

Universidad de Valladolid
Facultad de Filosofía y Letras
Departamento de Filosofía

**Sobre la sombra de la causalidad necesaria y
la eficacia de la ciencia**

El final de la era laplaciana

Tesis Doctoral

Autor: Roberto Carvallo Escobar

Director: Dr. Javier de Lorenzo Martínez

PARTE 1

CREACIÓN DE LA ERA LAPLACIANA.....10

CAPÍTULO 1. *Fundamentos de la ciencia clásica*.....11

- Espacio y Tiempo absolutos.....13
- a. Espacio.....14
- b. Tiempo.....27

CAPÍTULO 2. *Causalidad necesaria, determinismo y universalismo*.....38

- Causalidad necesaria.....39

CAPÍTULO 3. *La era laplaciana*.....49

PARTE 2

EL PRIMER ROMPIMIENTO CON LA CAUSALIDAD NECESARIA.....55

CAPÍTULO 1. *La ciencia ve la sombra de la causalidad: David Hume*.....56

- David Hume y el conflicto de justificación inductiva.....60

CAPÍTULO 2. *Respuestas al límite epistemológico de la causalidad necesaria*.....72

- a. Naturalismo.....75
- b. Falsacionismo.....84
- c. Verificacionismo y el Círculo de Viena.....89
- d. Pragmatismo.....111

CAPITULO 3. <i>La causalidad de Russell</i>	134
• Argumentos y contraargumentos de la causalidad russelliana.....	148
• Contraargumentos.....	154
a. Primer contraargumento.....	159
b. Segundo contraargumento.....	171
c. Causalidad contrafáctica.....	181

PARTE 3

EL SEGUNDO ROMPIMIENTO CON LA CAUSALIDAD NECESARIA...193

CAPÍTULO 1. <i>La Relatividad de Einstein</i>	194
a. El rechazo a la simultaneidad.....	194
b. La Teoría General de la Relatividad y los agujeros negros.....	205
CAPÍTULO 2. <i>La Mecánica cuántica</i>	217
1. Discretización de la energía por Planck.....	220
2. La interpretación de Einstein.....	226
3. El átomo de Niels Bohr.....	229
4. Principio de Heisenberg.....	231
5. Principio de complementariedad de Bohr.....	235
CAPÍTULO 3. <i>Predicción, causalidad y observación</i>	238

CONCLUSIÓN.....243

BIBLIOGRAFÍA...257

INTRODUCCIÓN

Esta investigación intentará dar un poco de luz al debate relacionado a la epistemología de la causalidad necesaria dentro de la concepción del determinismo científico. Más precisamente, esta investigación tratará acerca de las implicaciones epistemológicas y metodológicas del determinismo científico. El objetivo central será el de lograr un punto de encuentro entre las pretensiones de la legalidad científica, los requisitos de justificación epistemológica de la causalidad necesaria y las implicaciones lógicas y metodológicas de un determinismo universalista.

Este punto en común, opino, tiene lugar en una caracterización del determinismo científico sustentado sobre una conceptualización plástica de la causalidad. El determinismo científico se ve forzado en algunos momentos de la investigación científica a perder su implicación de necesidad causal para permanecer de alguna forma estable, uniforme y predictiva. Hablaré del porqué el determinismo científico pierde la posibilidad de la observación completa y la determinación absoluta de todos los estados no solamente por causa de un problema de justificación epistemológica de la filosofía sino también por parte de los avances de la investigación del científica. Este es el precio a pagar por una ciencia auto-correctible, efectiva y pragmática.

El ataque frontal a la causalidad necesaria y al determinismo estricto tuvo su inicio en manos de David Hume. Hume separó la epistemología causal de la ontología de la causación, generando de esta manera una duda con respecto a la posibilidad de conocimiento de una eficacia necesaria en la causalidad. Fue Hume el que concluyó lo que posteriormente la ciencia habría de corroborar: una barrera entre un determinismo estricto, basado en la creencia de la causalidad necesaria, y un determinismo científico, el cual en algunas ocasiones deja de ser causal.

Por un lado, el determinismo científico, si bien comienza siendo causal -ya que estudia el comportamiento constante de procesos fenómenos, de los cuales sería un sinsentido el negar su eficacia causal- se ve forzado a alejarse de su compromiso con la causalidad -cuando este es visto como un objeto epistemológico- cuanto más se aproxima a la legalidad universalista que promete su método. Por otro lado, en la experimentación científica el determinismo se encuentra con una barrera epistemológica no solamente en la lógica de la investigación sino en la misma naturaleza del universo.

Se podría decir que sin los avances científicos del siglo XX la ciencia no habría dudado de un determinismo si bien no estricto, sí oculto empero universalista, el cual tiene su mejor representante en el imaginario de Laplace. Esta ilusión laplaciana representa la pretensión determinista que permeó a científicos durante trescientos años; el universalismo epistemológico era la meta a alcanzar desde Newton hasta Planck. Precisamente a este periodo lo titulo en esta investigación como *la era de la ilusión laplaciana*.¹

Posteriormente, los fundamentos de la ciencia sufrieron fuertemente frente a las implicaciones que contrajo el establecimiento de la velocidad constante de la luz y de la teoría de la Relatividad de Einstein, y el límite epistémico a una escala atómica propuesta por el Principio de incertidumbre de Heisenberg de la Mecánica cuántica. Estos límites han provocado un giro en la capacidad de determinación clásica de estados. Y es a causa de estos límites que la ciencia necesitó autocorregirse. Sin embargo cabe preguntarse: ¿hasta qué momento la autocorrección en el determinismo de la ciencia no le hace, o hizo, perder su objetivo legal-universalista?

Respondiendo a esto, se podría considerar que el rompimiento epistemológico de la conexión necesaria de Hume, la colisión contra la incertidumbre de la Mecánica cuántica o

¹ Idea original de M. Capek en el capítulo XVI, The end of the laplacian illusion de *The Philosophical Impact of Contemporary Physics* (Nostrand: Princeton, 1961), págs. 289-33

la complejidad de una singularidad en un agujero negro son meros obstáculos en el andar explicativo y predictivo. Sin embargo, se expondrá aquí que estos eventos demostraron la fragilidad en algunos de los preceptos epistemológicos de la estructuración de la naturaleza de la ciencia clásica.

La causalidad humeana, el Principio de Incertidumbre y la Relatividad de Einstein afirmaron la incapacidad de la ciencia para llegar al determinismo causal. Sin embargo, la ciencia no pierde en ningún momento su caracterización determinista gracias a dos factores: la fuerza de la causación eficiente, como objeto ontológico, y la eficacia explicativa que ha demostrado y que sigue demostrando la investigación científica. Por un lado, la ciencia es determinista porque a pesar de que sus explicaciones algunas veces se sustenten de una regularidad estadística mas no en una regularidad causal, esta sigue siendo tan eficaz en sus explicaciones como si fuesen por completo causalmente determinadas; y por otro lado, aunque el determinismo encuentre una incertidumbre, esto no indica que la ciencia sea indeterminista. Mejor dicho, es el determinismo científico el que acepta que en algunos rincones del universo, la naturaleza es determinadamente incierta.

A pesar de cambiar, la ciencia tiende y siempre tenderá al determinismo. Esta se autocorriges para encontrar uniformidades. Y por este motivo, al enfrentar dificultades en su desarrollo, esta descubre caminos alternos, aunque en ocasiones algunos son más oscuros que otros. Ahora bien, de acuerdo a Hume, a la Mecánica cuántica y a la Astrofísica, cabe todavía preguntar, que si la ciencia clásica tiende al determinismo universal, pero este ya no es necesariamente causal, ¿hacia dónde tiende el determinismo científico?

La ciencia determinista precisó abandonar algunos de sus principios clásicos pero no paró en ningún momento de expandir su conocimiento. Por ende, esta investigación se centrará

en las implicaciones de la plasticidad del determinismo científico, el cual encuentra muy diversas formas dependiendo no solamente de las argumentaciones de varios filósofos sino también conforme a los avances alcanzados científicos. Para llegar a la tesis de esta investigación, estableceré tres etapas: la creación de la era laplaciana, el primer y el segundo rompimiento con la causalidad necesaria del determinismo estricto-mecanicista. La epistemología produce el primer rompimiento mientras que el segundo lo hace la ciencia.

Es después de ampliar estas tres etapas que se llegará al objetivo primordial dividido en dos conclusiones: la primera trata de que la noción de causalidad necesaria es inaccesible para la instrumentación precisa de la ciencia, tanto de la ciencia clásica como de la contemporánea, y de este modo, la tendencia de la legalidad científica a la causalidad necesaria se aleja cada vez más conforme avanza la investigación. La segunda propuesta es que aun al aceptar que para la ciencia y su determinismo la causalidad necesaria es inaccesible, esto no afectaría ni mucho menos a la causación considerada como objeto ontológico; esta, la causación, ha sido, es y seguirá siendo, tanto para la ciencia como para la filosofía, innegable. Sin embargo, la respuesta no es tan sencilla cuando se habla de la causalidad como un objeto epistemológico. La justificación epistemológica de la causalidad en el determinismo científico no podría radicar en un principio *a priori* porque este no podría justificarse a través de la metodología positivista de la ciencia.

