiliares, Lakatos planteó tres clases: “las que no tienen un exceso de contenido empírico con relación a sus predecesoras ($\langle\langle ad hoc \rangle\rangle_1$); las que tienen tal exceso de contenido, pero ninguna parte del mismo está corroborada ($\langle\langle ad hoc \rangle\rangle_2$) y finalmente aquellas que no son *ad hoc* en estos dos sentidos pero que no forman parte integral de la heurística positiva ($\langle\langle ad hoc \rangle\rangle_3$)” (Lakatos, 2002: 146).

justification, of improving and proving is primarily characteristic of the latter.
(Lakatos, 2015: 45)

Conviene subrayar que los contraejemplos globales implican un trasfondo problemático más amplio y complejo, que el planteado por los contraejemplos locales, tal y como vimos con el caso planteado por ALPHA. Teniendo en cuenta esto, la heurística debe modificar o generar pruebas, que implican una relación más compleja entre los fundamentos y el desarrollo del conocimiento; esto quiere decir que la conjetura puede ser falsa, a pesar de que a la luz de cierta prueba, aquella haya sido probada. De ahí la importancia de la noción de pruebas generadas que permiten observar los tres tipos de proposiciones aceptadas por Lakatos: “true ones, hopelessly false ones and hopefully false ones. This last type can be improved into true propositions by adding a restrictive clause which states the exceptions” (Lakatos, 2015: 28). Más aún, la heurística plantea alternativas que se pueden conjugar para atender tales casos recalcitrantes, por ejemplo: a) un bloqueo por medio de una redefinición de los términos conceptuales aceptados; b) especificar las restricciones aplicables al dominio de validez de la conjetura; c) diseñar mejores pruebas capaces de incorporar los contraejemplos globales. Como ilustración de los argumentos presentados, considérese el siguiente caso planteado por Lakatos:

Mind you, few people will share this willingness. Most mathematicians, because of ingrained heuristic dogmas, are incapable of setting out simultaneously to prove *and* refute a conjecture. They would *either* prove it *or* refute it. Moreover, they are particularly incapable of improving conjectures by refuting them if the conjectures happen to be their own. *They want to improve their conjectures without refutations; never by reducing falsehood but by the monotonous increase of truth; thus they purge the growth of knowledge from the horror of counterexamples.* This is perhaps the background to the approach of the best sort of exception-barriers: they *start* by ‘playing for safety’ by devising a proof for the ‘safe’ domain and *continue* by submitting it to a thorough critical investigation, testing whether they have made use of each of the imposed conditions. If not, they ‘sharpen’ or ‘generalize’ the first modest version of their theorem, i.e. specify the lemmas on which the proof

hinges, and incorporate them. For instance, after one or two counterexamples they may formulate the *provisional exception-barring theorem*: 'All convex polyhedra are Eulerian', postponing non-convex instances for a *cura posterior*; next they devise Cauchy's proof and then, discovering that convexity was not really 'used' in the proof, they build up the lemma-incorporating theorem! There is nothing heuristically unsound about this procedure which combines *provisional* exception-barring with successive proof-analysis and lemma-incorporation. (Lakatos, 2015: 40)

Desde el punto de vista de Lakatos, sólo se pueden comprender las modificaciones conceptuales en el teorema de Euler, comprendiendo la importancia metodológica de la heurística. Así, la heurística se justifica como una herramienta metodológica que, a la luz de una teoría normativa de la racionalidad científica, nos permite comprender la noción de potencial explicativo. Como consecuencia, se pueden comprender las modificaciones en la proposición 'todos los poliedros son eulerianos', que, a la luz de ciertos contraejemplos, fue sustituida por 'todos los poliedros convexos son eulerianos', misma que fue modificada por 'todos los poliedros simples con caras conectadas sencillamente son eulerianos' (cf. Lakatos, 2015: 44). En este sentido, las modificaciones anteriores funcionan como la puerta de entrada para una reconstrucción historiográfica que caracteriza el desarrollo de los PIC, desde la etapa 'inmadura' o 'joven', hasta constituirse en lo que Lakatos llama 'ciencia madura' (cf. Lakatos, 2002: 116).

Teniendo en cuenta que los PIC se asemejan a cuerpos orgánicos que nacen, crecen, maduran, envejecen y mueren, es importante mencionar que existe una gran diferencia entre estas etapas. La etapa 'joven' se caracteriza principalmente por el nacimiento (aislado o no) de una teoría que explica de forma novedosa hechos antiguos, como en el caso de la teoría cinética del calor, la cual permitió explicar el comportamiento de un gas cuando es comprimido o expandido, calentado o enfriado, en términos de ondas electromagnéticas (cf. Lakatos, 2002: 94). En esta etapa, no es aconsejable tratar de realizar una evaluación exhaustiva, como lo sugeriría Popper, porque se debe reconocer que no es posible anticipar cuán grande será su potencial explicativo; de ahí que, a la luz de la MPIC, se deba evitar evaluar

teorías aisladas en crecimiento. Más aún, es natural que un PIC 'joven' surja en un contexto donde la comunidad científica reconozca un conjunto de anomalías como casos recalcitrantes que se resisten a ser explicados por las teorías vigentes; en estos casos, tratar de eliminar o refutar un PIC 'joven' con base en la persistencia de tales anomalías o contraejemplos, sería un acto arbitrario e irracional. Así, Lakatos reconoció como deficiente la idea de racionalidad instantánea de Popper, cuyos juicios se basan en resultados experimentales de evaluaciones individuales; a dicha crítica, añadió lo siguiente: "Podemos comprender muy poco del crecimiento de la ciencia si nuestro paradigma de la unidad del conocimiento científico es una teoría aislada como <<Todos los cisnes son blancos>>" (Lakatos, 2002: 116).

Con respecto a la etapa 'madura', ésta se caracteriza por el hecho de que una teoría ya no sólo explica de manera novedosa hechos antiguos, sino que es capaz de guiar la práctica científica hacia hechos novedosos³⁹, con base en un conjunto de teorías entretejidas con elementos del cuerpo vigente de la ciencia. En esta etapa, los historiadores y filósofos (no así los practicantes⁴⁰) de la ciencia pueden distinguir con claridad los elementos de un PIC (núcleo duro, heurística positiva, negativa y cinturón de hipótesis auxiliares), así lo expone la reconstrucción racional del PIC newtoniano realizada por Lakatos, mencionado anteriormente. No obstante, Lakatos caracterizó la etapa 'madura' del PIC newtoniano porque, como se ha dicho, explicó de manera novedosa la ley del inverso cuadrado de Kepler, pero también, porque le permitió a Halley, calcular con base en las observaciones sobre un tramo de la trayectoria de un cometa cuándo se le volvería a ver en un punto fijo en el cielo (cf. Lakatos, 2002: 14). Así, se dice que un PIC es exitoso porque sus predicciones

³⁹ Los hechos novedosos son aquellos que a la luz del conocimiento previo son considerados improbables, imposibles o impensables (cf. Lakatos, 2002: 49).

⁴⁰ Thomas S. Kuhn no concuerda con la postura de Lakatos porque desde su punto de vista, comprender las condiciones que hacen posible el progreso a través de las revoluciones científicas, implica comprender la importancia de la conciencia de los practicantes como uno de los factores involucrados en tales eventos (cf. Kuhn, 1982: 197). Este tema se desarrollará en el apartado siguiente.

son corroboradas empíricamente, es decir, posee evidencia⁴¹ entendida como anticipaciones teóricas (cf. Lakatos, 2002: 149).

Habría que mencionar que la etapa de ‘madurez’ de un PIC, también se desarrolla en un contexto en el que existen anomalías conocidas o contraejemplos; más aún, se dice que los PIC nacen y mueren refutados (cf. Lakatos, 2002: 14). Así, Lakatos considera que un PIC, sea ‘joven’ o ‘maduro’, está en fase progresiva porque su estímulo principal es producido por la generación de pruebas de su heurística positiva; las cuales son capaces de guiar o continuar guiando, la práctica científica hacia hechos nuevos, a pesar de las anomalías. Esto significa que no se debe frenar inmediatamente el desarrollo de un PIC, sino apelar a la continuidad del programa, desde la idea de la *autonomía relativa de la ciencia teórica*⁴², tal y como Lakatos lo menciona:

Por otra parte, esto no significa que el descubrimiento de una inconsistencia (o de una anomalía) deba frenar *inmediatamente* el desarrollo de un programa; puede ser racional poner la inconsistencia en una cuarentena temporal *ad hoc*, y continuar con la heurística positiva del programa. Esto se ha hecho en matemáticas como muestran los ejemplos del primer cálculo infinitesimal y de la teoría ingenua de conjuntos. (Lakatos, 2002: 79)

⁴¹ Al respecto de la noción de evidencia, Lakatos menciona lo siguiente: “El apoyo evidencial es un concepto histórico-metodológico” (Lakatos, 1987: 247).

⁴² La noción de autonomía que defiende Lakatos se basa en la idea de que son los científicos quienes seleccionan los problemas que deben resolver, con base en la generación de pruebas de la heurística (cf. Lakatos, 2002: 145). Más aún, Lakatos aplica la categoría de autonomía para salvaguardar la responsabilidad social de la ciencia al plantear lo siguiente: “*En mi opinión, la ciencia, como tal, no tiene ninguna responsabilidad social. En mi opinión, es la sociedad quien tiene una responsabilidad: la de mantener la tradición científica apolítica e incomprometida y permitir que la ciencia busque la verdad en la forma determinada puramente por su vida interna. (...) Desde luego, como ciudadano, estoy totalmente a favor de utilizar la ciencia de modo que sirva a la anticontaminación en lugar de servir a la contaminación, y que sirva para la defensa de la libertad en lugar de servir a la subyugación de la gente más débil*” (Lakatos, 1987: 341-342).

En este sentido, la MPIC enfatiza la importancia del contexto histórico a la hora de aplicar criterios normativos racionales para evaluar el progreso científico de los PIC en sus diversas etapas. Así, el desarrollo de los PIC nos permite comprender que el surgimiento de una teoría ‘joven’ se produce en el contexto de un PIC vigente en el que se puede injertar de manera inconsistente, como fue el caso de la teoría de la gravitación universal en la mecánica cartesiana o, la astronomía copernicana de legado neoplatónico en la física aristotélica (cf. Lakatos, 2002: 77). En efecto, una de las novedades de la propuesta de Lakatos fue considerar plausible el desarrollo del conocimiento científico sobre fundamentos inconsistentes, los cuales abren la puerta a interpretaciones correctoras de hechos. Tales interpretaciones son inconsistentes con las leyes observacionales contenidas en el cuerpo de la ciencia vigente porque hacen posible interpretar un fenómeno, desde perspectivas no consideradas por teorías previas (cf. Lakatos, 1987: 178). En este punto, cabe señalar que Thomas S. Kuhn desarrolló esta idea como una transformación en la perspectiva de los practicantes sobre el mundo, emparentada con las revoluciones científicas (cf. Kuhn, 2015: 261). No obstante, siguiendo a Lakatos y a la luz de la MPIC, se puede considerar el progreso científico sobre fundamentos inconsistentes, un acto racional; muestra de ello es la reinterpretación de Newton sobre el movimiento de los cometas, con base en la teoría de la gravitación universal. Dicha teoría consideraba el movimiento de los cometas en forma de hipérbolas, parábolas o elipses, las cuales son interpretaciones inconsistentes con las líneas rectas de Kepler y la teoría religiosa de la irritación de Dios (cf. Lakatos, 2002: 14).

Como se ha mencionado anteriormente, el progreso científico sobre fundamentos inconsistentes es posible y para observarlo con más claridad, conviene considerar la relación entre la teoría de la gravitación universal y la principal hipótesis auxiliar del programa cartesiano que niega la existencia del vacío. Dicha hipótesis se basaba en la existencia de corpúsculos⁴³ elementales que constituían el medio

⁴³ Sobre los corpúsculos cartesianos, Turró escribió: “Obsérvese que la materia o *res extensa* son expresiones que, en Descartes, y a partir de *El Mundo*, designan abreviadamente la

aceptado entre planetas, estrellas, el sol y los distintos cielos que limitan entre sí por medio del firmamento, entendido como la superficie sin espesor que los separa (cf. Descartes, 1989: 141). Así, la gravedad, desde la óptica del PIC newtoniano, entra en contradicción con el PIC cartesiano porque no cumple los criterios mecánico-corpúsculares de transmisión del movimiento por contacto entre corpúsculos ponderado por la teoría de los vórtices de Descartes, mencionada en el capítulo uno. En efecto, a la luz de estas consideraciones, la gravedad no fue considerada una cualidad real por el programa cartesiano y, una de las principales críticas al programa newtoniano fue la pregunta sobre la causa de la gravedad; pregunta que el propio Newton y los newtonianos nunca pudieron responder en términos del programa cartesiano, aunque sí se lo propusieron (cf. Lakatos, 2002: 260).

Sin embargo, Lakatos considera el potencial explicativo de la heurística como criterio normativo que justifica trabajar en uno u otro programa. En el caso del PIC cartesiano, éste poseía un carácter pasivo que degeneró en un *cambio regresivo de problemática* (cf. Lakatos, 2002: 146). Esto quiere decir que el programa marchaba por detrás de la aparición de los fenómenos que se contrastaban con la teoría y no poseía predicciones exitosas que corroboraran su poder predictivo. Así, la teoría de los vórtices ofrecía una explicación cualitativa sobre la capacidad de los cometas de atravesar diversos cielos en función de su repetición (cf. Descartes, 1989: 153). En este caso, la trayectoria, la velocidad aparente y el tamaño relativo de los cometas se explicaba en términos geométricos *post hoc*. En efecto, la evidencia del programa cartesiano se basaba en la capacidad de explicar los atributos cualitativos y la causa de un determinado fenómeno, tal y como lo refiere Descartes sobre los cometas:

Por lo que respecta a los cometas, hay que observar en primer lugar que debe haber pocos en este nuevo mundo en comparación con el número de cielos, puesto que, aun cuando hubiera muchos al principio, con el transcurso del tiempo debieron golpearse y destrozarse casi todos al atravesar los

representación de lo físico como una pluralidad de partículas elementales en movimiento” (Turró, 1989: 103).

diversos cielos –tal como he dicho que ocurre con dos barcos al encontrarse– de modo que ahora sólo podrían quedar los mayores. También hay que anotar que, cuando los cometas pasan de un cielo a otro, impelen siempre delante de sí algo de la materia del que salen y permanecen durante algún tiempo envueltos en ella hasta que han penetrado lo suficiente en los límites del otro cielo, donde finalmente se la desprenden de golpe y quizá sin emplear más tiempo que el Sol al levantarse por la mañana sobre nuestro horizonte: de este modo los cometas se mueven mucho más lentamente cuando tienden a salir de algún cielo que poco después de haber entrado. (Descartes, 1989: 153)

A la luz de estas consideraciones y desde la perspectiva de la MPIC, el programa newtoniano ‘joven’ representó un *cambio progresivo de problemática* porque su crecimiento teórico se anticipó a los hechos, es decir, los predijo a pesar de las constantes anomalías teóricas respecto al vacío, el espacio y el tiempo absolutos, la aceleración absoluta y la noción de acción a distancia. Así mismo, estas anomalías, insisto, se injertaban como inconsistencias respecto al programa cartesiano porque no se ajustaban a su modelo de explicación mecánico-corporal que había degenerado en un *cambio regresivo de problemática*. De ahí que fuera su heurística positiva, y no solo la negativa, lo que mantuviera en marcha el desarrollo del programa newtoniano hasta convertirlo en el programa vigente de la ciencia en una época determinada. Así mismo, para comprender mejor el desarrollo de los programas de investigación ‘jóvenes’, Lakatos dirigió unas palabras que debemos tener en consideración:

Hay que tratar con benevolencia a los programas en desarrollo; pueden transcurrir décadas antes de que los programas despeguen del suelo y se hagan empíricamente progresivos. La crítica no es un arma popperiana que mate con rapidez mediante la refutación. Las críticas importantes son siempre constructivas; no hay refutaciones sin una teoría mejor. (Lakatos, 2002: 16)

En contraste con las etapas de 'juventud' y 'madurez', la etapa de 'vejez' de un PIC implica que ha dejado de ser apto para guiar la práctica científica porque marcha por detrás del acontecimiento de hechos novedosos, en otras palabras, el programa padece de un estancamiento teórico. Más aún, se dice que un programa ha envejecido porque su crecimiento teórico ha llegado a un punto de saturación en el que abundan las hipótesis *ad hoc*₃ para explicar hechos casuales o predichos por un programa rival, como fue el caso del programa cartesiano. Así, la etapa de 'vejez' de un programa significa que ha entrado en fase regresiva (cf. Lakatos, 2002: 91), lo cual, sin embargo, no implica su eliminación o abandono inmediato. En este sentido, Lakatos consideró una alternativa que puede reconducir el programa a su fase progresiva, siempre y cuando no exista un programa rival que lo supere y sustituya.

Más aún, sucede en ocasiones que cuando un programa de investigación entra en una fase regresiva, una pequeña revolución o un cambio *creativo* de su heurística positiva puede impulsarlo de nuevo hacia adelante. Por ello es mejor separar el <<centro firme>> de los principios metafísicos más flexibles, que expresan la heurística positiva. (Lakatos, 2002: 71)

Así mismo, la propuesta de la MPIC también contempla cómo evaluar programas rivales, como en el caso del programa de Einstein frente al de Newton. En estos casos, la MPIC considera valores normativos racionales, desde el punto de vista historiográfico. El primero es considerar si el programa 'nuevo' representó un cambio de problemática teóricamente progresivo, esto es, si predijo hechos novedosos (exceso de contenido empírico) respecto a su predecesora; el segundo es considerar si a su vez representó un cambio de problemática empíricamente progresivo, es decir, si una parte del exceso de contenido empírico se corroboró realmente (cf. Lakatos, 2002: 49). Precisamente, con base en estos criterios, la MPIC también nos permite comprender por qué el programa de Einstein superó al de Newton, descripción que Lakatos desarrolla a continuación:

La teoría de Einstein no es mejor que la de Newton *porque* la de Newton haya sido refutada y la de Einstein no lo haya sido: existen muchas <<anomalías>>

conocidas de la teoría einsteiniana. La teoría de Einstein es mejor que (esto es, representa un progreso comparada con) la teoría de Newton *de 1916* (la ley de la dinámica de Newton, la ley de gravitación, el conjunto conocido de condiciones iniciales <<menos>> la lista de anomalías conocidas tales como el perihelio de Mercurio) *porque* explicaba todo aquello que la teoría de Newton había explicado con éxito y, en cierta medida, algunas anomalías conocidas, y, además, prohibía ciertos acontecimientos como la transmisión de la luz en línea recta en la proximidad de grandes masas sobre los que la teoría de Newton nada afirmaba, pero que habían sido permitidos por otras teorías científicas bien corroboradas de la época; más aún, *por lo menos una parte* del inesperado exceso de contenido de la teoría de Einstein fue *corroborado* de hecho (por ejemplo, mediante los experimentos de los elipses). (Lakatos, 2002: 56)

En suma, la MPIC considera un conjunto de variables más amplio que interviene en el desarrollo del conocimiento científico. Tal es el caso de la noción del tiempo respecto a la aceptación de una teoría y el rechazo de un PIC; de igual manera, contempla la noción de experimentos cruciales y la existencia de programas simultáneos⁴⁴. Acerca de los experimentos cruciales, éstos describen un caso particular en el que se relacionan dos PIC rivales y un experimento cuyo resultado ofreció un caso corroborado a favor de alguno de ellos, como ocurrió en los casos anteriormente mencionados de Halley y Einstein, a los que podemos sumar el abombamiento de la Tierra y el descubrimiento y curso de Neptuno predichos por el programa newtoniano, así cómo el descubrimiento del paralaje estelar realizado por Bessel en 1838, predicho por Copérnico (cf. Lakatos, 2002: 221). Precisamente, la

⁴⁴ La MPIC contempla la posibilidad de la existencia de programas simultáneos porque no existe una sola manera de interpretar la realidad y porque no se puede predecir el crecimiento de cada programa. Incluso, Lakatos considera la posibilidad de desarrollar versiones diferentes, pero matemáticamente equivalentes, de un mismo programa de investigación (cf. Lakatos, 2002: 92). Más aún, el planteamiento de Lakatos supone a nuestro entender, una crítica importante respecto al esquema popperiano, ya que este último considera el progreso científico en términos de teoría₁ → evaluación (refutación) → teoría_n.

descripción de estos casos cómo experimentos cruciales es comprensible desde una mirada contemporánea como la de Lakatos. Así, su reconstrucción histórica nos permite comprender y evaluar de mejor manera el progreso relativo de cada PIC en su contexto histórico particular. En este sentido, Lakatos mostró las carencias de la postura de Popper respecto a los experimentos cruciales que consideraba producto de la racionalidad instantánea de las evaluaciones que había descrito y apuntó lo siguiente:

Los experimentos cruciales no existen, al menos si nos referimos a experimentos que puedan destruir *instantáneamente* a un programa de investigación. De hecho, cuando un programa es vencido y superado por otro, podemos *retrospectivamente*, llamar crucial a un experimento si resulta que ha suministrado un ejemplo corroborador espectacular a favor del programa victorioso y una derrota para el programa vencido (en el sentido de que nunca fue <<explicado progresivamente>>, o simplemente, <<explicado>>, en el seno del programa vencido. (Lakatos, 2002: 114)

Ahora bien, respecto a los criterios normativos para aceptar una teoría o, rechazar un programa, la MPIC plantea que una teoría se acepta⁴⁵ siempre y cuando, al menos, represente un cambio de problemática teóricamente progresivo, es decir, siempre y cuando posea un exceso de contenido empírico⁴⁶ respecto a su predecesora. Por otro lado, la MPIC establece como criterio normativo para el rechazo⁴⁷ de un programa, la continuidad de la fase regresiva de un programa. Más aún, si un programa rival cuyo exceso de contenido empírico es corroborado, a la luz de la MPIC resulta enteramente racional dejar de trabajar en el programa 'viejo'.

⁴⁵ Lakatos concuerda enteramente con la noción de aceptación planteada por las evaluaciones de Popper desarrollada anteriormente. Así, considera la *aceptación*₁ como la idoneidad de una teoría para su contrastación con base en su contenido empírico adicional (cf. Lakatos, 1987: 230). De igual manera, Lakatos considera la *aceptación*₂ como la corroboración adicional de algunos hechos nuevos (cf. Lakatos, 1987: 234).

⁴⁶ Sobre el contenido empírico de un programa, Lakatos escribió: "Nuestro requisito empírico, para una serie de teorías, es que produzca hechos nuevos" (Lakatos, 2002: 50).

⁴⁷ El rechazo de un programa implica que se deja de trabajar en el (cf. Lakatos, 2002: 95).

En cualquier caso, Lakatos señaló que el tiempo es una variable que debe ser tomada en consideración en las evaluaciones de los programas de investigación:

En realidad, estaría mucho más de acuerdo con el espíritu de la filosofía de Popper expedir certificados de aceptación que tuvieran sólo el carácter temporal: si una teoría es aceptada₁ pero no pasa a ser aceptada₂ en el plazo de n años, tal teoría es eliminada; si una teoría es aceptada₂ pero no ha sostenido duelos mortales en un período de m años, también es eliminada. (Lakatos, 1987: 236)

Conviene subrayar que la condición de la eliminación de teorías con base en el tiempo resulta inconsistente con la MPIC, dado que Lakatos nunca establece valores reales para dichos períodos. Aún más, la MPIC también es inconsistente con la eliminación de programas regresivos porque no posee un criterio para determinar cuándo un programa debe ser eliminado del cuerpo de la ciencia vigente. De hecho, es posible que un programa regresivo pase por un largo período de tiempo sin ser eliminado del cuerpo de la ciencia, como habría ocurrido con la versión heliocéntrica del programa platónico de Aristarco (cf. Lakatos, 2002: 234).

En este sentido, la noción de eliminación es problemática porque, en primer lugar, solo se considera aplicable a teorías individuales, a pesar de que se evalúan cuerpos de teorías, y la eliminación no es aplicable a programas, a pesar de que estos sean rechazados. Así, las teorías aceptadas₁ que no llegan a ser aceptadas₂ serían eliminadas por medio de una decisión convencional. Al respecto, Lakatos planteó lo siguiente: “Las <<reglas de eliminación>> pueden cambiar; su forma concreta no importa mucho. *Pero es vital que existan algunos procedimientos para eliminar teorías del cuerpo de la ciencia*, con el fin de asegurar que ésta no siga durante demasiado tiempo una pista que no conduce a ningún sitio” (Lakatos, 1987: 236).

No obstante, la noción de eliminación es la única conexión con la idea de pseudociencia de Lakatos, la cual, sólo es aplicable a teorías. Así, se dice que una teoría es pseudo-científica porque no representa, al menos, un cambio de problemática progresivamente teórico. De esta manera, una teoría se puede eliminar sin la

necesidad de que exista una teoría que la supere (cf. Lakatos, 1987: 238). En este sentido, insisto, no es una inconsistencia menor el hecho de que la eliminación sólo se aplique a teorías, pues de esta manera una teoría de la racionalidad científica, como la MPIC, puede justificar racionalmente la continuidad de programas regresivos, como por ejemplo el marxista, por lo que resultaría imposible denominar 'pseudo-científico' (lo que justificaría su eliminación) un programa de investigación en etapa regresiva, incluso si ésta perdurara indefinidamente.

Desde un punto de vista, se pueden considerar estas inconsistencias cómo falsaciones de la MPIC que refutarían la reconstrucción de la historia de la ciencia realizada por Lakatos. Sin embargo, desde otro punto de vista, incluso desde la propia óptica de la MPIC, estas inconsistencias pueden verse como las condiciones iniciales para generar una teoría de la racionalidad científica más crítica (más constructiva) que nos permita establecer normativamente, las condiciones de posibilidad de eliminación de programas de investigación. Precisamente, esto implicaría una actualización ulterior del esquema de Lakatos, el que indiscutiblemente fue una actualización del esquema popperiano.

Por otra parte, como se afirmó anteriormente, Lakatos no fue el único en realizar aportaciones a la metodología de la ciencia. Ernest Nagel también articuló una propuesta interesante que se basó en la noción de '*la estructura de la ciencia*'. Conviene mencionar que su proyecto no es una actualización de alguno de los esquemas que hemos desarrollado anteriormente, ni una crítica directa a alguno de ellos; más aún, Nagel desarrolló ideas que, desde nuestro punto de vista, son compatibles con algunas nociones del positivismo lógico y de la MPIC. De igual manera, consideramos que él desarrolló con mayor claridad y profundidad algunos de los temas que en nuestra investigación hemos venido desarrollando, razón por la cual, consideramos ofrecer una exposición clara y sintética de su propuesta respecto a las nociones de explicación científica y progreso teórico.

Así, desde el punto de vista de Nagel, la estructura de la ciencia se constituye a partir de los siguientes elementos: un método, teorías, leyes naturales, experimentos, evidencia, condiciones formales y materiales y una teoría sobre la

racionalidad y la verdad de la ciencia. Teniendo en cuenta estos elementos, él considera que el método que debe ponderar la ciencia es el hipotético-deductivo porque permite crear teorías explicativas susceptibles de someterse a evaluaciones experimentales (cf. Nagel, 1981: 104). En este sentido, Nagel concuerda con Popper y Lakatos; pero en lo que concierne al método inductivo, difiere de ellos porque, desde su punto de vista, su función es la de proporcionar información y no explicaciones; sobre esta idea, Nagel apuntó lo siguiente: “Un rasgo destacado de gran cantidad de información adquirida en el curso de la experiencia corriente es que, si bien esta información puede ser suficientemente exacta dentro de ciertos límites, raramente está acompañada de una explicación acerca de por qué los hechos son como se los presenta” (Nagel, 1981: 17). Simultáneamente, Kuhn considera esta información como ‘datos’ inequívocamente estables, recogidos con dificultad, cuyo escrutinio diferirá en función de la teoría interpretativa, desde la cual se enfoquen (cf. Kuhn, 2015: 277-278).

No obstante, a diferencia de Kuhn, Nagel considera importante la información de la experiencia corriente porque permite realizar generalizaciones inductivas basadas en relaciones invariables que se cumplen en los casos observados, permitiéndonos descubrir leyes naturales experimentales (cf. Nagel, 1981: 89). Tal es el caso del hielo flotando regularmente en el agua y su descripción a partir del principio de Arquímedes. Este principio establece que un fluido empuja hacia arriba al cuerpo sumergido en él, con una fuerza igual al peso de la cantidad de fluido desplazado por el cuerpo (cf. Nagel, 1981: 28). En este sentido, las leyes naturales o experimentales son proposiciones individuales que expresan una amplia clase de fenómenos cuyo comportamiento responde a una regularidad observacional, bajo ciertas condiciones. Se distinguen de las teorías porque éstas son un sistema de proposiciones⁴⁸ que incluyen algunos términos teóricos, cuyos significados no están asociados a nociones explícitamente experimentales; de ahí que, el objetivo de las

⁴⁸ La noción de ‘sistema de proposiciones’ mencionada por Nagel es la misma que la expuesta por los simpatizantes del Círculo de Viena. Es en este sentido que sostenemos que concuerda con las condiciones formales expuestas por ellos (cf. Nagel, 1981: 84-85).

teorías es la explicación de leyes y su interrelación dentro del sistema. Sobre esta diferencia, Nagel escribió:

El título de “ley experimental” significa simplemente que el enunciado caracterizado de tal manera, formula una relación entre cosas (o características de cosas) que son observables, en el sentido reconocidamente vago de “observable” que ilustran los ejemplos anteriores, y que la ley puede ser convalidada (aunque sea con algún “grado de probabilidad”) por la observación controlada de las cosas mencionadas en la ley. De igual modo, cuando se dice que el conjunto de suposiciones acerca de la constitución molecular de los líquidos es una teoría, no debe entenderse esto en el sentido de que tales suposiciones sean enteramente especulativas y no tengan el apoyo de ningún elemento de juicio convincente. Lo que se pretende significar mediante tal caracterización es, simplemente, que tales suposiciones emplean términos como ‘molécula’ que no designan manifiestamente nada observacional (en el sentido indicado antes) y que no es posible confirmar las suposiciones mediante experimentos u observaciones de las cosas a las cuales se refieren ostensiblemente esos términos. (Nagel, 1981: 85)

Ahora bien, para Nagel, las teorías científicas serían modelos interpretativos, explicativos y predictivos. Así, se dice que son interpretativos y predictivos porque sugieren nuevas leyes experimentales que pueden o no, incluir las leyes contenidas en las ‘condiciones iniciales’ (cf. Nagel, 1981: 93), lo cual es posible gracias al uso de la analogía entendida como un método artificial para la formación de ideas, resolución de problemas y construcción de teorías (cf. Nagel, 1981: 110). En este sentido, la analogía de Nagel concuerda con la heurística de Lakatos.

Así mismo, la analogía tendría dos vertientes: substantiva y formal. En el caso de la analogía substantiva, ésta permite a un sistema construir un modelo interpretativo de una teoría, con base en una teoría relativa a un sistema diferente, con el cual comparte ciertas propiedades, vinculadas por un conjunto de leyes comunes; las diversas teorías atomistas ejemplifican esta relación, sobre la cual, Nagel escribió

lo siguiente: “Las suposiciones fundamentales de las teorías cinéticas de los gases, por ejemplo, están modeladas según las conocidas leyes del movimiento de esferas elásticas macroscópicas, como las bolas de billar” (Nagel, 1981: 111).

Por otro lado, la analogía formal toma como base un sistema de relaciones abstractas que sirve de modelo para elaborar un modelo diferente cuya aplicación puede resultar más abundante que el original. Un ejemplo de lo anterior lo proporciona la generalización de las leyes de exponentes enteros positivos, para operar además exponentes fraccionarios y negativos en el algebra (cf. Nagel, 1981: 112). Estas leyes generales dictan que para la operación de la multiplicación de constantes $a, b, c \dots n$ cuyas expresiones son tales que: $a \times a, (b)(b), c \cdot c \dots etc.$, pero cuyas potencias son las variables m y n (enteros, fraccionarios o negativos), se deben seguir las siguientes formas: $a^m \times a^n = a^{m+n}$ y $(b^m)^n = b^{m \times n}$. Así, aunque la manipulación parezca simple, Nagel ahondó en su importancia apuntando lo siguiente: “El ejemplo citado quizá sea trivial. Sin embargo, ilustra un procedimiento importante que ha sido muy usado para crear nuevas ramas de la matemática: para la construcción de geometrías de “espacios” n -dimensionales de muchas ramas del algebra superior, de partes de la teoría moderna de funciones, etc.” (Nagel, 1981: 112).

De igual manera, Nagel consideró valiosos los modelos formales derivables del uso general de la analogía para la física-matemática y lo ejemplificó, al igual que Popper, con la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica; desde el punto de vista de Nagel, ambas teorías son modelos interpretativos de la mecánica clásica que resultan tener un espectro de aplicación más amplio, dentro del cual se incluye la mecánica clásica como un caso especial (cf. Nagel, 1981: 112). Así mismo, Nagel añadió un ejemplo más sobre el uso de modelos formales para ilustrar su fertilidad para la ciencia moderna: “El ejemplo de Maxwell de la identidad de la estructura que presentan la matemática de la teoría gravitacional y las ecuaciones de la conducción térmica es un ejemplo de ello” (Nagel, 1981: 112).

No obstante, lo más interesante de la propuesta de Nagel es que los modelos interpretativos o teorías, llegado el tiempo, son abandonadas, mientras que las leyes

experimentales sobreviven al abandono de las teorías porque su significado es independiente de la teoría (cf. Nagel, 1981: 90). En este sentido, se puede sostener que las leyes experimentales son parte esencial de la materia prima sobre la que trabaja la ciencia moderna, ya sea en su vertiente teórica o experimental. Además, la predicción de nuevas leyes experimentales por parte de las teorías interpretativas abre la puerta a una noción de progreso que ya no es solamente empírico (acumulación de leyes experimentales), sino también teórico. Esta idea sugiere que no basta con haber articulado la primera versión de una teoría; más bien, se deben explorar todas sus implicaciones teóricas y versiones subsecuentes. De ahí que, siguiendo a Nagel, sostengamos que uno de los objetivos de la ciencia moderna se encamina hacia una explicación sistemática más general de un conjunto más amplio de leyes experimentales; así como sugerir nuevos campos de investigación y adecuaciones experimentales para ampliar el dominio de aplicación de leyes experimentales ya conocidas (cf. Nagel, 1981: 114).

En este sentido, se puede considerar que Nagel comulga con la noción de progreso de los simpatizantes del Círculo de Viena; no obstante, a diferencia de ellos, considera la posibilidad de la equivocidad como un elemento positivo. Esto significa que, al tratar de explicitar la relación entre nociones experimentales y entidades teóricas con base en las reglas de correspondencia, subyace la posibilidad de que no todas las entidades se puedan hacer corresponder o, que las entidades se puedan corresponder con más de una noción experimental y en diferentes campos de investigación. Sobre esta característica de las nociones teóricas y su relación con las reglas de correspondencia, Nagel planteó lo siguiente:

En algunos casos, las reglas parecen enunciar las condiciones necesarias y suficientes para describir una situación experimental, en el lenguaje teórico. (...) En otros casos, la regla puede enunciar sólo una condición suficiente para usar una noción teórica. (...) En otros casos aún, la regla puede suministrar solamente una condición necesaria para el uso de un término teórico. (...) La mayoría de las teorías de las ciencias naturales, si no todas, tienen esta característica. En todo caso, una teoría que la posee tiene una flexibilidad que permite su extensión a nuevos ámbitos de investigación, a

veces acentuadamente diferentes de los fenómenos para los cuales fue concebida originalmente la teoría. (Nagel, 1981:103-104)

Más aún, la explícita noción de progreso teórico de Nagel también permite introducir la idea de evidencia indirecta que plantea una crítica a la intermitencia de los datos observacionales comúnmente expresados como directos o inmediatos. En este sentido, la evidencia indirecta indica características que no son explícitamente observacionales y su determinación sólo es parcial y gradual (cf. Nagel, 1981: 86). Sin embargo, eso no implica que dicha evidencia sea falsa de hecho, sino que, a la luz del *status cognoscitivo* de las teorías, misma que se corresponde con una teoría de la racionalidad de la ciencia, plantee como criterio normativo la traducibilidad al lenguaje observacional y, considerando los argumentos anteriores concernientes a las nociones teóricas, un juicio observacional sobre la verdad o falsedad de una teoría resulta inconsistente respecto a la evidencia total disponible. Al respecto, Nagel escribió lo siguiente:

Por ejemplo, las moléculas supuestas por la teoría cinética de la materia como constituyentes de los gases no son observables, en el sentido en el que es observable un órgano en el laboratorio, o aun en el núcleo de una célula viva contemplada a través de un microscopio. Sin embargo, es posible calcular el número de moléculas por unidad de volumen de un gas, así como la velocidad y la masa medias, a partir de magnitudes obtenidas por experimentación; y no hay ningún absurdo lógico en la suposición de que todos los términos de la teoría que se refieren a cosas inobservables (como las posiciones de las moléculas en un instante determinado) eventualmente puedan estar asociados de manera análoga con datos experimentales. (Nagel, 1981: 87)

En cualquier caso, para comprender la noción de evidencia indirecta dentro de su teoría de la racionalidad científica, Nagel problematizó la idea de realidad, la cual

describe como interdependencia de causas⁴⁹ (cf. Nagel, 1981: 144). Así, se dice qué es racional aceptar una teoría, a pesar de que algunas entidades teóricas se correspondan sólo parcialmente o incluso, no se correspondan con términos observacionales mediante reglas de correspondencia. De igual manera, se dice que una explicación científica satisfactoria, no necesariamente se plantea en términos causales, sino también en términos estadísticos, probabilísticos y propiedades de formas determinadas (estructura cristalina, color, punto de fusión, dureza, etc. (cf. Nagel, 1981: 81). No obstante, conviene señalar que el *status cognoscitivo* de una teoría científica depende en gran medida de la corriente epistemológica que adopten los científicos y filósofos; dichas corrientes pueden ser ejemplificadas por la vertiente descriptivista, la postura instrumentalista o, la corriente realista. En efecto, todas ellas poseen implicaciones diferentes respecto a cómo interpretar una teoría científica en términos de verdad y realidad, por lo que insistimos, un juicio observacional sobre la verdad o falsedad de una teoría resulta inconsistente a la luz de una diversidad de posturas epistemológicas. Conviene señalar que este tema será desarrollado más adelante.