Ahora bien, si el determinismo es primordial para la ciencia, pero a este determinismo no le es fundamental una causalidad necesaria, entonces ¿qué elementos, causales o no-causales, son los que realmente son esenciales para el determinismo científico? ¿Bastaría con que el determinismo realice una tarea reguladora, o requiere realizar igualmente una tarea explicativa? También sería importante preguntar si es posible realizar tal reducción o sencillamente sería mejor hablar de un concepto de determinismo científico moldeable a partir de una causalidad irreducible y plástica.

Es por las dificultades que atraviesa el determinismo científico que he decidido titular a esta investigación *Sobre la sombra de la causalidad necesaria y la eficacia de la ciencia, el final de la era laplaciana*. El determinismo científico originalmente, y consecuente al supuesto de una existencia necesaria de la causalidad en las leyes científicas, pretendía aprovechar la eficacia uniforme de la causalidad necesaria para justificar su eficacia legal. Pero es precisamente en la regulación que se da en el determinismo científico que es posible dilucidar una separación entre lo que pretende tener la ciencia en su determinismo y lo que realmente puede demostrar. Esta separación se distingue al entender los límites epistemológicos y los límites ontológicos de la causalidad.

De esta forma, serían dos los objetos a estudiar a primera instancia -la epistemología y la ontología de la causalidad- pero se observará posteriormente que lo conflictivo de la justificación de la causalidad en realidad solamente se muestra en la epistemología de la causalidad. La ontología de la causalidad, es decir la causación *per se*, permanece imperturbable. No obstante, si el conflicto de la causalidad necesaria es de tipo epistemológico, se esperaría que conforme los instrumentos de precisión de la ciencia mejorasen, se eliminarían las barreras de acceso a una determinación necesaria. Empero, esto no fue lo que sucedió con la llegada del siglo XX.

Contrariamente a lo esperado, es la misma ciencia la que pone fin a la ilusión laplaciana al dictar que solamente podrá verse una sombra o un ideal de lo que es un principio de causalidad; pero para del final de la era laplaciana y de la confusión entre la ontología y la epistemología de la causalidad es necesario explicar de dónde y el porqué surge tanto esta ilusión como esta confusión. Todo esto tendrá lugar en la primera parte de esta investigación.

1. En la primera fase, *la creación de la era laplaciana*, hablaré de la forma en la que se llegó a la creencia de la posibilidad de un determinismo estricto-mecanicista. Este

determinismo fue el producto de las implicaciones generadas por las herramientas de la ciencia newtoniana tales como el mecanicismo y la matemática. Estos forjaron una base sobre la que se sostuvo con estabilidad la ciencia mediante las concepciones del absoluto y del continuo, tanto en el espacio como en el tiempo. Esto resultó en que el determinismo causal se tornó la piedra angular en la lógica de la investigación científica.

2. En la segunda parte retomo el conflicto de justificación inductiva de Hume para zanjar una distinción entre el requisito que hace la filosofía al universalismo pretendido por la legalidad científica y la innegable eficacia de la ciencia. Aquí expondré los detalles de las discusiones filosóficas que han tenido lugar sobre el debate acerca de la posibilidad del acceso confiable y seguro a la predicción de eventos futuros a partir de las implicaciones de la causalidad. Haré una breve síntesis de algunas de las respuestas que han dado diferentes autores.

La filosofía solicita al método científico que se emplee la seguridad del conocimiento de la experiencia pasada en la predicción del futuro para que la fuerza de la legalidad científica pueda ser asertiva en toda la naturaleza. La filosofía demanda este requisito en el momento en el que la ciencia deja de ser solamente un compendio de conocimiento y experiencias y se convierte en un sistema metódico de análisis, predicción y en algunos casos de verificación. En la ciencia, la estabilidad estructural del universo, después de ser un supuesto inductivo en el conocimiento del hombre, se convierte en un necesario del que nacen las leyes de la naturaleza; esta conversión tiene lugar a partir de una universalidad asumida a consecuencia de una cuasi-infinita verificación de hipótesis; es en el momento de establecer leyes universales que la epistemología de la causalidad necesaria es reclamada.

Explicaré que si de la causalidad necesaria se deriva el determinismo y de este último el universalismo, entonces un conflicto en el primer eslabón afectaría de sobremanera la

solidez del resto de la cadena. Hume, en su *Tratado de la naturaleza humana* define que en la causalidad necesaria es donde existe tal eslabón débil.

Es de suma importancia distinguir la epistemología de la causalidad de su ontología. Si el problema se encuentra en la epistemología de la causalidad, entonces esta es una cuestión de conocimiento en complicidad con una capacidad de pronóstico y predicción, mas no un problema en la eficacia causal. Aquí surge un momento decisivo para la ciencia; esta debe de decidir entre un positivismo en el que no puede haber un principio de causalidad *a priori*, o decidir por un determinismo científico que siga siendo causal pero *a priori*. Es decir, este determinismo no se podría justificar en la experiencia.

Fue Russell quien encontró que las leyes científicas deben de dejar de ser causales para permanecer uniformes. A partir de la concepción de causalidad de Russell, será mi intención la de hacer explícito el rompimiento con la causalidad experiencial en las leyes mecanicistas de la ciencia clásica; este será *el primer rompimiento con la causalidad necesaria*.

3. La tercera y última parte trata de los límites epistemológicos encontrados por la física teórica en el siglo XX. El clímax de la lucha que ha enfrentado el concepto de causalidad necesaria dentro de un determinismo estricto llegó con el arribo de la Relatividad de Einstein y la instauración de la Mecánica cuántica; este clímax tuvo lugar con la confirmación de la curvatura del espacio-tiempo con el establecimiento de la velocidad finita de la luz y con los Principios de incertidumbre y complementariedad.

Las nuevas posibilidades de la conjunción del espacio y del tiempo, aceptando implícitamente su curvatura, provocarán diferentes condiciones de predicción, observación y verificación dentro de la concepción de la causalidad. La Mecánica cuántica por otros medios encontró una incertidumbre al estudiar el comportamiento de los electrones. La ciencia notó que existía una dependencia entre los resultados de la observación y la

intención del observador. Si el observador buscaba mayor precisión en la caracterización de un estado, perdía precisión de otra de las características del estado del electrón. La Mecánica cuántica instauró el Principio de incertidumbre y de complementariedad, con lo que se añadió al observador en la medición. Esto creó una limitación en la determinación estricta del microuniverso. La conjunción de estos dos límites epistemológicos es lo que llamaré: *el segundo rompimiento con la causalidad necesaria*.

Todos estos descubrimientos han contribuido al detrimento del universalismo de un sistema legal perteneciente a la ciencia newtoniana. Si Hume definió el límite epistemológico de la causalidad, Heisenberg hizo lo propio estableciendo el límite en el determinismo a nivel atómico y de la misma forma, Einstein definió los nuevos límites en la caracterización de la determinación del tiempo, espacio, energía y masa. La estructura de la ciencia ha tenido que reconstruirse pero la reformulación progresiva que ha mostrado la ciencia no conlleva a su rechazo como fuente de conocimiento veraz, útil y verificable. Esta reformulación, mejor dicho, conlleva a un reacondicionamiento de los elementos inherentes a la lógica de la investigación científica empezando por su determinismo.

Al analizar los objetivos de la ciencia y contraponiéndolos con las nuevas circunstancias científicas -la incertidumbre y el tiempo-espacio curvo-, será posible distinguir qué elementos permanecieron y permanecen después de una autocorrección. Estos elementos, entonces, hacen del armazón científico si bien uno menos ambicioso, sí más firme; por lo menos así lo hizo la ciencia al basarse en la regularidad estadística y en la dependencia entre la observación y el observador. El determinismo científico se autorreguló para evitar incoherencias y/o promesas sinsentido o imposibles. Esto lo hizo al encontrar que no podía sostenerse más sobre una causalidad necesaria y un determinismo estricto; aunque claro, tampoco los requería en primera instancia para ser eficiente, positiva y pragmática.

La ciencia habla de, se sustenta en y utiliza una causalidad firme e uniforme pero no la percibe directamente ya que lo único que ve es una causalidad empírica con límites epistemológicos; la causalidad necesaria es en realidad para la ciencia una causalidad metodológica. Ahora bien, si la ciencia definitivamente no puede alcanzar una causalidad necesaria, y la misma ciencia no requiere que su determinismo sea necesario y/o causal, entonces qué caso tiene hablar de una causalidad en la ciencia.