En contraste con la exposición anterior, Nagel, al igual que Lakatos y Popper, también apuntó a las implicaciones sociales de la ciencia (cf. Nagel, 1981: 16). Históricamente, las diversas áreas de la ciencia se han nutrido de las preocupaciones de la vida cotidiana, tales como la medición topográfica de campos y la producción de tinturas; no obstante, en la actualidad, el desarrollo de la ciencia ejerce un papel fundamental en el desarrollo de la vida contemporánea, con base en una política científica que configura instituciones educativas, industrias y hasta la política pública. Esto sugiere y nos permite sostener que, una reconstrucción racional de la actividad científica debe abordar los problemas planteados en los debates en torno al progreso científico, la configuración de teorías científicas y la evolución histórica de la noción de evidencia, sin obviar las condiciones sociales.

⁴⁹ Nagel plantea una noción moderna de causa como dependencia funcional invariable (cf. Nagel, 1981: 79).

Esto con el fin de comprender con mayor claridad y precisión, la evolución histórica de la ciencia como una actividad práctica e intelectual humana.

Apartado 2.3: La perspectiva de Kuhn sobre la racionalidad de la ciencia

La historia de la filosofía de la ciencia, así como la ciencia misma, posee períodos en los que se puede reconocer un prolongado aumento en los debates en torno a alguno de los tópicos aceptados como 'problemáticos', debido a sus implicaciones metodológicas, teóricas, prácticas, ontológicas y sociales. Tal es el caso de gran parte de la segunda mitad del siglo XX. Así, no resulta un caso aleatorio el que hayamos finalizado el apartado anterior con las ideas de la obra de Ernest Nagel de 1961, *La estructura de la ciencia*, puesto que eso nos permite iniciar este apartado con las ideas de la obra de Thomas S. Kuhn de 1962, *La estructura de las revoluciones científicas*, que muestran un contraste que consideramos de suma importancia para comprender y valorar sus aportes a la ciencia, desde la filosofía de la ciencia.

Aunque la obra de Kuhn no es una crítica directa a los planteamientos de Nagel, sí contiene un modelo de progreso científico distinto en muchos aspectos. Así, Kuhn articuló la estructura general de la actividad científica partiendo de una etapa de ciencia normal, seguido de un período de crisis que se identifica con una etapa de ciencia extra-normal cuyo proceso finalmente conduce a una revolución científica. Desde este punto de vista, Kuhn expuso un proceso dinámico cuyas actualizaciones se repiten indefinidamente, a lo largo de la historia. No obstante, una de las novedades de su propuesta es la introducción de la noción de paradigma⁵⁰, la cual

⁵⁰ Cabe mencionar que la noción de paradigma fue criticada porque su aparición en la obra de Kuhn de 1962 muestra una constante ambigüedad entre aspectos normativos y descriptivos que, pensadores como Feyerabend señalaron con puntualidad (cf. Feyerabend, 1970: 199). De ahí que Kuhn aclarara en 1974 esta ambigüedad al relacionarla con la noción de matriz disciplinar, noción sobre la que añadió: "Para éste, podría adoptar ahora la notación 'paradigma₁', pero se produciría menos confusión denotándolo con la frase 'Matriz disciplinaria'-'disciplinaria' porque es la posesión común de los profesionales de una disciplina

inicialmente puede ser caracterizada como un poderoso conjunto de compromisos instrumentales o prácticos, teóricos o metodológicos y cuasi-metafísicos u ontológicos, compartidos por una comunidad científica⁵¹ (cf. Kuhn, 2015: 159). Más aún, desde nuestro punto de vista, es importante aclarar que subyace una relación de dependencia entre la existencia de un paradigma y la constitución de una comunidad científica. Esto quiere decir que no puede existir un paradigma si no hay una comunidad que lo desarrolle, así como no puede existir una comunidad científica, sin un grupo de científicos que comparta los mismos compromisos⁵². Algunos ejemplos de paradigmas son enunciados por Kuhn a continuación:

La *Física* de Aristóteles, el *Almagesto* de Ptolomeo, los *Principia* y la *Óptica* de Newton, la *Electricidad* de Franklin, la *Química* de Lavoisier y la *Geología* de Lyell, junto con muchas otras obras sirvieron durante algún tiempo para definir los problemas y métodos legítimos de investigación para las sucesivas generaciones de científicos. Eran capaces de realizar tal cosa porque compartían dos características esenciales. Sus realizaciones carecían hasta tal punto de precedentes, que eran capaces de atraer a un grupo de partidarios alejándolos de los modos rivales de actividad científica, y a la vez eran lo bastante abiertas para dejarle al grupo de profesionales de la ciencia así definido todo tipo de problemas por resolver. En adelante me referiré con el término *paradigmas* a los logros que comparten estas dos características,

y (...) se compone de elementos ordenados de diversas maneras, cada una de las cuales hay que especificar” (Kuhn, 1982: 321).

⁵¹ La constitución de la comunidad científica va de la mano con la práctica científica y la educación de cada uno de sus miembros. Esta última es homogénea en los fundamentos, pero heterogénea en sus aplicaciones. Así se articula una unidad pedagógica independiente de las condiciones extra-científicas en la que se establecen los modelos y la bibliografía válida, según el paradigma vigente (cf. Kuhn, 1982: 250). Más aún, Kuhn señaló que: “(...) los estudiantes de ciencia aceptan las teorías por la autoridad del profesor y del texto, no por las pruebas. (...) Las aplicaciones dadas en los textos no están allí como pruebas, sino porque aprenderlas es parte de aprender el paradigma en que se basa la práctica ordinaria (Kuhn, 2015: 214).

⁵² Si se considera desde un punto de vista más estricto, se puede sostener que la comunidad, en tanto individuos, siempre antecede al paradigma.

término que se conecta estrechamente con el de *ciencia normal*. (Kuhn, 2015: 114-115)

En general, un paradigma es una versión ampliamente desarrollada y actualizada de una teoría, cuyos fundamentos y contenidos estructuran una visión compartida de cómo es el mundo y cómo es la disciplina científica lo estudia. En el nivel⁵³ inferior de un paradigma se encuentra el compromiso sobre la preferencia instrumental⁵⁴, es decir, aquel que determina el uso correcto del equipo científico y las técnicas de manipulación experimental válidas para la verificación de leyes naturales y predicciones teóricas. Tal sería el caso de la maquina de Artwood para demostrar la segunda ley de Newton (cf. Kuhn, 2015: 137), una máquina que consiste en dos masas unidas por una cuerda, colgando de una polea: si las masas son iguales, la maquina estará en equilibrio sin importar la posición de cada cuerpo, pero, si una masa es mayor a la otra, entonces ambas experimentan una aceleración uniforme producida por una fuerza constante, la gravedad. Así, la máquina de Artwood se usó para verificar la ley del movimiento uniformemente acelerado, tema sobre el que volveremos más adelante cuando hablemos de los experimentos mentales.

Prosiguiendo con nuestro análisis, más arriba encontramos el nivel intermedio de la estructura de un paradigma. En este nivel se encuentran los compromisos metodológicos⁵⁵ y normativos⁵⁶ respecto a las teorías interpretativas que determinan un extenso conjunto de problemas válidos y cómo resolverlos

⁵³ Conviene señalar que la siguiente exposición por niveles no implica una estructura jerárquica.

⁵⁴ Este compromiso se relaciona, pero no se identifica con los ejemplares de la matriz disciplinar, los cuales son soluciones de problemas concretos (cf. Kuhn, 1982: 322).

⁵⁵ Los compromisos metodológicos se identifican con los modelos de la matriz disciplinar porque proveen de analogías (heurísticas) aplicables por la comunidad científica (cf. Kuhn, 1982: 321).

⁵⁶ Estos se identifican con las generalizaciones simbólicas de la matriz disciplinar porque son aquellas expresiones, empleadas sin cuestionamiento, que son fáciles de formalizar (cf. Kuhn, 1982: 321).

legítimamente (cf. Kuhn, 2015: 114-115). Finalmente, en el nivel más alto de la estructura de un paradigma, se encuentran los compromisos cuasi-metafísicos u ontológicos,⁵⁷ los cuales justifican y especifican las entidades que contiene y configuran el mundo como en el caso de las fuerzas innatas en la mecánica newtoniana y los corpúsculos microscópicos postulados por la física cartesiana (cf. Kuhn, 2015: 158).

De igual manera, la aceptación de un paradigma implica la aceptación de un criterio de demarcación entre problemas científicos y pseudo-científicos, el cual establece el campo de aplicación del paradigma. Así, Kuhn ponderó los éxitos y fallas del paradigma vigente mediante un criterio de demarcación basado en la resolución de 'puzzles' (cf. Kuhn, 1970: 7). Más aún, cabe señalar que, bajo los términos de 'éxito' y 'fracaso' existe una relación de dependencia entre un paradigma y la comunidad científica que se traduce de la siguiente manera: el éxito de un paradigma implica el éxito de una comunidad y viceversa. Sin embargo, esta dependencia contempla una excepción, a saber que el fracaso de la comunidad no implica el fracaso del paradigma, si bien el fracaso del paradigma sí implica el fracaso de la comunidad.

Ahora bien, siguiendo dicho criterio, los juicios sobre la científicidad de algunas prácticas señaladas como pseudo-científicas, permanecen, pero la ruta trazada hasta dicha conclusión es diferente. De ahí que, insisto, no es lo mismo concluir que una práctica con un marco normativo articulado es pseudo-científica porque no se corrobora o verifica empíricamente, a concluir que dicha práctica, aunque teóricamente justificada, resulta pseudo-científica por carencia de 'puzzles' que resolver. Tal es la conclusión que sostiene Kuhn respecto a la astrología: "Though they had rules to apply, they had no puzzles to solve and therefore no science to practise" (Kuhn, 1970: 9).

Por otro lado, la configuración de un paradigma no podría estar completa sin el desarrollo de la ciencia normal emprendida por la comunidad científica. El objetivo

⁵⁷ A diferencia de los compromisos anteriores, en la matriz disciplinar estos carecen de un lugar definido; sin embargo, Kuhn sostiene que los modelos son objetos del compromiso metafísico (cf. Kuhn, 1982: 321).

principal de la ciencia normal, durante un período de tiempo (prolongado o corto), es aumentar la amplitud y precisión con la que se puede aplicar el paradigma a hechos significativos considerados como 'datos'. En otras palabras, la ciencia normal es una empresa sumamente acumulativa que busca aumentar el número de constantes universales y de leyes experimentales cuantitativas, así como establecer y mejorar constantemente la concordancia razonable entre la teoría y la naturaleza. Más aún, cabe señalar que entre los objetivos de la ciencia normal no se encuentra el de realizar descubrimientos de hechos novedosos (cf. Kuhn, 2015: 173).

Así, la ciencia normal de un paradigma vigente se esfuerza constantemente por configurar una concordancia razonable, la cual es un cuadro de datos⁵⁸ cuantitativos que se establece entre las estimaciones teóricas y las aproximaciones experimentales. Desde este punto de vista, los datos se consideran neutrales y carecen de confusión respecto a su interpretación, es decir, son resultado de una práctica experimental estandarizada. Como consecuencia, dicho cuadro ofrece parámetros de valores aceptados que son introducidos en las teorías interpretativas como, por ejemplo: la gravedad específica (o densidad relativa), longitudes de onda, puntos de ebullición, constantes de elasticidad, etc. (cf. Kuhn, 1982: 211).

Respecto a lo anterior, sin embargo, Kuhn aclaró que: "Quizá no sea obvio que se precise un paradigma para descubrir leyes de este tipo" (Kuhn, 2015: 139). Esta afirmación nos recuerda que la acumulación de leyes experimentales es una forma de progreso científico en el esquema de Nagel, idea con la que Kuhn concuerda porque las considera especificaciones cuantitativas de lo que ya se conoce cualitativamente. Sin embargo, a diferencia de Nagel, aquél consideró que existe una forma más plausible y deseable de progresar en la ciencia, a saber, las revoluciones científicas sobre las que añadió un ejemplo: "(...) la transición de la mecánica newtoniana a la mecánica einsteiniana ilustra con particular claridad el

⁵⁸ La noción de datos esta ampliamente relacionada con la de lo 'dado' porque son la materia prima elemental suministrada por los sentidos; así, el proceso cognitivo de datos opera con sensaciones de este tipo que, desde el punto de vista de Kuhn, se consideran dadas (cf. Kuhn, 1982: 332).

carácter de la revolución científica como un desplazamiento de la red conceptual a través de la cual el científico ve el mundo” (Kuhn, 2015: 245).

Ello explica que Kuhn considere el progreso deseable a través de revoluciones científicas que se gestan por medio de síntomas o indicios que van surgiendo en la práctica de la ciencia normal. Ya hemos mencionado que esta ciencia se concentra en explicar el orden de la naturaleza, según el paradigma vigente (cf. Kuhn, 1982: 52). La cuestión, no obstante, es que hay sucesos que muestran una irregularidad desde el punto de vista del paradigma vigente, como la percepción de una anomalía⁵⁹. Así, ésta se considera uno de los síntomas que van articulando el camino hacia un descubrimiento experimental que a su vez, conduciría a una revolución (cf. Kuhn, 2015: 274). Por su parte, Kuhn explicó y ejemplificó la importancia de la percepción de una anomalía, basado en los experimentos de Lavoisier con el óxido rojo de mercurio y en la percepción del brillo de una pantalla de platino-cianuro de bario captada por el físico Roentgen⁶⁰, procedente de sus experimentos con rayos catódicos; sobre estos ejemplos, Kuhn añadió:

En ambos casos, la percepción de la anomalía, esto es, de un fenómeno para el que el paradigma no ha preparado al investigador, desempeñó una función esencial al desbrozar el camino para la percepción de la novedad. Pero, de nuevo, en ambos casos, la percepción de que algo iba mal no fue más que el prelude del descubrimiento. (Kuhn, 2015: 181)

Prosiguiendo en nuestro análisis, Kuhn considera dos clases de anomalías: cuantitativas y cualitativas. Las cualitativas son más asequibles de tratar que las cuantitativas porque se pueden solventar mediante hipótesis *ad hoc* (cf. Kuhn, 1982: 233). Por otro lado, las cuantitativas se consideran más graves y sirven como unidad de medida para comparar la precisión de las soluciones propuestas; en otras

⁵⁹ Se considera una anomalía aquellos sucesos que están en conflicto con alguna afirmación clave del paradigma vigente (cf. Kuhn, 1982: 260).

⁶⁰ La revista argentina de radiología menciona que: “Wilhelm Conrad Roentgen, nacido en Remscheid-Lennep, fue un inventor e investigador de renombre mundial, un físico brillante y el primero en ser distinguido con el Premio Nobel de Física” (Busch, 2011: 81).

palabras, sirven como evidencia probatoria para la teoría que sustente una explicación aceptable. Más aún, otro de los factores para determinar la gravedad de las anomalías es el tiempo que persisten sin ser explicadas; entre más prolongado sea el tiempo que persistan sin una explicación, la anomalía se considera más grave.

Dicho lo anterior, la percepción de una anomalía grave implica el comienzo de un proceso de reducción denominado: período de crisis o de ciencia-extranormal (cf. Kuhn, 1982: 226). Este período (más o menos extenso) genera el reconocimiento gradual de la importancia de la anomalía, a partir de su transformación en una contradicción concreta (conceptual o empírica) para comprender qué es lo erróneo en tales situaciones (cf. Kuhn, 1982: 288). Esto es, la importancia de las anomalías funge como evidencia probatoria para las teorías futuras y entre más grave sea la anomalía, mayor será su peso como evidencia probatoria.

Aún más, en ese período proliferan las teorías hipotético-deductivas dentro de la comunidad científica, ya que se busca ofrecer una explicación causal⁶¹ del apartamiento del orden de la naturaleza vigente. Así, mientras que en el período de ciencia normal, la concordancia razonable estructura una red de datos aceptables considerados como 'datos', en el período de crisis, según Kuhn, ocurre algo diferente con la interpretación realizada por los científicos: "Los hechos cuantitativos dejan de parecerle sencillamente 'lo dado'. Debe luchar contra ellos, y en esa lucha la teoría con la cual son comparados demuestra ser el arma más potente" (Kuhn, 1982: 217).

Así, teniendo en cuenta la proliferación de teorías, éstas sólo se someten a comparación si articulan exitosamente un paradigma capaz de reemplazar el paradigma vigente y conducir la práctica científica a un estado más actualizado (cf. Kuhn, 2015: 210). De igual manera, Kuhn sostuvo que un candidato a paradigma debe ser capaz de resolver alguna anomalía reconocida como grave; de lograrlo,

⁶¹ Kuhn considera el concepto de causa en el sentido amplio, es decir, como una explicación (cf. Kuhn, 1982: 53).

dicha anomalía funge como evidencia probatoria para el nuevo candidato. Más aún, el candidato propuesto también ha de conservar una parte (más o menos amplia) de la capacidad para resolver los problemas acumulados por sus predecesores (temporales, pero no necesariamente teóricos), hasta ese momento. De ahí que, el nuevo paradigma debe conservar parte de la tradición y ofrecer soluciones a problemas específicos considerados graves (cf. Kuhn, 2015: 338), si bien, existe la posibilidad de que los nuevos candidatos no logren articular un paradigma rival exitoso, en cuyo caso las teorías propuestas se pueden abandonar con cierta facilidad (cf. Kuhn, 2015: 223).

Por otro lado, Feyerabend criticó el ideal del progreso a través de revoluciones porque, desde su punto de vista, dicho ideal se justifica desde proyecciones aisladas de ciertas parcelas de la ciencia y no, desde su alegada unidad (cf. Feyerabend, 1989: 402). Aún más, Feyerabend consideró el planteamiento de Kuhn ambiguo⁶² e inconsistente porque pondera una exclusividad fincada en la creencia de que el propio paradigma vigente provocará su propia superación o derrocamiento (cf. Feyerabend, 1970: 201-202). En otras palabras, siguiendo el esquema de Kuhn, no pueden existir dos paradigmas al mismo tiempo.

Así, desde nuestro punto de vista, el esquema propuesto por Kuhn se corresponde más bien con una descripción de teorías sucesivas⁶³. Siguiendo esta idea, una teoría T^2 reconstruye una teoría T^1 y toma una parte (más o menos amplia) de los hechos comprendidos por esta, reinterpretándolos por medio de un marco normativo que actualiza los parámetros que determinan qué habría de contar como

⁶²Cabe mencionar que Feyerabend le crítica a Kuhn su ambigüedad en el aspecto normativo al no discutir el objetivo de la ciencia (cf. Feyerabend, 1970: 201). Dicha carencia llevó a Feyerabend a una crítica que articuló en forma de caricatura sobre el crimen organizado al señalar que: “For organized crime, so it would seem, is certainly puzzle-solving *par excellence*. Every statement which Kuhn makes about normal science remains true when we replace ‘normal science’ by ‘organized crime; and every statement he has written about the ‘individual scientist’ applies with equal force to, say, the individual safebreaker” (Feyerabend, 1970: 200).

⁶³ Feyerabend articuló un esquema que utiliza un par de triángulos equiláteros superpuestos que describen con gran precisión la idea de teorías sucesivas que replantea las consideraciones del esquema de Kuhn (cf. Feyerabend, 1970: 220).

problemas admisibles y soluciones legítimas (cf. Kuhn, 2015: 108-109). Una descripción que, cabe aclarar, no se corresponde con una visión del progreso científico acumulativo porque, desde un punto de vista contemporáneo, las transiciones desde teorías menos actualizadas a las más actualizadas implican tanto una ganancia como una pérdida de poder explicativo. Para ejemplificar esta idea, Kuhn retomó la transición desde la teoría de la gravedad de Descartes hasta la de Newton, así como la transición de la teoría del flogisto a la teoría del oxígeno de Lavoisier y apuntó lo siguiente:

En cada caso la teoría nueva salió victoriosa, pero el precio de la victoria fue el abandono de una meta antigua y parcialmente alcanzada. Para los newtonianos del siglo XVIII, poco a poco fue volviéndose “acientífico” preguntarse por la causa de la gravedad; los químicos del siglo XIX poco a poco fueron dejando de preguntarse por las causas de las cualidades particulares. Sin embargo, la experiencia ulterior demostró que en tales cuestiones no había nada que fuese *intrínsecamente* “acientífico”. La relatividad general sí explica la atracción gravitacional y la mecánica cuántica también explica muchas de las características cualitativas de los cuerpos. Ahora ya sabemos por qué algunos cuerpos son amarillos y otros transparentes. Pero el haber logrado entender esto, que es de suma importancia, en ciertos aspectos hemos tenido que regresar a un antiguo conjunto de nociones acerca de los límites de la investigación científica. Problemas y soluciones que tuvieron que ser abandonados a favor de teorías clásicas de la ciencia moderna han retornado a nosotros. (Kuhn, 1982: 236)

Precisamente, en consonancia con lo anterior, Feyerabend enfatizó que en el progreso de la ciencia hay tanto pérdidas como ganancias (cf. Feyerabend, 1970: 219). Si bien, también consideró que un paradigma debe ser retenido a pesar de que muestre inconsistencias (anomalías) y siempre y cuando no haya un paradigma alternativo que tome su lugar en la dirección de la ciencia (cf. Feyerabend, 1970: 203). De ahí el principio metodológico que Feyerabend articuló bajo la denominación de ‘principio de tenacidad’, el cual se estructura a partir de casos en los que teorías alternas sucesivas acentúan las dificultades de una teoría T y, agudizan su posible

eliminación. Como, Feyerabend escribió: “Hence, if change of paradigms is our aim, then we must be prepared to introduce and articulate alternatives to T or, as we shall express it (...) we must be prepared to accept a *principle of proliferation*” (Feyerabend, 1970: 205). De esta manera, Feyerabend parece superar la ambigüedad descriptiva de Kuhn al conectar el principio de tenacidad y el principio de proliferación para yuxtaponer racionalmente el camino de las revoluciones científicas, inaugurado por la percepción de alguna anomalía.

Por otro lado, el modelo descriptivo de Feyerabend dirigió una fuerte crítica a los planteamientos de Kuhn que denomina ‘dogmáticos’ (cf. Feyerabend, 1970: 205). El primero de ellos es la noción de ‘inconmensurabilidad’ presente en la descripción de las revoluciones científicas: dos paradigmas rivales son modos distintos de ver el mundo y practicar la ciencia por lo que resultan discontinuos e incompatibles lógicamente (cf. Kuhn, 2015: 311). De ahí que, siguiendo este razonamiento, Kuhn sostuviera que la transición de un paradigma a otro es de golpe (cf. Kuhn, 2015: 311) y, haciendo referencia al abandono de la teoría del calórico a favor de la teoría de la conservación de la energía, planteara que: “Resulta difícil concebir cómo podrían surgir las teorías nuevas sin estos cambios destructivos en las creencias acerca de la naturaleza” (Kuhn, 2015: 238). Precisamente, este planteamiento conduce a reconocer la imposibilidad de configurar un criterio para valorar paradigmas rivales porque la adopción de un nuevo paradigma resulta ser un acto de fe (cf. Kuhn, 2015: 322).

Aunado a ello, Feyerabend y algunos otros autores como Popper y Lakatos no estuvieron de acuerdo con el planteamiento de Kuhn porque defendían la idea de ‘ciencia’ como una actividad cognoscitiva racional. No obstante, Feyerabend sí consideró que el esquema Kuhn llevaba algo de razón en su planteamiento dado que sostuvo que las teorías pueden ser interpretadas de diversas maneras y añadió que: “They will be commensurable in some interpretations, incomparable in others” (Feyerabend, 1970: 220). Así, para ilustrar su punto, Feyerabend apuntó la existencia de tres paradigmas de mecánica diferentes e incompatibles durante el segundo tercio del siglo XX: a) la mecánica asociada a la teoría cinética; b) la teoría fenomenológica e independiente del calor que resultó ser inconsistente con la

mecánica; c) la liberación de la electrodinámica de los compromisos mecánicos elaborada por Hertz (cf. Feyerabend, 1970: 207).

Ahora bien, otra de las críticas puntuales de Feyerabend se dirigió contra la ciencia normal porque la consideró sumamente autoritaria e irracional. Desde su punto de vista, la ciencia normal plantea a una sola visión de cómo es el mundo y cómo es la ciencia que lo estudia y no acepta teorías alternas que no sean actualizaciones de la teoría vigente (cf. Feyerabend, 1970: 201). Más aún, para Feyerabend, dicho autoritarismo conduciría a la ciencia a un estancamiento porque a diferencia del periodo de crisis, no busca realizar descubrimientos como el propio Kuhn planteó. Así el autoritarismo de la ciencia normal impediría plantear un criterio para comparar paradigmas rivales basado en la noción de progreso porque en principio no podrían existir apelando a la exclusividad del paradigma vigente y, en dado caso de que existieran, éstos serían inconmensurables desde el punto de vista más radical de Kuhn.

Considerando la exposición anterior, podemos comprender por qué Feyerabend, apelando a una relación de simultaneidad e interacción sugerida por el modelo de Lakatos, introdujo un matiz en el esquema propuesto por Kuhn, al sustituir el periodo de ciencia normal y el periodo de revolución por un componente normal y un componente filosófico respectivamente (cf. Feyerabend, 1970: 212). Los componentes normales serían aquellos elementos que sustentan el paradigma vigente (formación pedagógica, metodología y 'puzzles'), pero al ser caracterizados como componentes, están a merced de padecer cambios por medio de las generaciones más jóvenes de científicos que van allanando el camino hacia los descubrimientos con teorías alternas no sucesivas, a partir de la percepción y la resolución de anomalías. En este sentido, Feyerabend revaloriza los factores externos de la ciencia, aunque nunca por encima de los factores internos (cf. Feyerabend, 1970: 214). Por otro lado, los componentes revolucionarios son aquellas manifestaciones externas de un cambio en los componentes normales que no se pueden explicar racionalmente (cf. Feyerabend, 1970: 214). Al respecto, Feyerabend planteó lo siguiente:

In our account we only need to draw attention to the fact that revolutions are mostly made by members of the philosophical component who, while aware of the normal practice, are also able to think in a different way (in the case of Einstein the self-professed ability to escape from the normal training was essential for his freedom of thought and for his discoveries). (Feyerabend, 1970: 212)

De esta manera, los episodios de la historia de la ciencia que hemos ido analizando, muestran (con mayor o menor claridad) cambios en los componentes normales que estructuran una imagen más semejante a una 'evolución', que a una revolución. Más aún, la interacción entre la proliferación de teorías y la tenacidad de los paradigmas junto con los componentes normales y revolucionarios (o evolutivos) justifican racionalmente el establecimiento de un criterio normativo para evaluar las pérdidas y ganancias implicadas en estos episodios. Sin embargo, fiel a su estilo, Feyerabend no ofreció un criterio aplicable para evaluar paradigmas rivales, pero señaló que: "The interplay between proliferation and tenacity also amounts to the continuation, on a new level, of the biological development of the species and it may even increase the tendency for useful *biological* mutations. It may be the only possible means of preventing our species from stagnation" (Feyerabend, 1970: 210).

Indiscutiblemente, las críticas anteriores hicieron mella en la exposición de Kuhn, quien en el transcurso de más de una década introdujo aclaraciones, matices y precisiones que lo alejaron de aquella versión radical, expuesta por Feyerabend. El caso más conocido es la aclaración de la noción de paradigma con el término 'matriz disciplinar' sobre la que escribió: "Los componentes de la matriz disciplinaria incluyen la mayoría, o todos los objetos, del compromiso de grupo descrito en el libro como paradigmas, partes de paradigmas o paradigmático" (Kuhn, 1982: 321). Tales componentes son las generalizaciones simbólicas, los modelos y los ejemplares.

Ahondando en estos componentes, las generalizaciones simbólicas no interpretadas son expresiones de leyes científicas que se encuentran en los libros de texto en forma simbólica tales como $f=ma$, o bien, en forma de enunciados, por

ejemplo: 'la acción es igual a la reacción'. De esta manera, las generalizaciones simbólicas se consideran una posesión común de los miembros de una comunidad científica porque entrañan un compromiso, independientemente de su especialidad (cf. Kuhn, 1982: 324). Así mismo conviene señalar que la comunidad científica justifica la manipulación de las generalizaciones simbólicas dentro de los límites de la lógica y la matemática, con base en dicho compromiso. De ahí que, Kuhn planteó: "Al enfrentarse a un acertijo nuevo, ordinariamente concuerdan sobre la expresión simbólica apropiada a él, aunque ninguno de ellos la haya visto antes" (Kuhn, 1982: 325).

No obstante, al ser expresiones no interpretadas, las generalizaciones simbólicas requieren de reglas de correspondencia para remitir al mundo que pretenden describir y explicar. En este sentido, Kuhn nos recuerda la propuesta planteada por los miembros del Circulo de Viena, al apuntar lo siguiente: "(...) los términos teóricos adquieren significado mediante las reglas de correspondencia que las vinculan con un vocabulario básico ya significativo. Sólo éste último es el que se relaciona directamente con la naturaleza" (Kuhn, 1982: 326). De esta manera, Kuhn está de acuerdo en que el vocabulario básico es un asunto convencional compartido y aceptado por medio de la educación de los miembros de la comunidad científica.

Relacionado con lo anterior, Kuhn precisó que: "(...) el poder de una ciencia aumenta con la cantidad de generalizaciones simbólicas que disponen sus practicantes" (Kuhn, 1982: 322). Lo más interesante de dicha afirmación es que señala que el aumento de generalizaciones simbólicas se corresponde con un avance científico y no precisamente con una revolución (cf. Kuhn, 1982: 328). De esta manera, los avances científicos, en términos de generalizaciones simbólicas, están relacionados con la tarea de mejorar una teoría científica por medio de una mejor formalización. En efecto, esta empresa es totalmente distinta a la emprendida por el análisis del conocimiento científico que sí conduciría a una revolución científica, dado que su objetivo es reconceptualizar el aparato cognitivo de la comunidad científica, puesto que los conduciría a un cambio novedoso en la forma en que observan el mundo. Sobre este punto, Kuhn escribió:

A este proceso de reconceptuación lo llamé en otra parte Revolución científica. Tales revoluciones no tienen que ser de la magnitud que da a entender el esquema anterior, pero todas comparten entre sí una característica esencial. Los datos característicos para que ocurra la revolución han estado existiendo en el borde de la conciencia científica; el surgimiento de la crisis los convierte en el centro de atención y gracias a la reconceptuación revolucionaria es posible verlos de una manera nueva. Lo que se conocía vagamente a pesar del aparato mental de la comunidad antes de la revolución, se conoce después con nueva precisión gracias a su aparato mental. (Kuhn, 1982: 286-287)

De esta manera, las revoluciones científicas ya no sólo son aquellos grandes cambios en la historia de la ciencia, sino también se consideran 'revoluciones' aquellos episodios que muestran 'pequeños' cambios significativos porque implican la reinvención de teorías a partir de la corrección de errores conceptuales, lo cual elimina confusiones y contradicciones inherentes al aparato cognitivo de la comunidad científica.

Ahora bien, antes de considerar la reinvención o refinamiento del aparato cognitivo de los científicos, debemos exponer su configuración. El aparato cognitivo de la comunidad científica está constituido por los ejemplares y los modelos de la matriz disciplinar. Por un lado, los ejemplares articulan el canal pedagógico más significativo porque transmiten las reglas de correspondencia válidas que dotan de contenido empírico a los términos teóricos más complejos, incluidos en las generalizaciones simbólicas. Así, al hacerlo, los ejemplares se consideran interpretaciones en un determinado contexto porque son soluciones específicas a problemas concretos que una comunidad aprende, tal es el caso del plano inclinado y las elipses de Kepler (cf. Kuhn, 1982: 330-331). De ahí que Kuhn enfatizara el aspecto pedagógico de los ejemplares y añadiera:

Adquirir todo un arsenal de ejemplares, igual que aprender generalizaciones simbólicas, son partes integrales del proceso por el que el estudiante logra llegar a las realizaciones cognoscitivas de su grupo disciplinario. Sin

ejemplares, nunca aprendería mucho de lo que el grupo sabe de conceptos fundamentales como los de fuerza y campo, elemento y compuesto, o núcleo y célula. (Kuhn, 1982: 331)

Por otro lado, los modelos estructuran analogías aplicables por parte de la comunidad científica. Esto quiere decir que las analogías son un elemento heurístico que permite establecer una relación de semejanza entre dos situaciones empíricamente diferentes, pero que a la luz de un análisis conceptual, se puede establecer una semejanza. Así, por ejemplo, se dice que el comportamiento de un gas es análogo al movimiento aleatorio de un conjunto microscópico de bolas de billar (cf. Kuhn, 1982: 321).

De igual manera, los modelos dotan de un compromiso ontológico (existencia) a las entidades postuladas dentro de ellos. Consideradas de esta manera, por ejemplo, Kuhn explicó que el campo electromagnético sólo se aceptó como una entidad física fundamental no mecánica, cuyas propiedades sólo se pueden describir con ecuaciones matemáticas (cf. Kuhn, 1982: 52). Esta postura de Kuhn nos recuerda la propuesta de Carnap sobre la existencia de las entidades teóricas y apuntó lo siguiente:

No es usual incluir, digamos, átomos, campos o fuerzas que actúan a distancia bajo el rubro de modelos, pero ahora no veo nada perjudicial en ese uso tan extendido. Obviamente, el grado de compromiso de una comunidad varía al pasar de modelos heurísticos a modelos metafísicos, pero parece mantenerse igual la naturaleza de las funciones cognoscitivas de los modelos. (Kuhn, 1982: 322)

Dicho lo anterior, habrá que considerar como parte del progreso científico, el análisis y refinamiento conceptual del aparato cognitivo de los científicos en la medida en que se corresponde con una descripción de 'pequeños' cambios que van articulando el camino a las grandes revoluciones. Aún más, este refinamiento del aparato cognitivo de los científicos se corresponde con la noción de ganancia y pérdida de conocimiento planteada anteriormente por Feyerabend y Kuhn. En este sentido, Kuhn sugirió que no existe mejor herramienta para llevar a cabo el análisis de la

estructura cognitiva de los científicos que los experimentos mentales (cf. Kuhn, 1982:264).

Respecto a los experimentos mentales, su función principal es ayudar a reconocer las contradicciones, ambigüedades y confusiones, presentes en la forma de pensar de los científicos. Más aún, desde mi punto de vista es importante indicar que la forma de pensar de la comunidad científica está condicionada de tres maneras: a) por la matriz dentro de la cual se han formado como científicos, b) por la que actualmente desarrollan y c) por las modificaciones en los elementos de la matriz disciplinar (cf. Kuhn, 1982: 322).

Aclarado el punto anterior, y a diferencia de los descubrimientos, los experimentos mentales no requieren de datos empíricos nuevos, ni que la situación planteada exista realmente en la naturaleza (cf. Kuhn, 1982: 264). De ahí que Kuhn haya apuntado que los experimentos mentales deben cumplir con la condición de ser verosímiles para que se consideren legítimos y agregó: “La situación imaginada debe ser tal que el científico pueda aplicarle sus conceptos de la manera que normalmente los emplea” (Kuhn, 1982: 265).

Ejemplificaremos lo anterior con el experimento mental de Galileo, quien puso de manifiesto las paradojas y confusiones subyacentes al estudio del movimiento uniforme y del movimiento uniformemente acelerado. En este experimento, el lector debe comparar el desplazamiento sin fricción de dos cuerpos sobre los planos⁶⁴ vertical (BC) e inclinado (CA), mismos que se corresponden con el cateto opuesto y la hipotenusa de un triángulo rectángulo, mientras que el punto de partida de ambos cuerpos coincide en el punto C. El experimento comienza con una concesión que dicta: “(...) cuando los cuerpos que se deslizan llegan a los puntos A y B, respectivamente, éstos habrán adquirido el mismo ímpetu o velocidad, esto es, la velocidad necesaria para devolverlos a su punto de partida” (Kuhn, 1982: 272). Hecha esta salvedad, el lector debe imaginar el desplazamiento de ambos cuerpos

⁶⁴ Considérese la construcción de los planos de la siguiente manera: un plano vertical BC que es perpendicular a 90° respecto al plano horizontal AB en el punto B y, el plano inclinado AC cuya elevación coincide en el punto C (cf. Kuhn, 1982: 272).

partiendo del punto C y responder la siguiente pregunta: ¿cuál cuerpo es el más rápido, el que se desplaza por el plano inclinado o el que lo hace por el plano perpendicular? Intuitivamente, la persona lectora, al igual que los interlocutores de Galileo, afirmará que el movimiento a lo largo de la perpendicular es el más rápido (cf. Kuhn, 1982: 273).

Sin embargo, la respuesta anterior resulta incompatible con la concesión realizada al inicio del experimento, ya que si ambos cuerpos parten del reposo y adquieren la misma velocidad final, ellos deben poseer la misma velocidad media. Entonces, ¿cómo es posible que uno sea más rápido que el otro? Pues bien, aquí la dificultad radica en querer comparar movimientos que abarcan distancias diferentes. En lugar de ello, Galileo sugiere que deberían compararse los tiempos que los dos cuerpos necesitan para recorrer una distancia patrón, la cual se identifica con la longitud del plano vertical CB (cf. Kuhn, 1982: 273).