La ciencia habla de una causalidad al transportar la causalidad experiencial, la cual no es ni puede ser necesaria, a una causalidad universal que no es ni requerida ni accesible, pero no puede demostrar que esta causalidad exista necesariamente. La ciencia no ve directamente a una causalidad o a un principio de causalidad allende a la causalidad experiencial. Por este motivo hablo de una sombra de la causalidad para la ciencia.

PARTE 1

CREACIÓN DE LA ERA LAPLACIANA

CAPÍTULO 1

Fundamentos de la ciencia clásica

Los pilares sobre los que se sostiene la ciencia clásica surgen a partir de las tres leyes del movimiento de Newton y vienen arropados por la geometría euclidiana. Estos pilares son: el determinismo estricto basado en la causalidad necesaria y el universalismo basado en la homogeneidad del espacio y del tiempo.

La geometrización de la ciencia junto con la búsqueda por la medición rigurosa de las propiedades de la materia dispusieron los cimientos para el estudio de los movimientos de los cuerpos, es decir, de la mecánica teórica. Galileo intentó un estudio metódico de los movimientos, pero aún faltaban las herramientas matemáticas que ocasionaron eventualmente el giro en la ciencia experimental: la geometría analítica y las ecuaciones diferenciales. Con Galileo se implanta el requisito de una medición rigurosa además del rechazo a la ambigüedad en el método de medición, pero fue hasta la geometría analítica de Descartes, y posteriormente el Análisis diferencial con Newton y Leibniz, que se puede hablar de una física teórica y universalista.

Le pertenece a Descartes el logro de conjuntar álgebra y geometría, formándose la geometría analítica. La geometría analítica (o cartesiana) permite estudiar figuras geométricas usando ecuaciones de forma $f(x,y)=0$ donde f es una función. De esta manera, las propiedades de las figuras pueden estudiarse tanto utilizando la geometría clásica, como lo hizo Euclides y sus seguidores, como por medio del álgebra utilizando ecuaciones que representan rectas, hipérbolas o circunferencias en un plano cartesiano (Hacyan, 2004: 26).

Esta fue la herramienta que le hizo falta a Galileo. Con la geometría analítica, el Análisis diferencial permite el estudio del comportamiento dinámico de los cuerpos y fenómenos. A pesar de ser Galileo el que precursor de lo que hoy se conoce como Física clásica, fue Isaac Newton el que se llevó el galardón de haber instaurado los pilares con los que la ciencia se postraría durante tanto tiempo. Este logro lo alcanzó cuando al buscar la explicación física del movimiento de los planetas encontró una explicación de la atracción entre cuerpos; y esto posteriormente, lo llevaría de regreso a la explicación del movimiento planetario. A Newton se le atribuye el descubrimiento de que todos los cuerpos en el universo se atraen entre sí por medio de una fuerza de gravitación. Y así, dice Hacyan:

“Newton formuló la ley de la gravitación universal y demostró con todo rigor matemático que las tres leyes de Kepler son una consecuencia de ella. Esta ley estipula que la fuerza gravitatoria entre dos cuerpos masivos es directamente proporcional a sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa. Newton publicó el resultado de sus trabajos en su famoso libro *Principia*, en 1686. Con esta obra nació la física como una ciencia matemática”.²

La diferenciación que tuvo la explicación newtoniana fue la de relacionar la caída de los cuerpos terrestres y el movimiento de los cuerpos en el cielo. Ni el mismo Galileo consideró que tal fuerza de atracción pudiera ser un elemento relacionado y primordial al movimiento planetario; de la misma manera, Copérnico se vio preso de la misma ceguera (Hacyan, 2004: 53-54). No fue así el caso de Kepler, quién intrigado por la teoría del magnetismo, desarrolló una teoría de atracción de cuerpos en la que el movimiento planetario tenía lugar debido a una fuerza magnética o casi-magnética generada por el Sol (Hacyan, 2004: 56); así como ellos, también se sumó Huygens, entre otros, elaborando una explicación de la atracción entre cuerpos basada en torbellinos (Hacyan, 2004: 59). Sin embargo, fue por fin Newton quien elaboró la síntesis inductiva-matemática en la que se

² S. Hacyan, *Física y metafísica del espacio y el tiempo, La filosofía en el laboratorio* (Fondo de Cultura Económica: México D.F., 2004), pág. 58

explicaba que los movimientos de los cuerpos sucedían debido a la influencia de la una fuerza gravitatoria relacionada a la cantidad de masa de los cuerpos.

Es en este momento, con Newton, en el que teniendo la base teórica del movimiento en un espacio y tiempo inmutables, se recurre implícitamente a la uniformidad del universo. Sin uniformidad en los movimientos no podría haber una predicción de comportamientos, y por lo tanto, la ciencia se reduciría no solamente a una mera observación, sino a la observación de materia desorganizada, y por lo mismo, en un abundante compendio de experiencias aisladas e irrepetibles. Es más, la verificación de cualquier hipótesis sería altamente improbable o por lo menos, sería de muy poca utilidad. De este modo, la creación legal de la Física en este período implica la afirmación de la uniformidad en el movimiento de los cuerpos.

Las leyes de Newton así como las de Kepler introducen la noción de uniformidad del universo, que junto con la noción de un espacio y de un tiempo, ambos absolutos, inmutables e independientes, y la concepción de la causalidad necesaria, forman el primer intento por sobrepasar el contenido empírico del conocimiento en el hombre y llevarlo más allá de la cotidianidad; es decir, llevar el conocimiento a una universalidad con ayuda del determinismo científico. Siendo estos cimientos sobre los que se construye la Física teórica clásica, es menester y primordial en esta investigación, indagar el origen de estos cimientos. Gracias a ello, se entenderán las implicaciones filosóficas de la legalidad newtoniana que incitan la concepción de la era laplaciana.

Espacio y Tiempo absolutos

En las siguientes páginas haré un esbozo de las tres nociones que indujeron al nacimiento de lo que llamo *la era laplaciana*. El espacio y el tiempo, ambos uniformes, absolutos, e independientes a sus contenidos, junto con la idea de la causalidad necesaria sentaron las bases para el anhelo de una ciencia omnisciente. Dicho anhelo tuvo como prueba la alta

eficiencia de la ciencia en su período de gestación; eficiencia que perduró hasta los comienzos del siglo XX, donde la ciencia colisionó con ciertas limitaciones epistemológicas. Estas limitaciones no solamente producirán un bloqueo epistémico del funcionamiento del universo, sino crearán nuevas nociones científicas de la composición de la naturaleza. Estas nociones traerán también nuevas implicaciones filosóficas en la eficiencia de las herramientas científicas tanto de observación como de predicción.

a. Espacio

En la concepción del espacio ha habido un cambio progresivo desde la idea de la ciencia clásica hasta su concepción actual en la Física moderna -la homogeneidad y el carácter inmutable e independiente del espacio son las cualidades en las que los descubrimientos de la ciencia han creado contradicción-. De la homogeneidad del espacio surge la posibilidad de la divisibilidad infinita, así como su independencia y su carácter inmutable. Son estas propiedades y sus equivalentes en relación a la noción del tiempo, las que aseguran el carácter determinista de la ciencia clásica.

La forma clásica del concepto de espacio, es decir, un espacio homogéneo, inmutable e independiente a su contenido fue definido por Newton, aunque ya se encontraba desde Gassendi y Bruno. Newton define que el espacio, al ser absoluto, está exento de cambio. El espacio permanece y es rígido en todo momento. Esta concepción del espacio no solamente es coherente con los teoremas y axiomas de la geometría euclidiana, sino también permanece constante en ellos, ya que son los axiomas y teoremas euclidianos los que describen la estructura del espacio newtoniano (Capek, 1961:7). Antes de hablar de las propiedades del espacio, es preciso establecer una distinción entre el espacio representativo, usado por la física teórica, y el espacio experiencial, que tiene lugar en la percepción fenoménica. Un buen ejemplo de esta distinción es la que hace Poincaré en *Ciencia e Hipótesis* más de dos siglos después de Newton.

- *Espacio representativo y espacio experiencial en Poincaré.* El espacio representativo para Poincaré es una condensación de los espacios visual, táctil y motor que concibe el hombre a través de sus respectivos sentidos (Poincaré, 2002:109). Es el espacio representativo el espacio fenoménico del que los racionalistas y empiristas dedujeron cualidades y propiedades del universo. Y es de este espacio del que los descubrimientos científicos de la Mecánica newtoniana hacen referencia en la comprobación de trayectorias, fuerzas, etc.

Poincaré lo define como el espacio que el hombre, en la presencia de varias sensaciones, asocia a con ciertos movimientos y hace una representación de estas sensaciones acompañadas de tales movimientos para saber si puede o no alcanzar los objetos que causan dichas sensaciones, sin la necesidad de realizar efectivamente tales movimientos (Poincaré, 1964:109). El espacio representativo, dice Poincaré, es una imagen del espacio geométrico, en el que se razona acerca de los cuerpos exteriores como si estuvieran situados dentro de un espacio geométrico (Poincaré, 2002:104-122).

El espacio geométrico -clásico- es continuo, infinito, tridimensional, homogéneo e isótropo; no obstante, Poincaré recalca que las propiedades del espacio geométrico son diferentes del espacio representativo, ya que este último no es homogéneo, ni es isótropo, ni es posible decir que tenga tres dimensiones.

Una de las características del espacio puramente matemático es su dependencia al sistema geométrico con el que se trabaje en un momento dado. El espacio geométrico del siglo XX será otro que el de la Física newtoniana. Esto puede verse en la concepción convencionalista de Poincaré acerca de la geometría, en donde dice que ninguna geometría es verdadera, sino que una geometría, por ejemplo la geometría euclidiana, es más ventajosa o más cómoda que otras para ciertas tareas o situaciones (Poincaré, 2002:104-109). En esta convencionalidad de la geometría se marca la mayor distinción entre el

espacio matemático y el espacio experiencial, en donde la mente humana se ha adaptado a representar en su espacio un mundo de cierto parecido al conjunto de la geometría euclidiano. El problema para la mente humana, debido a esta adaptación es que no puede representarse tan fácilmente un espacio curvo o dependiente a los objetos que contiene.

No obstante, aun estableciendo que el espacio geométrico es dependiente la función que realiza, considero de gran utilidad comparar las propiedades del espacio geométrico clásico con las del espacio representativo; esto tiene el objetivo de hacer notar posteriormente, lo radical del cambio entre la concepción del espacio de la ciencia clásica y la del siglo XX, a partir de la demostración de la desviación de la luz. ¿Qué quiere decir que el espacio sea o no homogéneo, continuo o discreto, infinito o finito, dependiente o independiente de su contenido? Comenzaré con la independencia del espacio debido a la importancia que tuvo en el comienzo de la filosofía moderna y posteriormente en la ciencia moderna.

- Es después de la conjunción de la geometría cartesiana y la metodología propuesta por Galileo que Newton fórmula sus tres leyes de movimiento de los cuerpos. La primera, conocida como el Principio de inercia dice que todo cuerpo persevera en su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo mientras que no sea obligado por fuerzas impresas a cambiar su estado. La segunda introduce un concepto generalizado de fuerza al decir que el cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa y este ocurre según la línea recta a lo largo de la cual la fuerza se imprime. La tercera ley generaliza el principio de que a toda acción ocurre siempre una reacción igual y contraria. En estas leyes se encuentran implícitas las propiedades de espacio y tiempo a partir de los conceptos de masa, fuerza y aceleración (Sánchez, 2007: 364-365).

En la primera ley, el estado de reposo y de movimiento uniforme tiene lugar en un espacio absoluto capaz de englobar dichos estados; todo estado en el que se encuentra la materia necesariamente existe en un espacio en el que puede existir. Se da por sentado la existencia

de un espacio dentro del cual existe una infinidad de cuerpos y sus consecuentes estados de reposo y/o movimiento.

Newton tuvo la preocupación por encontrar pruebas de la existencia del espacio absoluto. Es famoso el experimento que realizó para demostrar la diferencia entre dos sistemas de referencia. Newton trató de encontrar la diferencia que se produce en una medición si dicha medición se hace en un sistema de referencia diferente al que Newton considera el Espacio Absoluto. Propone Newton que al sostener de una cuerda retorcida una cubeta llena de agua, esta última girará provocando que el agua dentro de la cubeta resienta una fuerza centrífuga que produzca una curvatura en la superficie del agua. Concluye Newton que existe una diferencia entre dos sistemas de referencia y que una observación/medición perteneciente a un sistema de referencia -respectiva a la cubeta de agua girando, donde el Universo gira en torno a ella- no es equivalente a la observación/medición de otro sistema de referencia -en el que el Universo es estático y es la cubeta la que gira-. Por esta razón, para Newton existe un espacio absoluto con respecto al cual se debería de medir todo movimiento; sin embargo, Newton también consideró que esta medición es muy difícil de realizar en la práctica (Hacyan, 2004: 46).

Es curioso que a diferencia del espacio absoluto, al cual Newton intentó ejemplificar con un experimento, el tiempo absoluto no se fue una preocupación principal para Newton en los *Principia*. Newton no profundiza en el concepto de tiempo absoluto porque no tiene necesidad de recurrir a ese concepto ya que en la Física clásica, el tiempo es, explica Hacyan, para todo fin práctico solamente un parámetro que aparece en las ecuaciones de movimiento, es decir, una variable matemática que se puede medir con algún proceso natural cíclico como la rotación de la Tierra (Hacyan, 2004: 48).

De regreso con las propiedades de independencia y de inmutabilidad del espacio, estas conllevaron a la pregunta por la forma de acceso a este.³ El acceso al espacio absoluto estaba condicionado a la forma de conocer los fenómenos en el mundo. Es decir, era en los procesos físicos que sufre la materia donde se expresaban indirectamente las propiedades de independencia e inmutabilidad del espacio absoluto; la materia y sus procesos físicos se convertían en requerimientos para el acceso al espacio y al tiempo. De esta forma, la materia fue el punto de encuentro entre el espacio y el tiempo matemático y el espacio y el tiempo representativo, del cual la filosofía ha tenido en la mira constantemente.

- Esta convergencia se localiza en la discusión acerca de la independencia del universo fenoménico con respecto a una mente perceptora de fenómenos. Esta discusión se centraba en torno a la forma de acceso de la mente a los fenómenos en el universo representativo. Aunque la dependencia entre mente perceptora y objeto percibido no había sido completamente aclarada, la independencia entre espacio y materia percibida era implícitamente asumida.

La independencia de la materia del espacio clásico se mantiene constante desde Descartes hasta Einstein, pasando por Newton, Locke, Berkeley, Hume, Kant y Laplace entre otros, mientras que no es así cuando se habla de la independencia entre materia y observador. La independencia del espacio en relación a la materia que contiene es una constante a lo largo de la filosofía. El espacio representativo no solamente permanece en todo momento independiente a la materia percibida y/o no percibida, sino que además se mantiene este rígido e inmutable a ella. No fue sino hasta finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX que la idea de un espacio curvo real corrió por las mentes de los filósofos, físicos y

³ Ejemplifica Simone Weil el traslado representacional entre la física y la cotidianeidad y dice que la ciencia clásica, desde que se originó en el Renacimiento y que pereció en el siglo XX, intentó representar todos los fenómenos que se producen en el universo imaginado como intermediarios análogos a aquellos por los cuales pasa un hombre que ejecuta un trabajo simple (Weil, 2006: 117).

matemáticos, provocando la posibilidad también de una distinta concepción del espacio experiencial.

El debate clásico acerca de la concepción del espacio contenía dos fases: una, la forma de acceso a la idea del espacio, y la segunda, si podía existir un espacio vacío de materia; la respuesta de la segunda fase era consecuente a la respuesta de la primera fase. Si el espacio se conocía por medio de la materia, ¿era posible concebir un espacio sin materia? Cuando se hablaba de un espacio experiencial, la respuesta era evidentemente negativa, sin embargo, para el espacio representativo, la respuesta no se presentaban tan rápidamente.

Por un lado, algunos filósofos del Renacimiento como Bruno y Campanella mantuvieron que el espacio siempre debía de contener materia pero no dudaron de su independencia; por otro lado, filósofos como Gassendi y Patrizi mantuvieron la existencia de un espacio completamente vacío de cualquier materia. En este debate también participaron Descartes, Leibniz, Locke, Berkeley, Kant y muchos más. Recojo, brevemente, en este ensayo un par de concepciones del espacio a lo largo de la filosofía moderna con la intención de aclarar e ilustrar la extensión de la preocupación por llegar a una concepción del espacio.

- *Espacio en Descartes.* A pesar de la duda cartesiana de la realidad de la materia, Descartes rechaza una separación entre el espacio y los atributos de la materia. En Descartes, el espacio se conoce a través de una propiedad espacial de tres dimensiones de la materia. Esta extensión es la que constituye tanto al espacio que ocupa un objeto, como al objeto mismo. De esta forma, no puede existir un espacio sin materia, ya que toda extensión de espacio es en realidad una extensión de materia.
- *Espacio en Locke.* Posteriormente vendría el empirismo de Locke e instauraría, siguiendo en parte a Descartes, la división entre cualidades primarias y secundarias de la materia. Las cualidades primarias son todas aquellas que son independientes a los sentidos como la extensión, número o movimiento, mientras que las cualidades secundarias son

aquellas dependientes de la percepción de los sentidos como el color, olor, textura, etc. Por lo tanto, si el entendimiento de la realidad surge a partir de ideas basadas en la percepción de los sentidos, el espacio debía de ser dependiente de la presencia de materia perceptible. Ahora bien, ¿qué pasaría si la existencia de la materia, la cual era la forma de conocer al espacio, era descartada?