Ahora bien, aunque tal modificación luce prudente, ella sólo empeora el problema, puesto que para responder cuál es el cuerpo más rápido, debe considerarse el punto desde el cual se mida la distancia patrón: si se mide desde el punto más alto del plano inclinado, entonces no hay modificación alguna, puesto que el cuerpo que se desplace por el plano perpendicular seguirá siendo más rápido porque concluirá su recorrido en un tiempo menor; pero si se mide desde la parte más baja del plano inclinado, entonces el cuerpo que se desplace por el plano inclinado será el más rápido, puesto que el cuerpo que se desplace por el plano perpendicular requerirá de un tiempo mayor para completar su recorrido. En este caso, el cuerpo más rápido depende del punto desde el cual se mida la distancia patrón (cf. Kuhn, 1982: 273). Por otro lado, también se podría considerar la distancia patrón entre puntos interiores del plano inclinado, pero esto nos llevaría a la conclusión de que ambos cuerpos son igual de rápidos. Así, el experimento mental planteado nos conduce a reconocer una paradoja compuesta de tres respuestas posibles para una sola situación, mismas que son incompatibles entre sí (cf. Kuhn, 1982: 274).

En este sentido, el experimento de Galileo muestra una confusión en la aplicación de los términos 'más rápido' y 'velocidad' respecto a los criterios de 'llegar antes a

la meta', o 'el que cubre más distancia en menor tiempo' (cf. Kuhn, 1982: 274). Desde nuestro punto de vista contemporáneo, esta confusión cobra sentido cuando distinguimos entre 'aceleración' y 'velocidad' en el movimiento uniforme y el movimiento uniformemente acelerado. De ahí que, en el primer caso, si la velocidad de ambos cuerpos es igual y constante durante el tiempo que tardan en completar una distancia patrón, no podemos distinguir cuál es más rápido, porque en este caso la aceleración es nula y la conclusión dicta que ambos cuerpos 'son igual de rápidos'. Sin embargo, en el segundo movimiento la aceleración existe y es producida por una fuerza constante que hace variar la velocidad de ambos cuerpos linealmente respecto al tiempo. Considerada de esta manera, la aceleración de cada cuerpo en el experimento planteado es una constante susceptible de ser comparada que nos permite distinguir con claridad cuál es el cuerpo 'más rápido' (cf. Kuhn, 1982: 274). Sobre las conclusiones del experimento mental de Galileo, Kuhn indicó lo siguiente:

Puede decirse que, en un instante dado, un cuerpo tiene una velocidad instantánea mayor de la que en ese mismo instante o en otro posee otro cuerpo. Puede decirse que un determinado cuerpo recorre una distancia dada con más rapidez que otro que recorre la misma distancia u otra. Pero en esos dos enunciados no se describen las mismas características del movimiento. 'Más rápido' significa algo distinto cuando se le aplica, por un lado, a la comparación de la rapidez instantánea del movimiento en instantes determinados y, por el otro, a la comparación de los tiempos necesarios para que se complete el total de dos movimientos especificados. Así, un cuerpo puede ser 'más rápido' en un sentido, pero no en el otro. (Kuhn, 1982: 274)

Por su parte, Kuhn manifestó una postura abierta a las críticas y a la posibilidad de realizar modificaciones y aclaraciones. De ahí, insisto, que las precisiones más claras sean la de 'matriz disciplinar' y lo que desde ahora se puede denominar y justificar como 'micro-revoluciones' emparentadas con los avances científicos. Simultáneamente, Kuhn también introdujo criterios normativos más claros para determinar una 'buena teoría científica' y asimismo sugerir cómo elegir entre teorías rivales. Así, los criterios que se suman a la verificación empírica y la predicción

teórica que Kuhn propuso son: precisión, coherencia, amplitud, simpleza y fecundidad (cf. Kuhn, 1982: 345).

Dado que estos criterios han sido propuestos desde los planteamientos del Círculo de Viena, no ahondaré mucho en ellos, ya que persisten sin grandes alteraciones con la introducción de la noción de matriz disciplinar. Por otro lado, considero que lo que sí debemos tener en cuenta son los matices subjetivos⁶⁵ subyacentes en los criterios para la elección de una teoría científica descritos por Kuhn. En el caso de la precisión, el aspecto subjetivo está implicado entre decidir ponderar el área de lo cualitativo o lo cuantitativo de dos teorías rivales: si por ejemplo, se pondera lo cuantitativo, el criterio de la precisión claramente es a favor de una teoría como la del oxígeno porque nos permite explicar las relaciones de peso observadas en reacciones químicas, pero si se pondera lo cualitativo, entonces la precisión se inclina hacia la teoría del flogisto porque explica por qué los metales eran más semejantes entre sí, que los minerales de los cuales provenían (cf. Kuhn, 1982: 347). En ambos casos, las dos teorías poseen buenas razones para ser ponderadas, pero la decisión final será determinada según el objetivo de la práctica científica vigente.

Con respecto a los criterios de la coherencia y simplicidad, ocurre algo semejante a la precisión. Por ejemplo, en la astronomía, el debate entre la teoría geocéntrica defendida por Ptolomeo y la novedosa teoría heliocéntrica propuesta por Copérnico, plantean un escenario en el que ambas teorías se pueden justificar, si bien la decisión depende de las prioridades que 'los practicantes' establezcan. En este sentido, si tomamos únicamente como criterio la coherencia, entonces la balanza se inclinaría a favor del geocentrismo porque ofrecería una explicación más adecuada en función de la evidencia total disponible y porque no contradecía la

⁶⁵ Conviene señalar que el elemento subjetivo en la exposición de Kuhn se refiere a lo relativo al juicio. Al respecto, él añadió lo siguiente: "(...) siempre puede pedírsele a los científicos que expliquen sus elecciones, que muestren las bases de sus juicios. Éstos son eminentemente discutibles, y quien rehúsa discutir los suyos propios no puede esperar que se le tome en serio" (Kuhn, 1982: 361).

física aristotélica que forma el cuerpo de la ciencia vigente de aquel momento (cf. Kuhn, 1982: 347). Pero, desde el punto de vista de la simplicidad, este criterio sí favorecía la teoría de Copérnico porque dicha teoría requería de un sólo círculo para describir la elongación limitada, el movimiento natural y retrógrado de los planetas. En este sentido, la teoría de Copérnico era más simple que la de Ptolomeo y así fue considerada por Galileo y Kepler (cf. Kuhn, 1982: 348). Así, en función de la combinación de criterios vigentes, se puede justificar la elección de una u otra teoría, si bien lo que nos interesa señalar es que, dicha elección nunca es enteramente objetiva, tal y como Kuhn reconoció.

En contraste con los criterios anteriores, la amplitud y la fecundidad son criterios con un matiz más subjetivo porque están altamente expuestos a factores externos a la ciencia, como el contexto social y político, así como a las creencias y costumbres personales de los científicos. Algunos ejemplos de ello serían la influencia que ejerció el movimiento neoplatónico y hermético sobre Kepler para ponderar el copernicanismo, la predisposición del romanticismo alemán hacia la aceptación de la conservación de la energía y el clima sociocultural de la Inglaterra del siglo XIX respecto al concepto darwiniano de lucha por la existencia (cf. Kuhn, 1982: 349).

En cualquier caso, lo que Kuhn está mostrando es que, si bien es cierto que los criterios por los cuales se determina qué teorías se deben ponderar en la ciencia, los propios criterios no son enteramente objetivos, sino que más bien, están compuestos por elementos subjetivos y pueden ser alterados por factores externos a la ciencia. En este sentido, los criterios propuestos por Kuhn articulan una red de valores que no deben ser tomados como medios para simplificar la elección entre teorías porque, como hemos visto anteriormente, tanto las teorías ‘vencedoras’ como las ‘vencidas’ poseían cada cual un conjunto de ‘buenas razones’ para ser ponderadas, según el punto de vista desde el cual se las considere (cf. Kuhn, 1982: 352). De ahí que Kuhn planteara que los criterios expuestos por él deben ser tomados como ‘valores’ y no como ‘reglas’, añadiendo lo siguiente:

Lo que estoy sugiriendo es que los criterios de elección con los cuales comencé funcionan no como reglas, que determinen decisiones a tomar, sino como valores, que influyen en éstas. En situaciones particulares, dos hombres comprometidos profundamente con los mismos valores tomarán, a pesar de ello, decisiones diferentes. Pero tal diferencia de resultado no debiera sugerir que los valores compartidos por los científicos tienen menos importancia crítica que sus decisiones o que el desarrollo de la empresa en la cual participan. (Kuhn, 1982: 355)

De esta manera, la exposición de Kuhn muestra que los valores poseen una estructura más flexible que ofrece un espectro de interpretaciones más amplio que justifica la expresión 'tenemos buenas razones para ponderar tal o cual teoría desde tal o cual punto de vista'. También, dicha exposición aclara la limitada comprensión que articula cualquier conjunto de criterios normativos porque plantean una visión unilateral de la ciencia. Más aún, Kuhn señaló que pueden existir diversos conjuntos de valores en virtud de la diversidad de disciplinas científicas que ejercen una influencia distinta en cada área de la ciencia (cf. Kuhn, 1982: 355). De ahí que él introdujera un matiz final, a saber, la invariancia del valor, la cual plantea, en términos generales, la continuidad de los valores científicos independientemente del tiempo, las teorías y las disciplinas (cf. Kuhn, 1982: 359). Así, Kuhn es claro en este punto respecto a los valores, aunque respecto a la noción de evidencia no aclara su posición. De ahí que, según nuestra exposición anterior, consideremos viable poder justificar la noción de evidencia como un valor cuya continuidad ha existido desde la antigüedad hasta nuestros días y que, al igual que el resto de los valores en el aspecto práctico, padece alteraciones desde aspectos subjetivos y por factores externos. Ejemplo de ello serían la noción de evidencia probatoria que se deriva de la verificación de predicciones, la resolución de anomalías graves y la clarificación conceptual producida por los experimentos mentales.

Finalmente, consideramos de suma importancia la apertura de Kuhn a considerar un conjunto de factores y elementos más amplio, que involucra matrices disciplinares y micro-revoluciones emparentadas con avances científicos (empíricos y conceptuales). Así como criterios basados en valores con elementos subjetivos y

objetivos que son susceptibles de ser afectados por factores externos a la ciencia. En consecuencia, consideramos que tales valores sentaron las bases para abordar lo que hacía finales del siglo XX y principios del siglo XXI se conocerá como 'las filosofías de las ciencias'.

Apartado 2.4- Directrices para una epistemología relativista: la alternativa de Laudan

Hacia finales del siglo XX, la racionalidad de la ciencia y el progreso científico habían llegado a un punto en el que parecían insostenibles, al menos desde el punto de vista más conservador de la filosofía de la ciencia que pugnaba por justificar sólo una metodología y teoría de la racionalidad científica. No obstante, a pesar de las críticas que surgieron a esta forma de concebir la actividad científica, un pensador propuso una nueva manera de comprender la ciencia, a saber, Larry Laudan. Su propuesta, en algunos casos, retoma elementos de los modelos expuestos por autores anteriores, pero interpretados de una forma novedosa.

El objetivo principal de Laudan es exponer una noción de ciencia caracterizada como resolución de problemas, desde una postura que pondera las tradiciones de investigación desde un punto de vista ecléctico (cf. Laudan, 1978: IX). Dicha postura se basa en el reconocimiento e inclusión de elementos racionales e irracionales que influyen en la actividad científica que moldea la imagen vigente del mundo, la cual se actualiza conforme la ciencia pondera las teorías más progresivas. Sin embargo, cabe señalar que, aunque la postura de Laudan es ecléctica, él rechaza abiertamente el escepticismo y cierto tipo de relativismo (cultural): respecto al primero, lo rechaza porque considera que sí existen criterios mínimos para sostener la racionalidad de la ciencia, como por ejemplo la efectividad en la resolución de problemas; respecto al segundo, considera que es prematuro caracterizar la ciencia como un conjunto de creencias entre muchos posibles y, cuyos elementos irracionales son más determinantes en las decisiones científicas que los racionales (cf. Laudan, 1978: 3).

No obstante, la resolución de problemas parece ser un criterio ambiguo porque implica la aceptación de la existencia de problemas *a priori* y soluciones *ad hoc* (que

por definición son empíricamente más progresivas que sus antecesoras) sobre las que Laudan no es preciso. Desde nuestro punto de vista, los problemas son interpretaciones sobre hechos que los seres humanos no pueden aceptar. De ahí la necesidad de articular una teoría que ofrezca una respuesta satisfactoria a hechos que denominamos problemáticos. Más aún, es importante señalar que si bien el relativismo que Laudan defiende se justifica en el terreno de la física y la matemática porque son áreas cuyo progreso puede explícitamente ser medido cuantitativamente a partir de la resolución de problemas mayormente teóricos, también es cierto que Laudan no es explícito sobre qué se debe considerar como un problema a pesar de estar de acuerdo con Kuhn y Lakatos sobre la forma de autenticación de problemas dentro de la ciencia en general (cf. Laudan, 1978: 19).

Ahora bien, las tradiciones de investigación que él propone son familias de doctrinas (teorías) histórica y conceptualmente relacionadas que exhiben los mismos compromisos metodológicos y ontológicos para solucionar y determinar problemas (en algunos casos parcialmente) dentro de algún dominio de la ciencia (cf. Laudan, 1978: 71). Precisamente, estos compromisos son los que otorgan identidad a cada tradición de investigación y operan como guía para el desarrollo de teorías ulteriores que pueden o no ser consistentes con sus antecesoras. Además, cada tradición especifica sus objetos y entidades de investigación, así como las técnicas instrumentales y modos de evaluación disponibles para los científicos, de ahí que, para Laudan: *“Put simplistically, a research tradition is thus a set ontological and methodological ‘do’s’ and ‘don’ts’* (Laudan, 1978: 80).

Dicho lo anterior, Laudan sostiene un relativismo epistemológico que, en principio, parece aceptar cualquier solución a hechos problemáticos, siempre y cuando la solución no implique más problemas de los que resuelve (cf. Laudan, 1978: 82). Nuevamente, insisto, esto no parece tener mayores dificultades en áreas como la física, cuyo progreso se valora a partir de las predicciones teóricas exitosas que ostenta una teoría y cuyos hechos problemáticos más importantes son teóricos, como bien lo ejemplifica la deducción de las leyes de Kepler realizada Newton.

En este sentido, Laudan relaciona la racionalidad y el progreso con la efectividad de

las teorías para resolver problemas (cf. Laudan, 1978: 5). Precisamente, como él mismo indicó, el término “solución” posee un contenido altamente relativo y comparativo que lo distingue del término “explicación”. La diferencia radica en que una solución es tomada como una aproximación aceptable entre resultados teóricos y experimentales, mientras que una explicación científica aceptable involucra, como Nagel indicó, términos causales, probabilísticos y estadísticos más precisos. Por esto, Laudan considera que resolver un problema no es explicar un hecho, apuntando los siguientes ejemplos como muestra de ello:

Newton was not able to explain exactly the motion of the planets; Einstein's theory did not exactly entail Eddington's telescopic observations; modern chemical bonding theory does not predict with exactitude the orbital distance of electrons in a molecule; thermodynamics does not precisely fit heat transfer data for any known steam engines. (Laudan, 1978: 23)

Dicho lo anterior, debemos considerar que las tradiciones de investigación, por muy flexibles que se puedan considerar respecto a los problemas que pueden abordar, requieren de un criterio de demarcación para distinguir entre ciencia y pseudo-ciencia, ya que por medio de dicho criterio es posible distinguir entre problemas científicos y pseudo-científicos. No obstante, en este punto la propuesta de Laudan no articula ningún criterio de demarcación, sino que asume los problemas científicos como ‘datos’ a partir de las teorías vigentes. De ahí que, desde nuestro punto de vista, la crítica de John Worrall acierta al señalar que sólo es posible juzgar como mejores los métodos actuales con base en un núcleo de principios racionales que incluyan la lógica deductiva y el peso de la evidencia a partir de las predicciones teóricas verificadas (cf. Worrall, 1989: 377).

En este sentido, sostener la racionalidad y el progreso de la ciencia, desde el punto de vista de los “hechos problemáticos” de Laudan parece más factible si se consideran como los “puzzles” de Kuhn, pues estos sí se pueden definir, mientras que aquellos, a pesar de ser esquematizados por Laudan, no son definidos con claridad, lo cual, insisto, no es un defecto menor si consideramos que su propuesta teórica respecto a la racionalidad y el progreso de la ciencia se centra en la

resolución de “problemas”. De ahí que, a pesar de omitir una definición sobre qué es un problema, Laudan apunte hacia una teoría de la racionalidad que pondera principalmente el peso o valor cognitivo de los problemas que trata la ciencia.

En efecto, dicha postura de Laudan se contrapone a la idea de progreso por acumulación, ya que, como bien apuntó él, en ausencia de dicha teoría, la ciencia se volvería un acto político (cf. Laudan, 1978:141). De ahí que Laudan abandonó las nociones de confirmación y verificación de teorías, apuntadas desde Popper hasta Kuhn, considerando incluso irrelevante si una teoría es verdadera o falsa (cf. Laudan, 1978: 24). En su lugar, él consideró que las teorías se deben valorar por su capacidad para proveer soluciones adecuadas a problemas significantes, es decir, por su éxito o fracaso. De hecho, Laudan reconoció que existe una relación de dependencia entre los problemas y las teorías, ya que el mundo siempre se percibe a través de ellas. En este sentido, las teorías definen el contexto de investigación de la tradición mediante presuposiciones teóricas sobre el orden natural y hechos parcialmente definidos como problemas (cf. Laudan, 1978: 15). Así, Laudan identificó dos tipos de problemas significantes: empíricos y conceptuales.

Los problemas empíricos son el primer tipo de problemas que una teoría debe resolver porque tratan sobre cuestiones relativas a los objetos que constituyen el dominio de una tradición (cf. Laudan, 1978: 15). Asimismo, siguiendo la línea argumentativa relativa a los experimentos mentales de Kuhn, Laudan planteó que los problemas empíricos no necesariamente deben describir con precisión un estado de cosas actual para ser considerados como tales. En cambio, los problemas empíricos son tales porque son pensados como si fueran estados de cosas actuales por un agente cognoscente. Así, cobra sentido el que ahí donde vemos el ‘hecho’ de la descomposición de un trozo de carne, los biólogos de principios del siglo XIX, convencidos de la teoría de la generación espontánea, vieran un problema empírico, a saber, cómo mostrar que un trozo de carne puesto al sol se transmuta en gusanos (cf. Laudan, 1978: 16).

De igual manera, Laudan consideró tres clases de problemas empíricos: problemas

resueltos, no resueltos y anómalos (cf. Laudan, 1978: 17). En términos generales, los problemas resueltos se consideran evidencia a favor de una teoría que les permite a los científicos comprender por qué una determinada situación acontece de la manera en que lo hace. Como muestra de ello, considérese que la teoría de los epiciclos de Ptolomeo resolvió exitosamente el problema del movimiento retrogrado de los planetas independientemente de si aceptamos la “verdad” de los epiciclos (cf. Laudan, 1978: 24). Así, Laudan señaló que ni el éxito ni el fracaso de una teoría implica ni justifica una postura sobre la verdad o falsedad de ésta, sino que sencillamente aceptamos o rechazamos una teoría en función de su capacidad para resolver problemas significantes. En este sentido, Laudan evitó el debate respecto a la verdad o falsedad de las teorías. En su lugar, señaló que cualquier teoría científica contiene suposiciones sobre entidades y procesos causales que los científicos pueden o no asumir que son reales (cf. Laudan, 1978: 93).