- *Espacio en Berkeley.* Fue tan arraigada la noción de espacio independiente a los objetos que contiene, es decir, la noción del espacio objetivo, que aun Berkeley en su escepticismo no duda de la existencia de objetos -ideas- contenidos dentro de un espacio independiente; si bien, no independiente de un perceptor, sí independiente de los objetos contenidos. Esta concepción de espacio, a diferencia de la concepción clásica, es de un espacio ideal. A pesar de ser ideal, el espacio para Berkeley mantiene las características del espacio representativo del que habla Poincaré. Para Berkeley, los objetos no son físicos sino ideales además de que requieren de un observador que los perciba. No obstante, este requisito implica la existencia de un espacio donde la percepción sea posible.

Es de gran significado notar que a pesar del rechazo al materialismo en la epistemología de Berkeley, el espacio permanece relativamente similar al establecido por sus contemporáneos: un espacio objetivo, en este caso, contenedor de ideas y mentes. Si bien es cierto que Berkeley afirma que es absurdo atribuir existencia a objetos no percibidos, no niega la existencia contigua de diversos perceptores o mentes dentro de un espacio.

El problema epistemológico del mundo externo es respondido por Berkeley con el idealismo, siendo que aun en este idealismo, el espacio independiente, a nivel fenoménico, permanece constante: la crítica de Berkeley no se centra en el espacio sino en la materia física que compone el mundo externo. Para Berkeley, los cuerpos que componen el marco del mundo no pueden subsistir sin la existencia de una mente que los perciba o conozca (Berkeley, 1988: 55). Es la materia externa a la mente, dice Berkeley, lo que es inaccesible a la mente, pues es imposible de acceder a sus propiedades.

Pero debido al empirismo de Berkeley, la única forma de conocer el mobiliario del mundo es a través de los sentidos, y no es posible concebir alguna substancia distinta a la de las sensaciones. Entonces Berkeley argumenta que la existencia de la materia imperceptible, es absurda. Toda concepción para la mente solamente es posible a través de lo que perciben las sensaciones. Todas las ideas son formadas por cosas u objetos sensibles. Pero si lo único que percibe y que puede percibir la mente son las sensaciones y no la materia imperceptible, entonces Berkeley concluye que la materia externa a la mente, es decir todo aquello que no es perceptible, no existe (Berkeley, 1988: 55-56).

Berkeley conduce toda su investigación a partir de la percepción del mundo sensible. A pesar de haber indagado acerca del mundo externo a la mente, Berkeley no transfiere esta búsqueda epistemológica al concepto de un espacio independiente a la materia. En cambio, Berkeley se conforma con la equiparación del mundo sensible con el mundo fenoménico, asumiendo que este existe dentro de un espacio, el cual seguiría siendo absoluto e inmutable. Pero ¿cómo puede un espacio de ideas seguir siendo independiente e inmutable a su contenido en la concepción de Berkeley?

Es aún dentro del escepticismo de Berkeley, que el concepto de espacio absoluto vislumbra una salida para poder establecer su independencia a su contenido. Berkeley define una salida, que si bien es frecuente en su tiempo, es igualmente satisfactoria en su época para evitar el solipsismo, el cual, sí afectaría de sobremanera a la concepción de un espacio absoluto. En un solipsismo es posible, si se cae en él, que todos los elementos evidentes del mundo sensible sean relativos a la volición del sujeto; y es fácilmente visible que esto afectaría también al espacio y al tiempo.

Berkeley distingue su mundo sensible de un mundo individualmente volitivo debido a la existencia de un Dios, el cual es capaz de organizar la coherencia entre mentes perceptoras e ideas percibidas. De esta forma, se mantiene un espacio independiente a su contenido,

mas no un mundo material exterior. La constante de la independencia del espacio es aquí manifiesta aun en el escepticismo ideal; el verdadero conflicto en Berkeley es acerca de la legitimación de la sustancia física de los objetos dentro del espacio, habiendo percibido de antemano un espacio. Hay una diferencia entre la negación de la materia imperceptible en un mundo exterior a la mente, y la representación del espacio absoluto en el perceptor. En el momento que el mundo es percibido, se asume la existencia de un espacio donde suceden las percepciones. Por consiguiente, el mundo ideal de Berkeley permanece siendo absoluto para el perceptor; la única variante es que la sustancia contenida es materia meramente percibida.

- *Espacio en Leibniz.* El concepto de espacio y tiempo en Leibniz es un tanto diferente de los tratados hasta ahora. En Leibniz por primera vez se encuentra no solamente una dependencia entre espacio y materia en relación al acceso del primero, sino una dependencia real de existencia del espacio en la existencia de la materia. En contraste con el espacio absoluto de Newton, el cual es por lo menos lógicamente posible, para Leibniz el espacio absoluto no existe. El espacio para Leibniz es la relación observada en la interacción de los fenómenos. A diferencia de Newton, Descartes y Locke, el espacio -el tiempo- para Leibniz no son sustancias ni atributos ni cualidades, sino relaciones u órdenes de coexistencia y sucesiones. Por este motivo, el espacio -y el tiempo- dependen de la existencia de objetos y eventos respectivamente.

- *Espacio en Hume.* Es importante sobresaltar la diferencia entre la forma de ver el espacio por Hume y la de sus predecesores, pues es Hume quien enfrenta la capacidad epistemológica del hombre con la adquisición de conocimiento puramente sensible del mundo. Hume, empirista, consideró que el hombre solamente adquiere la idea de espacio o extensión a través de la percepción de los objetos, es decir, al ver o tocar los objetos. La idea de extensión o espacio es dependiente a la representación de los objetos en la mente

humana y no es otra cosa, dice Hume, que la idea de puntos perceptibles dispuestos en cierto orden (Hume, 2005: 108).

El espacio para Hume no es un requisito *a priori* como lo fue más tarde para Kant, sino que es adquirido a través de la percepción de los objetos y de la consideración de su tamaño y la distancia entre ellos. Por lo tanto, la idea de extensión es dependiente de la materia misma. Y si bien no es la misma dependencia einsteiniana, sí es una dependencia para la justificación epistemológica del conocimiento del espacio.

Por esta razón, afirma Hume que es imposible concebir un vacío o una extensión sin materia -espacio absoluto- o un tiempo en el que no hubiera sucesión o cambio en los objetos (Hume, 2005: 90). En otras palabras, sin materia no es posible conocer el espacio ni el tiempo. No obstante, es importante evitar una confusión acerca de esta dependencia. Hume en ningún momento niega una ontología del espacio independiente dentro del que suceden las sensaciones, solamente que este es inaccesible sin la existencia de la materia perceptible. Es posible encontrar una semejanza con su tratamiento de espacio o extensión con el de la causalidad necesaria: la crítica radica en la epistemología y no en la ontología de los objetos tratados. Pero de esto hablaremos más adelante.

Por ahora, lo que quiero hacer notar con esta dependencia es el modo de ingreso a la epistemología del espacio. Para unos, la materia era un accesorio contingente del espacio lógicamente primordial, mientras que para Leibniz y Hume fue la materia la forma con la que era posible conocer al espacio. Descartes y Newton parten de la concepción matemática de espacio, a la que llenarán de contenidos. Berkeley, en su idealismo, trabaja de la misma forma; Berkeley supone un espacio que no es necesario llenar de materia física pero que aun así, es primordial e independiente de la materia ideal. En contraste, en Leibniz y Hume, los fenómenos y las sensaciones participan como combustible para la

concepción del espacio. Mientras que Leibniz parte de un racionalismo y sustenta su filosofía en las mónadas, Hume parte de un empirismo y hace de las sensaciones su guía.⁴

En Hume se encuentra un conflicto que conviene recalcar. La dependencia material del espacio a la materia, para Hume, se nutre de la imposibilidad epistemológica de la concepción de un espacio sin materia, mas no de la dependencia del espacio a la masa y velocidad de la materia como hace la Física contemporánea. La dependencia no es ontológica sino epistemológica; la idea de espacio sigue siendo un lugar en donde se encuentra depositada la materia, mas no un lugar variante de acuerdo a su contenido.

Es justo recordar que la forma con la que la mente conoce al espacio es a través de la materia objetiva; y la materia no es, empíricamente, homogénea ni continua en la vida cotidiana; tampoco isótropa ni infinita. La materia es intuitivamente discreta, finita y heterogénea. Los sentidos limitan la experiencia del infinito: el ojo y el brazo del hombre no informan a la mente de un espacio infinito. Entonces, es la mente humana la que sintetiza las experiencias percibidas e induce la posibilidad de un espacio allende a los límites sensoriales del hombre. Si la materia es discreta y es a través de ella que la mente conoce al espacio, entonces el espacio experiencial se muestra también discreto. Lo mismo sucede con las características de la materia finita y heterogénea; el espacio se muestra finito y heterogéneo.

Otra de las distinciones entre el espacio representativo y el matemático es en la homogeneidad. Debido a que la percepción del espacio representativo es a través de los objetos que contiene, este de ninguna forma puede parecer homogéneo. La materia es heterogénea. Sin embargo, el espacio matemático de la Mecánica newtoniana sí es

⁴ Cabe recordar que Hume incluso llega a considerar a los puntos matemáticos como imposibles debido a que no provienen de los sentidos.

homogéneo, y no solamente lo es por convención o casualidad, sino por que el espacio debe ser homogéneo para satisfacer matemáticamente las leyes de movimiento de Newton.

- *Homogeneidad del espacio.* Es desde los griegos atomistas, dice Capek, la primera vez que se hace tácita la homogeneidad del espacio al establecer la separación de la materia y el espacio. Ellos encontraban que la diversidad cualitativa del universo se daba debido a las posiciones y a la forma de la materia; esta diversidad no tenía nada que ver con una diferenciación del espacio mismo. Este permanecía siendo homogéneo aunque la materia fuese heterogénea (Capek, 1961:15).

El espacio al ser homogéneo, hace que el espacio sea independiente, inmutable y si bien no lo hace infinito necesariamente, sí lo hace ilimitado; si el espacio es homogéneo, debe de estar exento de límites ya que estos límites serían completamente arbitrarios, y por lo tanto, dejaría de ser homogéneo. No puede haber límites mínimos ni máximos.

Sin límites mínimos, el espacio se convierte en infinitamente divisible. Sin importar el tamaño del intervalo espacial entre dos puntos, este debe ser siempre divisible. Sin límites máximos -arbitrarios-, el espacio se convierte en ilimitado. Esto hace que siempre sea posible imaginar arbitrariamente un límite espacial y situarlo solamente como provisional (Capek, 1961: 17-19).

Que el espacio sea homogéneo implica que los puntos espaciales son todos iguales, por lo tanto, como está dicho anteriormente, las distintas formas percibidas en la experiencia son diferencias en las cualidades de la materia y no en las cualidades del espacio; estableciendo así la inmutabilidad e independencia del espacio y la contingencia en las cualidades del espacio fenoménico. El espacio fenoménico sería diferente, dice Poincaré, simplemente si los sentidos del hombre fuesen otros. Las propiedades del espacio fenoménico no son

ajenas al hombre como lo son las propiedades del espacio matemático (Poincaré, 2002: 104-109).

Ahora bien, es importante notar que a pesar del carácter sensorial del espacio, el espacio en la ciencia clásica no se constituía meramente como un duplicado del mundo percibido. El ejemplo más claro es el empirismo de Newton: Newton parte del funcionamiento de los fenómenos sensibles para posteriormente construir leyes funcionales dentro de un espacio imperceptible. Newton formuló la concepción de un espacio rígido e inmutable mientras que sus sentidos le indicaban otras propiedades del mismo. Lo interesante de esta concepción del espacio clásico, es que aun siendo esta concepción diferente de la percibida, el sentido común no tendría dificultades para imaginar al espacio matemático (Capek, 1961: 5). En cambio, sí se presentaban problemas para representar las propiedades percibidas del espacio fenoménico dentro de un espacio matemático; como dice William Thompson, lo finito es incomprensible mientras que la infinitud del universo sí es comprensible (Thompson, 1891; 314-315).

- El enfrentamiento de Hume con la matemática ilustra el juego que ha tenido la ciencia con la búsqueda de leyes universales. Hume limita la concepción absolutista del espacio en la ciencia clásica usando las sensaciones y las impresiones, mientras por el otro lado, es Newton el que remueve las fronteras que confinan a la experiencia dentro de un espacio visual, uno táctil y uno motor basados todos en los sentidos y fuerzas humanas, representadas en un espacio geométrico.

En la ciencia moderna, la forma de ver al espacio empírico original de la ciencia clásica se transforma radicalmente con la introducción de la teoría de la relatividad de Einstein. Esta, al plantear la conjunción del tiempo y del espacio, al igual que al postular el vínculo de materia y energía, provocó que la concepción de un espacio rígido y absoluto se estremezca. El planteamiento en el que todo objeto, la luz inclusive, pueda ser desviada por

la fuerza de gravedad representa la relevancia que tiene la materia para su contenedor. La idea de la independencia del espacio de su contenido debía ser revocada en caso de que el postulado de la curvatura de la luz fuera científicamente probado. Si el campo gravitatorio es tan fuerte que es capaz de curvar la luz, entonces sería capaz de curvar todo. El logro de la Relatividad, como se verá más adelante, fue el de definir que no es la luz la que sufre la curvatura sino el espacio. La curvatura de la luz es un efecto de la curvatura del espacio.

El espacio, a partir del conocimiento de su posible curvatura, se hace dependiente y relativo a su contenido. Sin embargo, ahora es todavía muy temprano para adentrarse en la concepción del espacio curvo y en las limitaciones con las que esta concepción desafió a la Física clásica. Por ahora es necesario exponer el concepto clásico de tiempo y posteriormente las implicaciones en la causalidad dentro de las leyes de la Mecánica clásica, y de esta manera, se verá el cambio tan trascendente que produjo la unificación de espacio y del tiempo después de la teoría de la Relatividad. La unificación será el rompimiento de los términos absolutos e independientes del tiempo y del espacio con la materia y la energía; pero que a su vez, e irónicamente, es también el levantamiento de un nuevo pilar absolutista: la velocidad finita de la luz.

A partir de este momento, la causalidad comienza a tener variantes: el escepticismo hacia la causalidad necesaria de Hume retoma fuerza arremetiendo con más ahínco y logra reafirmar su argumento y posición empirista pura.

b. Tiempo

De la misma forma en la que la homogeneidad del espacio hace a este independiente y absoluto, la uniformidad del tiempo hace del tiempo independiente y absoluto. El tiempo matemático y absoluto fluye uniformemente independiente a los eventos o procesos que se desarrollen en él (Capek, 1961: 35-36).

Es el tiempo independiente y absoluto al que hace referencia Newton. La duración estimada del tiempo en relación con el movimiento y transformación de los cuerpos sensibles es considerada erróneamente como el tiempo absoluto; este en cambio, sería para Newton, el tiempo relativo y aparente. Newton encuentra que el tiempo absoluto solamente puede ser representado matemáticamente ya que no puede ser apreciado de alguna otra forma. Por la misma razón, Newton no se preocupa de cómo medir y/o probar el tiempo absoluto como en cambio, sí lo hizo con el espacio absoluto con la analogía de la cubeta de agua girando.

Newton no menciona más durante los *Principia* el concepto de tiempo absoluto y desde entonces el tiempo se convierte para todo fin práctico en un parámetro que aparece en las ecuaciones de movimiento como una variable medible a través de procesos cíclicos tanto naturales como artificiales (Hacyan, 2004: 48). Pero a pesar de que el tiempo se convierte en solamente un parámetro en las ecuaciones de movimiento dentro del plano matemático, las implicaciones de las propiedades del tiempo absoluto rebasan la consideración que hace al tiempo absoluto solamente una variable. A continuación se analizará brevemente la concepción del tiempo a través de la filosofía y de la ciencia.

- Las leyes de Newton hicieron del tiempo una variable matemática mientras que la filosofía lo hizo un tema de investigación relativo a la yuxtaposición experiencial. Esta es la diferencia entre el concepto newtoniano del tiempo y la representación del tiempo en la mente humana. La división tiene lugar en dos niveles: el primero es la abstracción del concepto matemático del tiempo en el que se localizan las propiedades atribuidas por la ciencia clásica mientras que en el segundo nivel tiene lugar la investigación experiencial del tiempo a través de los procesos fenoménicos.

Cabe mencionar que al hablar de la experiencia representativa del tiempo dentro de la cotidianidad, no es posible adjudicarle a la experiencia temporal únicamente lo percibido

por los sentidos; a pesar de adquirirse la experiencia del tiempo a través de la información sensorial, es necesario hacer uso de un intérprete en las sensaciones secuenciales, y así poder atribuir primero, una identidad en los fenómenos y posteriormente, una comprensión del flujo temporal sucedido en dos fenómenos atribuidos como uno mismo en dos momentos diferentes. Por ejemplo, la sucesión en la configuración de un grupo de partículas indica que ha habido un flujo o cambio en el tiempo a pesar de que el punto espacial de las partículas sea el mismo. De igual forma, la repetición de la configuración inercial, indica experiencialmente que existe una similitud en la identidad de los procesos, mas no que hubo un flujo inverso del tiempo (Capek, 1961: 39).