A su vez, Laudan caracterizó los problemas no resueltos como ambiguos y planteó que deben atravesar un proceso de autenticación para determinar que, en efecto, se trate de un problema empírico genuino y se pueda establecer su importancia y valor cognitivo para alguna teoría de la tradición de investigación. El proceso consiste en una estandarización de los efectos empíricos a través de un periodo relativamente largo, es decir, se trata de reproducir los fenómenos observados para evitar que se trate de un efecto aislado o, de un resultado anormal producto de una calibración deficiente en los instrumentos de medición (cf. Laudan, 1978: 19). Más aún, a pesar de haber sido autenticados, la ambigüedad de los problemas no resueltos persiste porque no resulta claro a cuál dominio de la ciencia pertenecen. De ahí que, el propio Laudan reconoció que a lo largo de la historia de la ciencia siempre han existido problemas no resueltos que existen en el límite de dos o más dominios de la ciencia y apuntó lo siguiente: “As a result of that uncertainty, it did not count seriously against any theory in a given domain if it failed to solve these unsolved problems for no one could show convincingly that theories in a particular domain should be expected to solve such problems” (Laudan, 1978: 19).

De hecho, Feyerabend y Laudan comparten la idea de que el contexto o dominio de la ciencia influye en la proyección de entidades. Así, desde la epistemología

relativista no puede haber sólo un criterio de existencia porque eso anularía la posibilidad de considerar entidades como las moléculas, las cuales, dentro de la biología y la química, no simplemente “existen” sino que “aparecen” bajo diversas condiciones bien definidas y complejas. De ahí que, tales entidades rompan con la dicotomía entre lo objetivo y subjetivo, ya que pueden ser ambas pero bajo condiciones especiales (cf. Feyerabend, 1989: 401-402).

Por otra parte, Laudan consideró que las anomalías son problemas derivados de la discrepancia entre los resultados experimentales y las predicciones teóricas que dan origen a dudas sobre la adecuación empírica de la teoría y se ponderan en función de su importancia y valor cognitivo (cf. Laudan, 1978: 39). Los factores que él consideró que influyen en la importancia de las anomalías están en sintonía con los propuestos anteriormente por Lakatos y Kuhn, a saber, la discrepancia y el tiempo que persisten sin una solución. Sin embargo, Laudan apuntó un caso en el que dos teorías en competencia⁶⁶ que no presentan discrepancias profundas respecto a un conjunto de fenómenos similares, se da el caso que T_2 explique o resuelva problemas que no son resueltos por su competidora T_1 (sea porque no se contemplan dentro de la teoría o porque no son tomados en cuenta por los científicos) los cuales, desde el punto de vista de Laudan, se consideran anomalías en contra de T_1 porque respecto a T_2 se considera una teoría cuyo progreso es más reducido. Un ejemplo de ello es la crítica de Galileo a las teorías cinemáticas de sus predecesores, los cuales no consideraron el movimiento del péndulo y, por lo tanto, no podían explicarlo matemáticamente (cf. Laudan, 1977: 29). Respecto a este punto, Laudan escribió:

In stressing that a problem can only count as *anomalous* for one theory if it is *solved* by another, the analysis seem to run against the common view that one sort of anomaly, the *refuting instance*, poses a direct cognitive to a theory, even if it is unsolved by any competitor. (...) We must here satisfy ourselves with the observation that unsolved refuting instances are often of little

⁶⁶ Cabe señalar que las teorías pueden o no pertenecer a la misma tradición de investigación.

cognitive significance. (Laudan, 1978: 30).

En cuanto a las anomalías en general, es importante señalar que, para Laudan, su resolución muchas veces depende de los objetivos de la ciencia vigente, los cuales pueden verse alterados por factores externos a la ciencia, como un buen financiamiento de alguna asociación que dicta temporalmente qué problemas se deben resolver, con base en factores sociales, económicos o políticos (cf. Laudan, 1978: 32). Aunado a ello, Laudan comparte la idea generalizada respecto a que una teoría no debe ser abandonada porque presente anomalías y considera que éstas sólo cuentan como evidencia en contra de la teoría si existe una teoría rival que actualmente la haya solucionado, como en el caso antes citado de Galileo (cf. Laudan, 1978: 38). En este sentido, las anomalías constituyen una parte importante pero no determinante en la evaluación de teorías⁶⁷ científicas, dentro y fuera de las tradiciones de investigación.

Otro rasgo importante que Laudan refiere de las anomalías es que dan cuenta de ambigüedades inherentes a la evaluación de las teorías científicas, las cuales evitan que se pueda decidir con certeza cuándo se debe abandonar una teoría. La primera ambigüedad surge de la dificultad de ubicar errores dentro del complejo de teorías científicas si sus predicciones experimentales resultan erróneas. Así, la decisión de abandonar una teoría perteneciente al complejo de teorías que se está evaluando resultaría arbitraria (cf. Laudan, 1978: 27). La segunda ambigüedad enfatiza la actitud comúnmente aceptada de tomar el conocimiento de los datos como infalibles y verídicos. En su lugar, Laudan considera que los datos son sólo probables y, en caso de que resulten anómalos, se podría racionalmente justificar abandonar dichos datos, si no representan evidencia a favor de una teoría rival (cf. Laudan, 1978: 27).

En suma, el factor más importante de los problemas empíricos es que existen independientemente de las teorías científicas, es decir, gozan de autonomía. De ahí que transformar problemas anómalos y no resueltos, en resueltos sea uno de los

⁶⁷ Laudan comparte con Lakatos y Kuhn la idea respecto a que no se evalúan teorías individuales, sino redes o conjuntos de teorías (cf. Laudan, 1978: 27).

principales objetivos de las tradiciones de investigación, ya que se consideran evidencia a favor de la tradición y, por lo tanto, de su éxito (cf. Laudan, 1978: 82). Así, maximizar la cantidad de problemas empíricos resueltos y minimizar la cantidad de problemas conceptuales es la principal justificación del progreso de la ciencia como actividad cognitiva: “It follows from this that *the chief way of being scientiically reasonable or rational is to do whatever we can to maximize the progress of scientific research traditions*” (Laudan, 1978: 124).

Teniendo en cuenta lo anterior, Laudan considera que la evaluación de teorías científicas es un proceso dinámico que ocurre a través del tiempo (cf. Laudan, 1978: 5). En este sentido, él propuso que el progreso de la ciencia se debería basar en la elección de las teorías más progresivas dentro de cada tradición de investigación, es decir, las que resuelven más problemas y poseen menos anomalías, puesto que ello permite identificar con claridad cuándo ha ocurrido el progreso. Así, la aceptación racional de dichas teorías se justificaría en términos de progreso y viceversa (cf. Laudan, 1978: 6). Más aún, al ser un proceso dinámico, Laudan concuerda con Kuhn al rechazar el progreso en términos de acumulación, porque considera que existen pérdidas y ganancias de conocimiento, de ahí que su mayor interés esté centrado en lo que él denomina “progreso cognitivo”:

My exclusive preoccupation will be with I call ‘*cognitive progress*’, which is nothing more nor less than *progress with respect to the intellectual aspirations of science*. Cognitive progress neither entails, nor is it entailed by, material, social, or spiritual progress. These notions are surely not altogether disconnected, but they do refer to very different processes, and, at least for purposes of the present discussion, should be sharply distinguished. (Laudan, 1978: 7)

Así, el progreso cognitivo está relacionado con los problemas conceptuales y, por ende, con las teorías que constituyen las tradiciones de investigación. De ahí que el aspecto más importante de tales problemas sea la buena fundamentación de las estructuras teóricas que han sido ideadas para responder a las cuestiones de primer orden (empíricas); además, a diferencia de los problemas empíricos, los

conceptuales no poseen existencia independiente de las teorías, es decir, no gozan de autonomía y solo existen dentro de las teorías (cf. Laudan, 1978: 48).

En este sentido, los problemas conceptuales se dividen en internos y externos. Los primeros surgen cuando una teoría T exhibe inconsistencias lógicas o sus categorías son ambiguas. Por ejemplo, si sólo son inconsistencias, la teoría se rechaza hasta que sean eliminadas las inconsistencias. En cambio, en el caso de las ambigüedades, éstas no siempre son eliminables por completo y subyacen en algún grado. Tal sería el caso, por ejemplo, del primer modelo de interacción eléctrica de Faraday, el cual fue diseñado para eliminar el concepto de acción a distancia, si bien, desafortunadamente, dicho modelo requería de 'pequeños rangos de acción a distancia' entre partículas contiguas. Más aún, las críticas y reevaluaciones sobre estas consideraciones, condujeron a que Faraday repensara la relación entre materia y fuerza para que su modelo de interacción eléctrica evitara dichos problemas conceptuales y, posteriormente sentara las bases del concepto de campo electromagnético (cf. Laudan, 1978: 50).

Por su parte, Laudan propuso una taxonomía de las relaciones cognitivas de las teorías científicas para caracterizar los problemas conceptuales externos que surgen entre ellas, misma que contempla los siguientes casos: vinculación, refuerzo, compatibilidad, implausibilidad e inconsistencia (cf. Laudan, 1978: 54). Aquí nos concentraremos en exponer los últimos tres casos, ya que son el tipo de relaciones cognitivas que producen problemas conceptuales, no sin antes añadir, que los primeros dos casos muestran los logros epistémicos, cognitivos y prácticos de la ciencia (cf. Laudan, 1978: 58). Para el caso de la inconsistencia, ésta plantea que una teoría T_2 niega lógicamente (parcial o totalmente) el contenido teórico de otra teoría T_1 . Para ilustrar este caso, Laudan retomó el sistema astronómico ptolemaico, el cual sostenía que ciertos planetas se movían alrededor de puntos vacíos y que los planetas no siempre se desplazaban a una velocidad constante, lo cual resultó inconsistente con las teorías físicas y cosmológicas comúnmente aceptadas que negaban la existencia del vacío y sostenían modelos astronómicos basados en esferas homocéntricas (cf. Laudan, 1978: 51-52).

En cuanto a la implausibilidad, de acuerdo con Laudan, ésta sostiene que dos teorías lógicamente compatibles son conjuntamente insostenibles porque la aceptación de una teoría reduce el nivel de aceptación de la otra teoría. Así, por ejemplo, durante el siglo XVII y principios del siglo XVIII, la teoría del calor dominante era cinética porque concebía el calor por la rápida agitación de las partes constitutivas de un cuerpo (cf. Laudan, 1978: 53). Sin embargo, durante el siglo XVIII comenzaron a surgir teorías que sugerían que los procesos naturales dependían de la presencia de fluidos que podrían ser absorbidos o emitidos por un cuerpo, como por ejemplo la luz y la electricidad. Esto es, aunque la aceptación de una teoría del flujo de electricidad no implicaba el rechazo de la teoría cinética del calor, sí se oponía a la naturaleza de los procesos físicos propuestos por ella y, por lo tanto, aumentaba su implausibilidad (cf. Laudan, 1978: 53).

Más aún, debemos destacar que Laudan reconoció que en los casos en que dos teorías científicas son inconsistentes o implausibles, surge una presión cognitiva en la comunidad científica que los predispone a abandonar alguna de las teorías, respecto a lo cual añadió: “(...) *the decision to abandon one of a pair of inconsistent theories and to retain the other member of the pair usually involves a commitment to develop an adequate alternative to the rejected theory*” (Laudan, 1977: 56). En cualquier caso, la inconsistencia y la implausibilidad crea un problema conceptual para ambas teorías e indican una debilidad que justifica considerar seriamente el abandono de una o ambas teorías involucradas. Sin embargo, siguiendo a Lakatos y como bien señaló Laudan, nada nos ofrece una guía para saber *a priori* que teoría retener y cuál abandonar y apuntó como ejemplo la controversia durante el siglo XIX entre biólogos, geólogos y físicos respecto a la cronología de la Tierra:

On the geological and biological side was an enormous amount of evidence to support the view that the earth was very old indeed, that it was partially fluid under the surface had remained largely unchanged for hundreds of millions of years. Both uniformitarian geology and evolutionary biology rested upon such assumptions. The physicist Lord Kelvin, however found himself unable to reconcile these sore postulates with thermodynamics. Specifically, he showed that the second law of thermodynamics (entailing an increase in

entropy) was incompatible with an evolutionary account of species and that both the first and second law were incompatible with the geologist's hypothesis that the energy reserves in the earth had remained constant through much of the geological past. General perplexity abounded. Thermodynamics had much going for it in physics, but the dominant geological and biological theories also could point to a huge reserve of solved problems. (Laudan, 1978: 57)

Respecto a la compatibilidad, ésta se considera en algunos casos una debilidad y, en otros casos, muestra la interconexión entre las disciplinas y los dominios de la ciencia. Así, se considera la compatibilidad como una debilidad cuando una teoría T_2 falló en reforzar otra teoría T_1 mediante un aumento en la claridad conceptual o, resolviendo algunos problemas empíricos que ésta no pudo y resultó ser simplemente un añadido teórico sin gran importancia (cf. Laudan, 1978: 53). Para ejemplificar este caso, Laudan apuntó lo siguiente: "The enunciation of a chemical theory which was merely compatible with quantum mechanics, but which utilized none of the concepts of quantum theory, would be viewed askance by most modern scientists" (Laudan, 1978: 53).

Por otro lado, Laudan también consideró las relaciones de compatibilidad entre tradiciones de investigación y el cuerpo de creencias que articulan la visión del mundo vigente. Así, desde su punto de vista, si dos tradiciones de investigación competitivas resultan incompatibles mutuamente y una de las tradiciones es compatible con la visión del mundo más progresiva disponible y la otra no, entonces existen fundamentos sólidos para justificar la elección de cierta tradición (cf. Laudan, 1978: 131). También, si ambas tradiciones pueden ser justificadas con referencia a la misma visión del mundo, entonces la decisión racional entre ellas puede ser realizada en suelos enteramente científicos, es decir, con base en la cantidad de problemas que sus respectivas teorías resuelven (cf. Laudan, 1978: 132). De igual manera, Laudan considero que si ambas tradiciones son incompatibles con una visión del mundo progresiva, sus partidarios deberán articular una nueva visión del mundo progresiva que las justifique o desarrollar una tradición de investigación que pueda ser compatible con la visión del mundo vigente (cf. Laudan, 1978: 132).

Con base en la exposición anterior, Laudan propuso que el progreso cognitivo de la ciencia se justifica por la elección de las tradiciones de investigación que exhiben un mayor potencial explicativo, es decir, aquellas que resuelven la mayor cantidad de problemas empíricos y conceptuales y, a su vez, producen la menor cantidad de éstos últimos (cf. Laudan, 1978: 66). En este sentido, los problemas resueltos se consideran evidencia a favor de una teoría; sin embargo, también se considera evidencia en contra de una teoría si produce una mayor cantidad de problemas (empíricos o conceptuales) de los que resuelve. Esta relación se explica a través del potencial explicativo de cada teoría, el cual se pondera mediante un balance entre los problemas resueltos y no resueltos (cf. Laudan, 1978: 67). Por otro lado, Laudan también consideró la posibilidad de que una teoría, en su afán de resolver problemas, entre en contradicción con la metodología o la imagen del mundo sostenida por la tradición de investigación a la que se encuentra adherida y se vea en la necesidad de modificar dicha visión o articular una nueva como ha sucedido en varias ocasiones a través de la historia:

From Aristotle to Ernst Mach, from Hippocrates to Claude Bernard thinkers concerned about science have attempted to legislate concerning the acceptable modes of science inference. In the early seventeenth century, the dominant image was mathematical and demonstrative, an image that became canonical in Descarte's famous *Discourse on Method*. In the eighteenth and early nineteenth century, by contrast, most natural philosophers were convinced that the methods of science should be inductive and experimental. Not surprisingly, every historical epoch exhibits one or more dominant, normative images of science. (Laudan, 1978: 58)

En efecto, la tensión entre las teorías científicas y la metodología representa uno de los problemas más serios dentro de la ciencia porque involucra la forma de estudiar las entidades y el sistema de creencias que articulan la imagen del mundo proyectada por la tradición de investigación vigente. Esta tensión, que Laudan denomina incompatibilidad, surge porque alguna teoría postula entidades de las cuales no se pueden inferir u obtener datos y, por lo tanto, resulta incompatible con la metodología vigente (cf. Laudan, 1978: 59). De ahí que, para resolver dicha

tensión, la vía más simple sea la modificación de la teoría para que se reconcilie con la metodología vigente. No obstante, como hemos señalado, históricamente también se han dado casos en los cuales la metodología es la que se ha modificado a causa de la emergencia de teorías que rompen con la tradición de investigación. Un ejemplo de ello fue la emergencia de teorías newtonianas que postulaban la existencia de partículas imperceptibles y fluidos, como la interacción eléctrica de Faraday de la que ya hemos hablado, que no se podían inferir de los datos observacionales y, por lo tanto, resultaban incompatibles con la metodología inductiva y experimentalista (cf. Laudan, 1978: 60).

Desde el punto de vista de Laudan, este último caso supuso una revolución científica porque fundó una nueva tradición de investigación, impulsada por un grupo de científicos que pugnaron porque las normas de la metodología vigente debían ser modificadas para que fuera compatible con las mejores teorías disponibles. De ahí que, siguiendo a Laudan, LeSage, Hartley y Lambert impulsaran el modelo hipotético deductivo como la metodología dominante para teorizar sobre entidades no observables porque ésta permitía ampliar la clase de entidades estudiadas en diversos dominios de la ciencia, es decir, suponía la elección más progresiva: "This new methodology, by providing a rationale for 'micro-theorizing', eliminated what had been a major conceptual stumbling block to the acceptance of a wide range of Newtonian theories in the mid and late eighteenth century" (Laudan, 1978:60).

Más aún, la historia de la ciencia muestra periodos en los que las revoluciones científicas se producen porque una tradición abandona una visión del mundo que es incompatible con ella, y elabora una nueva que sea compatible con ella. De hecho, esta es la manera más o menos radical en la que los nuevos sistemas científicos eventualmente llegan a ser aceptados como parte de nuestro sentido común; en otras palabras, fuerzan la aceptación de su visión del mundo. De ahí que, para ejemplificar este caso, Laudan apuntó lo siguiente: "In the seventeenth centuries, for instance, the new research traditions of Descartes and Newton went violently counter to many of the most cherished beliefs of the age on such questions

as 'man's place in Nature,' the history and extent of cosmos, and, more generally, the nature of physical processes" (Laudan, 1978: 101).

Asimismo, una nueva tradición de investigación dicta una ontología y una metodología general sobre los modos en los cuales las nuevas entidades interactúan y sirven de guía para las teorías que sí resuelven problemas dentro de un dominio específico de la ciencia (cf. Laudan 1978: 79). A propósito de ello, Feyerabend consideró que las nuevas entidades postuladas constituyen proyecciones que vinculan la tradición de investigación científica con un sistema de creencias justificado racionalmente (ideología) y, a su vez, con una imagen de la realidad (cf. Feyerabend, 1989: 400). En este sentido, Laudan también aclaró que la aceptación de una nueva tradición de investigación no implica que no se puedan desarrollar y trabajar en tradiciones de investigación alternas, pero indicó que siempre es preferible trabajar en aquellas que poseen un mayor potencial explicativo (cf. Laudan, 1978: 111).

En este sentido, Laudan concuerda con Lakatos al considerar la posibilidad de desarrollar programas o tradiciones de investigación cuyas teorías sean capaces de sostener una rivalidad teórica y/o empírica con la tradición vigente, de tal manera que sean susceptibles de inducir un desplazamiento progresivo respecto a la problemática abordada por la tradición (cf. Lakatos, 2002: 154). Así mismo, Feyerabend apuntara que las entidades son capaces de inducir un cambio progresivo dentro de la ciencia, si bien ello implica largos periodos de estudio e investigación: "The 'scientific entities' (...) are inventions that went through long periods of adaptation, correction, and modification, and then allowed scientists to produce previously unknown effects" (Feyerabend, 1989: 400).

En efecto, dicha proliferación muestra que la racionalidad de la ciencia no es instantánea ni mecánica, sino que toda tradición de investigación requiere tiempo y no deben ser eliminadas instantáneamente en ausencia de predicciones exitosas (cf. Lakatos, 2002: 147-148). Por ello, Laudan sostiene una epistemología relativista que muestra por qué hay métodos mejores que otros y cómo es que los objetivos, las teorías y la metodología de diversas tradiciones de investigación son

susceptibles de padecer cambios que, en algunos casos, son motivados por causas externas a la actividad científica (cf. Laudan, 1989: 369). En este sentido, Feyerabend concuerda con Laudan con el punto de vista relativista, porque considera que los sentimientos y sensaciones juegan un papel importante dentro del conjunto de valores que influyen en los parámetros de la ciencia (cf. Feyerabend, 1989: 404).

Dicho lo anterior, la epistemología relativista sostiene que los principios metodológicos de la ciencia no son inmunes a ser evaluados y eventualmente pueden ser modificados o sustituidos. Así, el relativismo defendido por Laudan, y por Feyerabend señala que cualquier teoría sobre la racionalidad científica para evaluar las teorías científicas vigentes debe hacer suposiciones substanciales sobre la estructura del mundo que vivimos y percibimos, las cuales solo representan las mejores hipótesis disponibles sobre el comportamiento de las entidades que constituyen nuestra imagen de la naturaleza. Más aún, dicha postura sostiene que la metodología de las tradiciones de investigación se debe limitar a ofrecer principios procedimentales en lugar de reglas, las cuales son en principio defendibles, pero susceptibles de ser modificadas a través del tiempo (cf. Laudan, 1989: 374).

Precisamente, Laudan y Feyerabend enfatizaron que la ciencia 'madura' no es la única fuente de conocimiento válida porque la tradición de investigación y sus teorías vigentes no exhiben todas las características estructurales y metodológicas postuladas por las primeras versiones para sostener la existencia de un sólo conjunto de leyes fundamentales que justifique la alegada unidad de la ciencia. Ello explica que, en distintas partes, ambos autores señalen que la unidad de la ciencia no será posible hasta que se puedan unificar la teoría general de la relatividad y la mecánica cuántica (cf. Feyerabend, 1989: 402). En consecuencia, esta postura abre la puerta a que se considere con mayor seriedad la racionalidad de la epistemología relativista: "The model, finally, insists that any appraisal of the rationality of accepting a particular theory of research tradition is trebly relative: it is relative to its contemporaneous competitors, it is relative to prevailing doctrines of theory assessment, and it is relative to the previous theories within the research tradition" (Laudan, 1978: 124).

Ahora bien, desde el punto de vista de la epistemología relativista defendida por Laudan y Feyerabend, la ciencia ha llegado a un desarrollo tan amplio que se ha visto orillada a considerar entidades que van más allá de los límites de lo objetivo y lo subjetivo, ya que pueden ser ambos, pero bajo condiciones muy especiales. Ejemplo de ello es el caso de las moléculas en la química y la biología, ya que no simplemente existen (por un periodo de tiempo), sino que aparecen sólo bajo ciertas condiciones complejas y bien definidas (cf. Feyerabend, 1989: 402). Precisamente, dichas consideraciones respecto a tal tipo de entidades hicieron surgir debates entre diversas posturas epistemológicas, siendo la relativista aquella que considera a los seres humanos como 'escultores de la realidad' a través del conocimiento científico del que parece que no podemos prescindir. Al respecto, Feyerabend apuntó lo siguiente:

And yet we cannot do without scientific know-how. Our world has been transformed by the material, spiritual, and intellectual impact of science and science-based technologies. Its reaction to the transformation (and a strange reaction it is!) is that we are stuck in a scientific environment. We need scientists, engineers, scientifically inclined philosophers, sociologists, etc., to deal with the consequences. My point is that these consequences are not grounded in an "objective" nature, but come from a complicated interplay between an unknown and relatively pliable material and researchers who affect and are affected and changed by the material which, after all, is the material from which they have been shaped. It is not therefore easier to remove the results. The "subjective" side of knowledge, being inextricably intertwined with its material manifestations, can-not be just blown away. Far from merely stating what is already there, it created conditions of existence, a world corresponding to these conditions and a life that is adapted to this world; all three now support or "establish" the conjectures that led to them. Still, a look at history shows that this world is not a static world populated by thinking (and publishing) ants who, crawling all over its crevices, gradually discover its features without affecting them in any way. It is a dynamical and multifaceted being which influences and reflects the activity of its explorers. It

was once full of gods; it then became a drab material world; and it can be changed again, if its inhabitants have the determination, the intelligence, and the heart to take the necessary steps. (Feyerabend, 1989: 406)

Dicho lo anterior, consideramos que la epistemología relativista ha profundizado en las raíces de la filosofía de la ciencia del siglo XX porque ha mostrado cómo se ha desarrollado la actividad científica en relación con factores sociales, económicos, educativos, industriales, éticos, religiosos, y personales. De ahí que sea importante destacar que algunas veces estas relaciones frenan o truncan el desarrollo científico, como en el caso de Aristarco y el rechazo de su modelo heliocéntrico en la antigüedad. Sin embargo, también es cierto que han existido épocas en las que dichos factores han propiciado grandes descubrimientos, como en el caso de las tres leyes de Kepler que, años más tarde, fueron demostradas matemáticamente por Newton. En este sentido, consideramos que la crítica de Donald Gilles a Lakatos por el uso excesivo de descubrimientos científicos se extiende a la mayoría de los autores porque omiten mencionar la importancia que han tenido las aplicaciones de la ciencia a la industria y el comercio, las cuales han servido para justificar su constante financiamiento y desarrollo del que muchos sectores de la sociedad moderna dependen en gran medida, como por ejemplo la agricultura (cf. Gilles, 2002: 18).

Por otro lado, no debemos perder de vista que la ciencia, a pesar de tales factores sociales, continúa siendo una actividad racional porque es capaz de mostrar que ciertas creencias sobre las entidades que constituyen parte de la estructura de la naturaleza pueden ser erróneas, como en el caso del flogisto, o pueden ser correctas, como en el caso de los átomos y moléculas. Más aún, dichas correcciones en nuestro sistema de creencias conllevan ajustes en la concepción que poseemos del mundo. De ahí la importancia del heliocentrismo copernicano, la gravitación newtoniana, el evolucionismo darwiniano y el relativismo de Einstein. En efecto, los seres humanos modificamos nuestra concepción del mundo con el desarrollo de la ciencia; es lo que Kuhn llamó, un cambio de paradigma. De ahí que, Laudan sostenga que la imagen del mundo contemporáneo ha sido moldeada por Newton, Darwin, Freud y Marx (cf. Laudan, 1978: 1).

Así, la epistemología relativista nos ha conducido a considerar que la racionalidad de la ciencia alberga elementos irracionales útiles como por ejemplo el dogmatismo, el cual sostiene el anhelo de verdad contenido en la certeza de las teorías, independientemente de quienes las expresen (cf. Lakatos, 2002: 334). En este sentido, Feyerabend concordó con Kuhn al sostener que la ciencia se ve forzada a buscar un nuevo paradigma cuando las categorías y/o entidades vigentes no se ajustan a la naturaleza y cuando las predicciones sobre dichos elementos fallan la mayoría de las veces (cf. Feyerabend, 1970: 202). Además, Laudan observó que el sentido peyorativo de las teorías *ad hoc* y su capacidad para resolver problemas también ejercen una fuerte presión para aceptar y desarrollar tradiciones de investigación “inmaduras” hasta alcanzar la autonomía de las tradiciones “maduras”: “The evolution of ideas, and the problems to which those ideas provide solutions, is necessarily an *interdisciplinary process*” (Laudan, 1978: 174).

De acuerdo con lo expresado anteriormente, hacia finales del siglo XX surgieron nuevas e importantes propuestas epistemológicas que ahondaron en los problemas señalados por los filósofos de la ciencia. Tales propuestas son conocidas como el realismo y el anti-realismo, las cuales sostienen puntos de vista diferentes sobre el proceso productivo (teórico y experimental) del conocimiento científico. En este sentido, su principal diferencia radica en su postura sobre la existencia de nuevas entidades científicas. Precisamente, este debate se enfoca en la forma de asir la realidad por parte de los seres humanos y primordialmente, de los científicos que trabajan con entidades específicas dentro de cada dominio de la ciencia. Más aún, los científicos realistas sostienen que las teorías se aproximan cada vez más a la verdad, lo cual es un contrapunto respecto a la postura de los científicos anti-realistas quienes defienden que las teorías son construcciones que nos permiten predecir estados de cosas susceptibles de evaluación.

Sin embargo, a diferencia de los científicos realistas quienes consideran el conocimiento como una representación que está en correspondencia con la realidad, los anti-realistas apelan a que la ciencia debe ofrecer buenas teorías que sean empíricamente adecuadas y cuya aceptación no implica una postura ontológica sobre cómo es el mundo en realidad. De ahí que, sobre las entidades

teóricas Van Fraassen apuntó que, “sólo podemos creer que son adecuadas empíricamente” (cf. Van Fraassen, 1996: 28), pero que, según Hacking, “si se pueden rociar, entonces son reales” (cf. Hacking, 2001: 40). En cualquier caso, desde nuestro punto de vista, tanto los científicos realistas como anti-realistas enfatizan el hecho de que nunca se está frente a una teoría completa, lo que significa que la aceptación de cualquier teoría involucra cierto tipo de programa de investigación. Más aún, hay que considerar la estrecha relación entre los programas y la comunidad científica, ya que al padecer cambios (ya sea por el éxito o el fracaso de las teorías que lo articulan), la visión y las creencias de los científicos se actualizan, e incluso, me atrevería a decir que dicha actualización se extiende más allá del ámbito científico hacia la política, la economía y la cultura en general.

Para concluir, los estudios de la filosofía de la ciencia mostraron que los periodos de crisis que atraviesan las ciencias producen cambios significativos en la comprensión que tenemos los seres humanos de la naturaleza. De ahí que, si los criterios normativos que determinan qué cuenta como evidencia para la ciencia, así como qué teorías se aceptan como válidas, dichos criterios se asumen y se aplican por la sociedad en general porque subsisten como criterios racionales. Así, considero que la epistemología relativista señala que la ciencia debe transitar más allá de las dicotomías “racional e irracional”, así como “objetivo y subjetivo” para ampliar nuestra comprensión sobre cómo está compuesto el mundo y, a su vez, resolver la mayor cantidad de problemas que surjan en el proceso. De esta manera, la crisis producida por el reconocimiento de que no existe un solo método científico completamente verdadero ni incorregible sentó las bases para el surgimiento de nuevas ramas de la ciencia. Así mismo, esto condujo a la filosofía de la ciencia a prestar atención al desarrollo histórico de las ciencias naturales para mostrar cómo han sido posibles otras formas de actividad científica que no responden precisamente al método de la física que primó durante el siglo XX.

Conclusiones

La exposición anterior nos condujo por un largo camino a través de la historia de la ciencia, en el cual hemos logrado ampliar nuestra mirada sobre cómo ha evolucionado la actividad científica emprendida por filósofos y científicos desde la antigüedad y hasta finales del siglo XX. En este sentido, la metodología crítica nos ha permitido detenernos en relaciones complejas como la planteada entre razón y

fe que, muchas veces de manera ingenua o dogmática, se asume como contrarios. No obstante, al ser analizadas como actividades humanas, se pueden notar paralelismos cuando consideramos conceptos como los de evidencia y creencia. Así, durante el medievo ganó una amplia aceptación y se desarrolló a través de la lógica porque se mostró que comprender racionalmente las escrituras bíblicas es posible siguiendo las formas válidas de la argumentación. Ahora bien, considerando nuestra posición contemporánea, podemos sostener un paralelo con el positivismo lógico cuyo fundamento se basó en un considerable desarrollo de la lógica para la resolución de problemas epistemológicos y metodológicos desde una concepción científica del mundo. En este caso, uno de los puntos cruciales fue la creencia justificada con base en la evidencia empírica cuyo conocimiento se ajusta a un conjunto de criterios intersubjetivamente válidos asumidos por una comunidad científica definida. En ambos casos, lo que quiero subrayar es que, al tratar un objeto de estudio, éste no es posible sin un conjunto de criterios que regulen aquello que debe ser tenido en consideración como conocimiento “válido”.

Esto nos llevó a prestar mayor atención hacía la noción de evidencia como uno de los elementos que permite justificar racionalmente teorías científicas y comprender cómo ha sido posible el progreso científico. En este sentido, el desarrollo conceptual de la noción de evidencia apareció explícitamente hasta la teoría de la gravitación universal de Newton: en ella encontramos una teoría de la racionalidad científica basada en la evidencia de la precisión de los cálculos matemáticos, así como la verificación observacional de predicciones exitosas. De esta manera, hacia finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX, la noción de evidencia observacional, propia de las ciencias de la naturaleza, ganó preferencia entre la comunidad científica. Esto a su vez fue en detrimento de la ontología de las entidades teóricas que eran frecuentemente usadas por los filósofos naturales para justificar sus sistemas filosóficos que, en mayor o en menor medida, trataban de explicar un conjunto de fenómenos naturales, como fue el caso de Descartes. Pero tal y como le sucedió a Newton con la Gravedad, la actividad científica no se puede desprender totalmente de las cuestiones ontológicas inherentes a las entidades teóricas usadas en las explicaciones científicas. En consecuencia, la inherente ontología de las entidades

teóricas suscitó diversos debates entre los filósofos de finales del siglo XIX y los filósofos de la ciencia de la segunda mitad del siglo XX. Por un lado, miembros del Círculo de Viena como Carnap y Ayer pugnaron por reconfigurar el aspecto ontológico de las entidades teóricas al emprender el proyecto de un sistema de constitución, en el que las entidades postuladas por las teorías existen como elementos del sistema de constitución a partir de su definición.

Más aún, Rudolf Carnap y A. J. Ayer consideraron el concepto de evidencia y su relación con la noción de creencia justificada respecto a las entidades teóricas a través del análisis lógico del lenguaje. Con este método, mostraron que la prueba lógica y la evidencia empírica pueden articular un marco normativo para justificar el conocimiento de la ciencia evitando, por un lado, la introducción de pseudo-problemas como el fundamento ontológico de la realidad y, por otro lado, establecer un sistema ordenado de relaciones de objetos observables susceptibles de ser evaluados a través de una reconstrucción racional que pondera la reproducción experimental y la comunicación significativa. Así, la noción de “dato” articulada por Ayer, sintetizó las diversas concepciones de lo “dado”, al añadir una carga cuantitativa para traducir a datos formales la evidencia observacional y conducir la experimentación científica hacia una formalización teórica sólida que no solo se basa en hipótesis; en otras palabras, los datos cualitativos se ofrecen como evidencia experimental sólida que permiten justificar una teoría como conocimiento científico porque pueden ser reproducidos experimentalmente y comunicables significativamente. Así, podemos sostener que las teorías científicas son modelos explicativos hipotéticos que describen comportamientos en términos de causalidad, mediante la acción y la relación de las entidades físicas contenidas en las regularidades registradas a partir de los datos experimentales.

No obstante, Popper y Lakatos acertadamente señalaron que la evidencia probatoria surgió del análisis de los datos de la experiencia empírica. Esto significa que, los datos cualitativos y cuantitativos requieren una interpretación realizada a la luz de alguna teoría para determinar su utilidad como evidencia probatoria. En efecto, esto nos conduce a que no son posibles las observaciones y mediciones puras porque siempre existe una teoría a través de la cual se tamizan los datos.

Más aún, consideramos que la crítica de Popper contra la justificación inductiva de la verdad probable de las teorías correctamente sostiene que afirman más de lo que se podría corroborar; lo mismo sucede al tratar de verificar las leyes universales: es demasiado lo que afirman sobre el mundo, como en el caso del hielo flotando en el agua y su descripción a partir del principio de Arquímedes. No obstante, es importante señalar que las leyes naturales son proposiciones que expresan una amplia clase de fenómenos que responden a una regularidad observacional. De ahí que estemos de acuerdo con Popper respecto a la consideración de las teorías científicas como redes para racionalizar, explicar y dominar “el mundo”, de ahí que gran parte del progreso gire en torno a mejorar la precisión de las teorías.

Por otro lado, a diferencia de Popper, Lakatos vislumbró que las teorías científicas no se evalúan de forma individual, sino que se evalúan a través de cuerpos de teorías (PIC). Ciertamente, la propuesta de Lakatos ofrece una cantidad mayor de herramientas para evaluar el éxito o el fracaso de un PIC, aunque, como señalamos anteriormente, adolece de algunas inconsistencias a la hora de abordar el tema de la eliminación de teorías. Sin embargo, Lakatos explicó que un PIC exitoso posee evidencia entendida como predicciones teóricas corroboradas empíricamente que han conducido a un cambio progresivo en la problemática científica, tal y como pasó con el programa newtoniano respecto al programa cartesiano. Más aún, lo que nos muestra este ejemplo es que toda crítica respecto a una teoría va acompañada de una teoría mejor susceptible de articular un programa novedoso y sustituir al programa vigente. De ahí que, con base en las confirmaciones de la teoría de Einstein, se dice que el programa newtoniano ha sido superado, refutado, en incluso falseado, pero ello no implica su eliminación de la ciencia en general.

Dicho lo anterior, desde nuestro punto de vista, la evolución de la ciencia desde la Grecia antigua ha impulsado a los filósofos de la ciencia a ser más incisivos con sus análisis para mostrar con claridad cómo es que el conocimiento científico es producto de una actividad racional. En consecuencia, los planteamientos sobre una teoría de la racionalidad que aborden la noción de evidencia deben considerar cómo es que las predicciones teóricas corroboradas han llegado a ser consideradas la vía para valorar teorías cuya complejidad reside en su capacidad de actualizarse

constantemente. Esto naturalmente dificulta los análisis porque los estudios parten de la reconstrucción histórica de acontecimientos científicos que muestran total o parcialmente una estructura sólida que contiene una definición clara y compartida por los miembros de la comunidad científica respecto a un método, teorías, leyes naturales, experimentos, evidencia, condiciones formales y materiales, así como una teoría sobre la racionalidad y la verdad de la ciencia.