De esta forma, un fenómeno cualitativamente idéntico a otro puede ser considerado implícitamente el mismo aunque se presente en dos estados temporalmente diferentes. Uno toma el atributo del original y el otro de su repetición, con lo cual es posible decir que el tiempo es, al igual que el espacio, un *principio de diferenciación de otro tipo que la cualitativa*. En el caso del espacio, la relación de yuxtaposición o la de contigüidad hace que sea posible distinguir dos objetos de cualidades idénticas mientras que en el caso del tiempo, es la relación de sucesión la que hace posible realizar la distinción en el caso de los estados en los que se encuentra un objeto; a pesar de que no sea visible un cambio cualitativo, se puede aun así hablar confiadamente de momentos temporales diferentes (Capek, 1961: 39).

- La diferencia epistemológica entre una consciencia decodificadora de las sensaciones espaciales y un intérprete de las sensaciones temporales es que el primero hace una síntesis de la información mientras que el segundo hace una inducción a partir de la síntesis; es precisamente la inducción que hace la mente la que sintetiza lo pasado y espera lo futuro. En la experiencia temporal es necesaria la memoria mientras que para la experiencia espacial no.

Del tiempo experiencial seguiré hablando más adelante pero por ahora, expondré las propiedades del tiempo de la Mecánica clásica. De esta manera, se podrán comparar posteriormente las propiedades del tiempo en el plano matemático y el tiempo en el plano sensible.

En el caso del concepto de tiempo para la Mecánica newtoniana, los cambios suceden dentro del tiempo absoluto, es decir, los movimientos y procesos en el tiempo no son del tiempo mismo sino suceden dentro de él. El tiempo permanece uniforme e independiente; así como el espacio no implica materia, dice Capek, el tiempo no implica movimiento ni cambio. El tiempo fluye de manera constante, independiente de los procesos que suceden en su contenido. Son los cambios los que llenan u ocupan porciones de tiempo (Capek, 1961: 36-38)

Aun en el empirismo puro de Hume, la independencia del tiempo es coherente con la concepción de la Mecánica newtoniana. Para Hume, por ejemplo, el tiempo se presenta siempre como una sucesión perceptible de objetos mudables (Hume, 2005: 85-86). El tiempo en Hume es un modo en el que los objetos están organizados y en donde los percibimos. Sin embargo, en Hume se vislumbra lo que posteriormente expondrá Kant en su categoría de tiempo:

“De igual modo que de la disposición de los objetos visibles y tangibles recibimos la idea de espacio, formamos la del tiempo en base a la sucesión de ideas e impresiones; el tiempo, por sí solo, no puede manifestarse ante la mente ni ser conocido por ella....Allí donde no tengamos percepciones sucesivas no tendremos noción del tiempo, aunque haya una sucesión real en los objetos”.⁵

La similitud entre la epistemología experiencial del tiempo y la concepción abstracta del tiempo de la Mecánica newtoniana es que en las dos posturas se encuentra la propiedad de independencia. En ambas nociones del tiempo, la idea de que las sucesiones o

⁵ D. Hume, *Tratado de la naturaleza humana* (Tecnos: Madrid, 2005), págs. 84-85

movimientos ocupaban una medida de tiempo y de que no tenían efecto alguno en el tiempo permanece constante.

- El tiempo absoluto para la ciencia newtoniana, tiene otras dos propiedades al ser uniforme: el tiempo se torna infinito e ilimitado. De la homogeneidad del tiempo, se sigue su infinitud ya que no pueden existir puntos preferenciales o privilegiados. Si no existen puntos privilegiados, entonces se sigue que no hay límites ni máximos ni mínimos, todos teniendo un punto anterior y uno que le sucede y así, el tiempo se convierte en ilimitado y divisible infinitamente. De esta división infinita se sigue que cada intervalo de tiempo contiene un número infinito de instantes sin duración, análogamente a los puntos sin extensión espacial. De esta forma, el tiempo se compone en una conjunción infinita de puntos en los que el pasado ya aconteció y el futuro no ha llegado. El presente se convierte en el punto de unión entre partes que sucedieron y que están por suceder (Capek, 1961: 40-42).
- El primer problema de esta concepción del tiempo es epistemológica. Es aquí donde se encuentra el rompimiento entre el tiempo absoluto y el tiempo experiencial. De igual modo en que el espacio representativo es heterogéneo y finito, el tiempo cotidiano contiene las mismas propiedades.

El tiempo cotidiano es heterogéneo, finito y no es divisible ilimitadamente. No es posible separar epistemológicamente el tiempo de los movimientos que suceden en él. Es más, es a través de ellos como la mente conoce al tiempo. De esta forma, indicó Hume, son necesarias las percepciones sucesivas para tener la noción del tiempo (Hume, 2005: 84-85). Así como los fenómenos estaban organizados de cierto modo en el espacio, las distintas percepciones en el tiempo –cambios y movimientos- mostrarán la organización del mismo dependiendo de la duración de los cambios y movimientos.

En Spinoza, por ejemplo, la diferencia entre duración y eternidad coexiste solamente al ser la última un atributo de la sustancia y la primera una medida de tiempo dentro de la eternidad. Para Spinoza, la sustancia es necesaria y nada pudo haberla creado más que ella misma; la sustancia al ser necesaria, es infinita. Es curioso como el concepto de tiempo dentro del panteísmo de Spinoza es análogo al tiempo absoluto homogéneo e infinito. Solamente los cambios que se encuentran en el mundo son cambios modales de la sustancia con una cierta duración de tiempo. En otras palabras, no puede existir nada exterior a la sustancia, así como no existe un espacio ni un tiempo exterior a ellos mismos; la sustancia es absoluta para Spinoza, al igual que lo es el espacio y el tiempo para la ciencia newtoniana. La homogeneidad del espacio y del tiempo newtoniano hace a estos ilimitados y eternos así como lo es la sustancia teocrática de Spinoza. De esta forma se establecen la sustancia para Spinoza, el espacio y el tiempo para la ciencia como primordiales, eternos e ilimitados. Estos no fueron creados ni serán destruidos, ni tampoco son afectados por su contenido.

En la filosofía kantiana es posible ver la misma característica newtoniana del tiempo infinito y la epistemología en el tiempo representativo. Kant define que el tiempo es una forma pura de la intuición sensible, es decir que es con ella, siendo *a priori*, en la que se representan los fenómenos. De esta manera, Kant considera al tiempo independiente de su contenido y lo define así en la segunda sección de *la Estética Trascendental* en su Crítica:

“El tiempo es una representación necesaria que sirve de base a todas las intuiciones. Con respecto a los fenómenos en general, no se puede eliminar el tiempo mismo. Sí se pueden eliminar, en cambio, los fenómenos del tiempo. Este viene, pues, dado *a priori*. Solo en él es posible la realidad de los fenómenos”.⁶

Sin embargo, Kant no atribuyó una realidad externa al tiempo. Como se dijo anteriormente, Kant estableció que el tiempo es una forma de intuición pura, en la que la mente encuentra a los fenómenos. Además de uniforme, el tiempo tanto para Kant como

⁶ I. Kant, *Crítica de la razón pura* (Taurus: Madrid, 2005), pág. 74

para Spinoza es infinito e ilimitado. Así lo estableció Spinoza al hacer de la sustancia eterna y necesaria, y Kant al definir al tiempo como condición formal *a priori* de todos los fenómenos. Kant esclarece:

“La infinitud del tiempo quiere decir simplemente que cada magnitud temporal determinada solo es posible introduciendo limitaciones en un tiempo único que sirve de base. La originaria representación *tiempo* debe estar, pues, dada como ilimitada”.⁷

Añade Kant, en relación a la medición del tiempo que tiempos diferentes son solamente partes de un mismo tiempo (Kant, 2005: 75). La diferencia entre el tiempo de Kant al de la ciencia es la forma de aproximación a ella: para Kant, la realidad empírica del tiempo tiene relación a los objetos que se presentan a los sentidos, es decir, tiene una condición subjetiva de la intuición, la cual, fuera del sujeto, no sería nada. (Kant, 2005: 78). El acceso al *tiempo* en Kant presupone un tiempo en el que los fenómenos se sucedan, no obstante, es necesario un sujeto que intuya tales procesos fenoménicos para conocer el tiempo.

En la Física clásica, la relación entre el sujeto y el proceso se vuelve de independencia por parte del proceso para con el sujeto. Se asume la existencia de un sujeto capaz de conocer los diferentes estados en los que se presenta la materia. Se puede considerar a este ser como la misma Física, como un investigador o en un caso muy especial como un ser de un intelecto tan grande que pueda conocer todo acerca de un estado y del proceso por el que pasará de pasado a futuro y viceversa. Esta es la ilusión laplaciana.

Antes de adentrarme en lo que para la Física significó la creación de la ilusión laplaciana, lo cual dio comienzo a *la era laplaciana*, es menester introducir otras implicaciones del espacio y del tiempo.