Precisamente, la complejidad del análisis sobre la racionalidad de la ciencia condujo a Kuhn a sostener que la forma más plausible de progresar en la ciencia es a través de las revoluciones que padecen los paradigmas (matriz disciplinar). De manera semejante a Lakatos, Kuhn propuso que un candidato a paradigma debe ofrecer una solución de alguna anomalía grave y, de lograrlo, dicha anomalía se sostiene como evidencia probatoria del poder explicativo del nuevo paradigma. Más aún, Kuhn explicó que el desplazamiento de la mecánica newtoniana a la mecánica einsteiniana implicó una actualización en la red conceptual a través de la cual los científicos, y la sociedad en general, observan el mundo. No obstante, aunque este tipo de revoluciones son las más deseables por ser consideradas grandes, lo cierto es que son pocos los eventos de esta magnitud en la historia de la ciencia. De ahí que Kuhn incluyó las micro-revoluciones como una forma más modesta del progreso de la ciencia. En este sentido, las micro-revoluciones están relacionadas con la rearticulación de teorías a partir de la corrección de errores conceptuales en el aparato cognitivo de la comunidad científica. Así mismo, estamos de acuerdo con Kuhn al sostener que las transiciones desde teorías menos actualizadas a las más actualizadas implican tanto una ganancia como una pérdida en el poder explicativo. Esto implica que el progreso científico no es enteramente acumulativo, como bien ha señalado Kuhn.

Por su parte, Laudan argumentó que los científicos trabajan dentro de tradiciones de investigación que están constituidas por cuerpos de teorías que se valoran por su capacidad de ofrecer soluciones a problemas significantes. Así mismo, Laudan dirigió el debate sobre la racionalidad de la ciencia hacia la epistemología relativista al señalar que todas las teorías científicas realizan hipótesis sobre entidades y procesos causales que los científicos pueden o no creer que sean reales. De esta

manera, Laudan recuperó el debate sobre la ontología al señalar que toda tradición de investigación plantea una metodología sobre las formas en que interactúan las entidades teóricas. En consecuencia, Laudan y Feyerabend sostuvieron que las entidades atraviesan largos periodos de tiempo hasta que conducen a los científicos a sucesos novedosos; algo que también sucede con la racionalidad de la ciencia, ya que ésta no es inmediata y tampoco responde a un proceso mecánico. Por ello, toda tradición de investigación requiere tiempo para producir predicciones exitosas y no deben ser eliminadas instantáneamente en ausencia de ellas. Así mismo, es importante destacar que la propuesta de Laudan señala que la metodología de la ciencia debe articular un conjunto de principios que guíen la evaluación de las teorías. Así, desde el punto de vista de Laudan, la evidencia resulta ser un principio metodológico susceptible de ser valorado y transformado para adaptarse a la situación actual de la práctica científica.

Por lo que se refiere al desarrollo de la ciencia, no debemos olvidar que, paralelamente, la sociedad también ha evolucionado con y a través de la ciencia, así como, otras veces, distanciándose de ella. Sin embargo, hoy en día, debemos reconocer que la ciencia fluye a través de todos los aspectos de la vida. De ahí que, a pesar de la existencia de episodios catastróficos del uso irracional de la ciencia, como el desarrollo y uso de la bomba atómica, la explicación racional de fenómenos naturales continúa siendo el trasfondo de la actividad científica.

Con lo anterior no pretendo justificar la racionalidad subyacente que se ha hecho del conocimiento científico y la tecnología, sino señalar que, en la primera mitad del siglo XXI, la humanidad enfrenta “puzzles” a escala mundial como el calentamiento global, la sobrepoblación, la aparición de pandemias, la seguridad alimentaria y el acceso al agua, los cuales son un nicho que puede motivar una revolución al interior de la ciencia y, por ende, empujar a la humanidad hacia un nuevo episodio de su evolución. Ciertamente, lo que señalo no es novedoso porque ya ha sucedido antes con las notorias revoluciones científicas de Newton, Copérnico, Darwin y Einstein, cuyos desarrollos tuvieron un fuerte impacto en la sociedad: si la humanidad pretende resolver estos grandes “puzzles”, debe apostar por el desarrollo sostenido de la ciencia en general.

Aunado a ello, mientras que el progreso de la ciencia en los dos últimos siglos fue a pasos agigantados, en gran medida fue gracias a que los científicos financiaban sus investigaciones por cuenta propia o con el apoyo de algún mecenas; hoy en día con la profesionalización e institucionalización de la actividad científica, el progreso de la ciencia depende del financiamiento del sector privado o del Estado. Por ello, aunque el desarrollo de la ciencia se justifica desde el punto de vista de la resolución de problemas, como Laudan sugirió, la realidad es que la dependencia económica es directamente proporcional a la complejidad de su propio desarrollo, el cual por su naturaleza solo puede incrementarse. El problema que derivó de ello es que la mayoría de los científicos no gozan de la libertad en sus investigaciones y son considerados más bien como empleados, ya sea de gobiernos o de empresas cuya perspectiva de la ciencia está supeditada a la rentabilidad de la inversión que se vaya a realizar. La situación que derivó de esta nueva relación es compleja porque los científicos también son seres humanos y, como cualquier otra persona, tienen deseos y necesidades que requieren de su atención. De ahí que, a pesar de ser científicos, también son considerados como empleados que se les contrata para una tarea en específico, o, en su caso, para un desarrollo específico que requiere de capital humano híper-especializado. De esta manera, aunque existen problemas reconocidos como “puzzles”, ello no implica que haya científicos trabajando para resolverlos, puesto que la decisión sobre qué proyectos financiar, no depende de ellos. Así, esta situación puede ser considerada una amenaza para el desarrollo y existencia de la ciencia en general porque es capaz de inhibir el potencial de crecimiento de nuevas teorías y/o tecnologías que podrían ayudar en la resolución de problemas internos o externos a la ciencia.

Ahora bien, los aportes de Kuhn y Feyerabend nos permiten sostener que la ciencia sí influye de manera considerable en la percepción que tiene la sociedad del mundo que lo rodea. En este sentido, la influencia de la ciencia ha marcado la forma en que se llevan a cabo ciertas actividades como la agricultura y la economía, que no son consideradas ciencias en sentido estricto, pero que desde nuestro punto de vista, y tomando en cuenta algunos de los aportes de la filosofía de la ciencia, se ejecutan mediante la aplicación de conocimiento científico en buena medida desarrollado

específicamente para sus fines. Así, por ejemplo, el análisis de suelo y el análisis foliar son una práctica que aporta datos relevantes para valorar el aprovechamiento de la aplicación de un programa de nutrición vegetal. En este caso, los datos que arroja el análisis foliar evidencian el aprovechamiento del cultivo de los nutrientes aportados por los agricultores. De ahí que, tales análisis ofrezcan información útil a los agricultores para diseñar, mejorar o modificar sus programas de fertilización, de tal manera que mejoren sus rendimientos en términos de producción por hectárea, así como la rentabilidad de sus cultivos. En cualquier caso, lo que pretendo exponer con este ejemplo es que la evaluación de una actividad con herramientas científicas y basada en evidencia empírica recogida y analizada a la luz de una teoría, ofrecen un marco teórico-práctico para tomar decisiones informadas que pretenden ser el vehículo del progreso hacia un mayor conocimiento y manejo de una actividad.

Finalmente, sostenemos que a medida que la ciencia progresa, los científicos y filósofos han tratado, desde diversos frentes, ofrecer un marco normativo para la evaluación de las teorías científicas, el cual se ha nutrido de los conceptos de precisión, coherencia, amplitud, simpleza y fecundidad para concluir, dilucidar qué es una explicación científica satisfactoria. En este sentido, la noción de evidencia se justifica como un valor metodológico que forma parte de nuestro sistema de creencias y cuya evolución esta emparentada con el progreso de la ciencia. Ello explica que en este trabajo hayamos enfatizado la importancia del heliocentrismo copernicano, la gravitación newtoniana, el evolucionismo darwiniano y el relativismo de Einstein, porque son episodios en la historia de la ciencia que muestran con claridad los entrecruces de la ciencia como una actividad práctica e intelectual que ejerce una constante influencia en diversos aspectos de la vida.

Bibliografía

Anstey, P. (2005) "Experimental versus Speculative Natural Philosophy" in Anstey, P. (ed.) and Schuster, J. (ed.), *THE SCIENCE OF NATURE IN THE SEVENTEENTH CENTURY: Patterns of Change in Early Modern Natural Philosophy*. Netherlands, Springer.

Aristóteles, (2011) *Física*. Guillermo R. de Echandía (trad.), Madrid, Gredos.

Aristóteles, (2014) *Metafísica*. Tomás Calvo Martínez (trad.), Madrid, Gredos.

Aristóteles, (2015) *Tratados de Lógica*. Miguel Candel Sanmartín (trad.), Madrid, Gredos.

Arquímedes, (1987) *El Arenario*. Emilio Méndez Pinto (trad.), Cambridge University Press.

Asociación Ernst Mach. (2002). "La concepción científica del mundo: el Círculo de Viena". en Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes [En Línea]. Disponible en: <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/659> [Accesado el día 19 de enero de 2021].

Ayer, A., (1981) *El Positivismo Lógico*. México, Fondo de Cultura Económica.

Ayer, A., (1972) *Philosophical Essays*. London, Palgrave Macmillan.

Bacon, F., (2011) *La Gran Restauración (Novum Organum)*. Miguel A. Granada (trad.), Madrid, Tecnos.

Bensaude-Vincent, B., (2003) "Chemistry" in Cahan, D. (ed.), *From Natural Philosophy to the Sciences: Writing the History of Nineteenth-Century Science*. United States of America, The University of Chicago.

Bertomeu, J., (2019). "La Teoría del Flogisto" en *Universitat De València*. [En Línea]. Disponible en: <https://www.uv.es/~bertomeu/material/museo/macque2.htm> [Accesado el día 19 de enero de 2021].

Buchwald, J. and Hong, S., (2003) "Physics" in Cahan, D. (ed.), *From Natural Philosophy to the Sciences: Writing the History of Nineteenth-Century Science*. United States of America, The University of Chicago.

Busch, U., (2011). "El Museo Alemán Roentgen (Deutsches Röntgen-Museum)" en *Revista Argentina de Radiología*. [En Línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3825/382538488010> [Consultado el 23 de Enero de 2020].

Carnap, R., (1948) *Meaning and Necessity*. United States of America, The University of Chicago Press.

Carnap, R., (1956) *Empiricism, Semantics, and Ontology*. The University of Chicago Press.

Carnap, R., (1981) “La Superación de la Metafísica mediante el Análisis Lógico del Lenguaje” en Ayer, A (comp.), *El Positivismo Lógico*. México, Fondo de Cultura Económica.

Carnap, R., (1988) *La Construcción Lógica del Mundo*. Laura Mues De Schrenk (trad.), México, Universidad Nacional Autónoma de México.

Cohen, H., (2005) “The Onset of the Scientific Revolution: Three Near-Simultaneous Transformations” in Anstey, P. (ed.) and Schuster, J. (ed.), *THE SCIENCE OF NATURE IN THE SEVENTEENTH CENTURY: Patterns of Change in Early Modern Natural Philosophy*. Netherlands, Springer.

Copérnico, N., (2009) *Sobre las Revoluciones (de los orbes celestes)*. Carlos Mínguez Pérez (trad.), Madrid, Tecnos.

Dauben, J., (2003) “Mathematics” in Cahan, D. (ed.), *From Natural Philosophy to the Sciences: Writing the History of Nineteenth-Century Science*. United States of America, The University of Chicago.

Descartes, R., (1989) *El Mundo Tratado de la Luz*. Salvio Turró (trad.), Barcelona, Anthropos.

Dilworth, C., (2007) *Scientific Progress: A Study Concerning the Nature of the Relation Between Successive Scientific Theories*. The Netherlands, Springer.

Euclides, (1991) *Elementos Libros I-IV*. María Luisa Puertas Castaños (Trad.), Madrid, Gredos.

Feyerabend, P., (1970) “Consolations for the Specialist” in Lakatos I. (ed.) and Musgrave, A. (ed.), *Criticism and The Growth of Knowledge*. London, Cambridge University Press.

Feyerabend, P., (1989) “Realism and the Historicity of Knowledge” in *The Journal of Philosophy* [En línea] Vol. 86, Nº 8. Aug., 1989, Journal of Philosophy, Inc. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/2026649?origin=JSTOR-pdf&seq=1> [Accesado el día 19 de enero de 2021].

Fronidzi, R., (2014) “Estudio Preliminar” en Descartes, R. *Discurso del Método*. Madrid, Alianza Editorial.

Galilei, G., (2010) “Cartas Copernicanas” en *Biblioteca Virtual Universal*. [En línea]. Disponible en <https://www.biblioteca.org.ar/libros/153513.pdf> [Accesado el día 19 de enero de 2021].

Gaukroger, S., (2005) “The Autonomy of Natural Philosophy: From Truth to Impartiality” in Anstey, P. (ed.) and Schuster, J. (ed.), *THE SCIENCE OF NATURE IN THE SEVENTEENTH CENTURY: Patterns of Change in Early Modern Natural Philosophy*. Netherlands, Springer.

Granada, M., (2011) “Introducción” en Bacon, F. *La Gran Restauración (Novum Organum)*. Madrid, Tecnos.

Gilles, D., (2002) “Lakatos’ Criticisms Of Popper” in Kampis, G. (ed.); Kvasz Ladislav (ed.) and M. Stöltzner (ed.), *APPRAISING LAKATOS: Mathematics, Methodology, and the Man*. Dordrecht, Springer.

Gómez-Torrente, M., (2019) “Alfred Tarski” en *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. [En Línea]. Disponible en: <https://plato.stanford.edu/entries/tarski/#Aca> [Accesado el día 19 de enero de 2021]

Hahn, H., (1981) “Lógica, Matemática y Conocimiento de la Naturaleza” en Ayer, A (comp.), *El Positivismo Lógico*. México, Fondo de Cultura Económica.

Hacking, I., (1985) *Revoluciones Científicas*. Juan José Utrilla (trad.), México, Fondo de Cultura Económica.

Hacking, I., (2001) *Representar e Intervenir*. Sergio F. Martínez (trad.), México, Paidós y Universidad Nacional Autónoma de México.

Hattab, H., (2005) “From Mechanics to Mechanism: The Quaestiones Mechanicae and Descartes’ Physics” in Anstey, P. (ed.) and Schuster, J. (ed.), *THE SCIENCE OF NATURE IN THE SEVENTEENTH CENTURY: Patterns of Change in Early Modern Natural Philosophy*. Netherlands, Springer.

Hempel, C., (1981) "Problemas y Cambios en el Criterio Empirista de Significado" en Ayer, A (comp.), *El Positivismo Lógico*. México, Fondo de Cultura Económica.

Kuhn, T., (1970a) "Reflections on my Critics" in Lakatos I. (ed.) and Musgrave, A. (ed.), *Criticism and The Growth of Knowledge*. London, Cambridge University Press.

Kuhn, T., (1970b) "Logic of Discovery or Psychology of Research" in Lakatos I. (ed.) and Musgrave, A. (ed.), *Criticism and The Growth of Knowledge*. London, Cambridge University Press.

Kuhn, T., (1982) *La Tensión Esencial*. Roberto Helier (trad.), México, Conacyt y Fondo de Cultura Económica.

Kuhn, T., (2015) *La Estructura de las Revoluciones Científicas*. Carlos Solís Santos (trad.), México, Fondo de Cultura Económica.

Lakatos, I., (1987) *Matemáticas, Ciencia y Epistemología*. Diego Ribes Nicolás (trad.), Madrid, Alianza Editorial.

Lakatos, I., (2002) *Escritos Filosóficos 1. La Metodología de los Programas de Investigación Científica*. Juan Carlos Zapatero (trad.), Madrid, Alianza Editorial.

Lakatos, I., (2015) *Proofs and Refutations: The Logic of Mathematical Discovery*. United Kingdom, Cambridge University Press.

Laudan, L., (1978) *Progress and Its Problems: Towards a Theory of Scientific Growth*. Los Angeles, University of California Press.

Laudan, L., (1989) "If It Ain't Broke, Don't Fix It." *The British Journal for the Philosophy of Science*, no. 3 (1989): 369-75. Disponible en: <http://www.jstor.org/stable/687784>. [Accesado el 20 de enero de 2021].

Musgrave, A. y Pidgen, C., (2016) "Imre Lakatos" en *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. [En Línea]. Disponible en: <https://plato.stanford.edu/entries/lakatos/#Aca> [Accesado el día 19 de enero de 2021].

Nagel, E., (1981) *La Estructura de la Ciencia*. Néstor Mínguez (trad.), Barcelona, Paidós.

- Nemirovsky, S. (1993) "Estudio Preliminar" en Kant, I. *Primeros Principios Metafísicos de la Ciencia de la Naturaleza*. México, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Newton, I., (2002) *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural: Segunda Parte*. Eloy Rada García (trad.), Barcelona, Biblioteca de los Grandes Pensadores.
- Platón, (2011) *Teeteto*. Álvaro Vallejo Campos (trad.), Madrid, Gredos.
- Popper, K., (1980) *La Lógica de la Investigación Científica*. Victor Sanchez de Zavala (trad.), Madrid, Tecnos.
- Popper, K., (1991) *Conjeturas y Refutaciones*. Néstor Mínguez (trad.), Barcelona, Paidós.
- Rada, E., (1983) "Introducción" en Newton, I. *El Sistema del Mundo*. Madrid, Alianza Editorial.
- Rada, E., (1994) "Introducción" en Kepler, J. *El secreto del Universo*. Barcelona, Ediciones Altaya.
- Real Academia Española, (2014) *Diccionario de la lengua española*. Vigésimo tercera edición. México, Espasa.
- Reale, G. y A. Dario, (2010) *Historia del pensamiento filosófico y científico: Tomo Primero Antigüedad y Edad Media*. Juan Andrés Iglesias (trad.), España, Herder.
- Reale, G. y A. Dario, (2016a) *Historia del pensamiento filosófico y científico: Tomo Segundo Del Humanismo a Kant*. Juan Andrés Iglesias (trad.), España, Herder.
- Reale, G. y A. Dario, (2016b) *Historia del pensamiento filosófico y científico: Tomo Tercero Del Romanticismo hasta hoy*. Juan Andrés Iglesias (trad.), España, Herder.
- Richards, R., (2003) "Biology" in Cahan, D. (ed.), *From Natural Philosophy to the Sciences: Writing the History of Nineteenth-Century Science*. United States of America, The University of Chicago.
- Schlick, M., (1981) "El Viraje de la Filosofía" en Ayer, A (comp.), *El Positivismo Lógico*. México, Fondo de Cultura Económica.

Solís, C., (1988) "Introducción" en Galileo, G. y Kepler, J. *El Mensaje y El Mensajero Sideral*. Madrid, Alianza Editorial.

Turró, S., (1989) "Estudio Introductorio" en Descartes, R. *El Mundo Tratado de la Luz*. Barcelona, Anthropos.

Van Fraassen, B., (1996) *La Imagen Científica*. Sergio Martínez (trad.), México, Paidós y Universidad Nacional Autónoma de México.

Vega, L., (1991) "Introducción General" en María Luisa Puertas Castaños (Trad.) Euclides. *Elementos Libros I-IV*. Madrid, Gredos.

Worrall, J., (1989) "Fix it and be Damned: A reply to Laudan" in *The British Journal for the Philosophy of Science*, no. 3 (1989): 376-88. Disponible en: <http://www.jstor.org/stable/687785>. [Accesado el día 19 de enero de 2021].