⁷ Kant [2005], op. cit., pág. 75

- Uno de los rompimientos entre la cotidianeidad y el uso en la Física clásica del concepto de tiempo es en relación a la dirección del tiempo, también conocido como la línea en la que fluye el tiempo. Es el fluir del tiempo el movimiento en el que expectativas futuras se convierten en eventos pasados pasando por estados presentes, que para el sentido común, es el tiempo cotidiano dentro del que se encuentra toda materia. El sentido de tiempo, acorde a la cotidianeidad, implica que todo proceso fenoménico fluya inexorablemente de pasado a futuro, situándose el mismo sentido común en un estado presente fugaz. El sentido común presupone, gracias a cualquier proceso del que adquiere experiencia, que el tiempo fluye en un solo sentido. Es gracias a la experiencia de la cotidianeidad que el pasado ha dejado de existir y el futuro espera existir.

Esta concepción de tiempo implica que todo cuerpo sufre una transformación con el paso del tiempo, tanto una transformación fenoménica o una posicional; en ambas transformaciones, se asume la existencia del fluir del tiempo gracias al cual suceden dichas transformaciones. Lo que quiero resaltar aquí, es que la idea del paso del tiempo en una sola dirección permanece constante acorde a la cotidianeidad que sigue el sentido común.

El rompimiento entre las dos concepciones se da en el momento en que la Física, a través de las tres leyes de movimiento de Newton no hace una diferencia cualitativa entre la dirección del tiempo; no se podría saber, basándose únicamente en la teoría, si el sentido del tiempo tiende al futuro o al pasado en la evolución dinámica de un sistema físico. Que el tiempo absoluto sea uniforme, también lo hace simétrico, por lo tanto, la única diferencia que se presenta es el cambio de signo en la variable t y no una distinción cualitativa. Por ende, las leyes de Newton presuponen un tiempo reversible; no hay diferencia en qué dirección toma el flujo de tiempo para la Física newtoniana: este puede fluir sin distinción entre pasado y futuro (Hacyan, 2004: 65), es decir, el tiempo es susceptible a adoptar valores tanto positivos como negativos ya que las leyes de la Física se mantendrán iguales de cualquiera de las dos formas (Espinoza, 2006: 123).

Sin embargo, cualquier transformación, por sentido común, tiene un sentido en el que fluye el tiempo, y este sentido no es indiferente. Si la experimentación y la observación implican una dirección del tiempo, de pasado a futuro, la Física debía retomar y expresar lo que el sentido común asumía desde siempre; es decir, una dirección en el flujo del tiempo. No obstante, como dice Simone Weil, había que decirlo en una fórmula algebraica aplicada a la Física; este fue el logro de Clausius al inventar lo que se conoce hoy como entropía (Weil, 2006: 120-121).

- *Entropía.* La entropía de un cuerpo se define como una cantidad que aumenta en la misma proporción que el calor generado. El factor de proporcionalidad de este cambio es el inverso de la temperatura; el cambio en la cantidad de calor es igual a la temperatura multiplicada por el cambio en la entropía (Hacyan, 2004: 69). En otras palabras, explica Hacyan, el cambio de calor indica el cambio en la temperatura, la cual es una medida de la energía cinética promedio de todas las moléculas y mientras esté más caliente un cuerpo, será mayor la velocidad con la que se agitan las moléculas (Hacyan, 2004: 70). Las moléculas agitadas a mayor velocidad se pierden o escapan del sistema y se convierten en energía irrecuperable; y en un sistema que pierde energía, un estado posterior no puede regresar de manera natural a su estado inicial. Por lo tanto, es a través del establecimiento del principio de entropía, que se puede ver una distinción entre el pasado y el futuro.

La entropía, de acuerdo a la segunda ley de la termodinámica, debe aumentar en todo sistema o por lo menos, permanecer constante conforme transcurre el tiempo. Es decir, que en un sistema de moléculas, estas a medida que fluye el tiempo y aumenta la temperatura se agitan y tienden al desorden en vez de al orden. El mejor ejemplo para representar la tendencia al desorden es el experimento de la caja con una separación en medio. Se suelta un gas dentro de una de las divisiones. Al levantar la división que separa los dos segmentos de la caja, lo más seguro que se encontrará será que el gas se ha extendido a lo largo de los dos segmentos de la caja. Es altamente improbable que el que se mantenga únicamente en

un segmento o que se hayan reorganizado sus moléculas dentro de la otra separación, dejando la primera vacía de moléculas de gas.

Es importante mencionar que si bien la entropía representa la pérdida de energía entre dos estados de un sistema y por tanto la imposibilidad para que un estado regrese a su estado inicial, esta no niega la posibilidad de una reorganización de las moléculas de un sistema, en un estado si bien posterior, también idéntico al que fue su estado inicial. Y a través del Principio de parsimonia, si un estado es igual a otro, deben de ser el mismo. Entonces, la entropía no imposibilita la reorganización de moléculas en un estado que será considerado como inicial, y por lo tanto, un regreso al pasado. Si las moléculas de la caja, regresan a la primera separación y se reorganizan de la misma manera en que estaban en su estado inicial, el Principio de parsimonia implicará que será el mismo estado final que el inicial y por tanto, el tiempo habrá retrocedido ya que en efecto sufrió una transformación de desorganización y reorganización. Que el tiempo fluya al futuro es colosalmente más probable que si lo hiciera al pasado, sin embargo, esto no quiere decir que esto último sea imposible (Hacyan, 2004: 193).⁸

¿Por qué no es perceptible en la cotidianeidad esta propiedad estadística acerca de la reversibilidad del tiempo? Simplemente porque estas leyes implican que es casi absolutamente improbable que los estados de los sistemas de billones y billones de átomos regresen a su estado inicial. Acerca de esta posibilidad, ejemplifica Hacyan diciendo que el ver que un charco salte de regreso a un vaso es tan poco probable como lo es el ganar el premio mayor de una lotería con 10^{1019} números concursantes por cada átomo en el Universo (Hacyan, 2004: 75). Por ende, la idea del fluir del tiempo al futuro, surge cuando se perciben sistemas de estos tamaños y no al percibir el movimiento de moléculas aisladas (Hacyan, 2004: 81).

⁸ El flujo del tiempo se convierte en una propiedad estadística semejante al calor y a la entropía misma (Hacyan, 2004: 76).

- La concepción del tiempo acorde a la Mecánica newtoniana funciona, siempre y cuando se sostenga la geometría euclidiana a la cabeza de otras en relación a su verificación empírica, ya que es solamente posible dentro de una geometría euclidiana. El problema se presenta, precisamente, cuando a comienzos del siglo XX se observan los efectos producidos por eventos pertenecientes a un espacio y a un tiempo no euclidianos. Las propiedades del tiempo y del espacio de la Física newtoniana, a partir del siglo pasado, se debilitan ante la presencia de la concepción de los agujeros negros, de la teoría de la Gran Explosión, del descubrimiento de los *cuantos* y del Principio de Incertidumbre. Estas teorías atacan directamente a las propiedades clásicas del tiempo y del espacio.

CAPÍTULO 2

Causalidad necesaria, determinismo y universalismo

Después de haber expuesto la concepción clásica del espacio y del tiempo, es preciso poner atención a las consecuencias que siguieron de estas concepciones después de fusionarlas con la causalidad; es decir, las concepciones del determinismo y del universalismo. La ciencia dirige la mirada a estos dos objetivos en la legitimación de la búsqueda de la explicación total del funcionamiento del universo. La Física clásica navega con la bandera de la experimentación científica y el timón de la Física matemática newtoniana; si la matemática era constante con la experimentación, como parecía serlo hasta ese momento, se pensaba que se podría llegar a una teoría explicativa de todo fenómeno en todo lugar y en cualquier momento.

La experimentación parecía efectivamente someterse a la geometría euclidiana y a las leyes de Newton. El rumbo estaba establecido; únicamente hacían falta los instrumentos que abrieran camino y reemplazasen los limitados sentidos humanos en la experimentación; al menos esta era la esperanza. La Física newtoniana había situado las bases para conocer el universo más allá del espacio visual y motor. Al periodo de tiempo durante el cual este anhelo permaneció abanderando el avance científico le llamo *la era laplaciana*.

La era laplaciana representa la conjunción de todas las implicaciones que se concentran en las leyes de Newton: el espacio y el tiempo absoluto, y la causalidad necesaria. Estas tres nociones crearon la ilusión -ilusión que duró hasta el siglo XX- del acceso al conocimiento

total del funcionamiento del universo, es decir, acceso a un conocimiento del actuar de la materia del universo en cualquiera de sus puntos tanto espaciales como temporales.

La esperanza se basaba en la creencia, proveniente de la Mecánica newtoniana, en la que al conocer todo lo relacionado a un punto en el presente, era posible conocer, tanto su pasado como su futuro. Todo evento, en su respetiva representación geométrica poseía puntos dentro del espacio y el tiempo absolutos, de los que al conocer todas sus posibles operaciones y reglas de funcionamiento, se podía proyectar su comportamiento en un punto futuro, al mismo tiempo que su comportamiento pasado. Este era el anhelo de la ciencia. ¿Alcanzó la ciencia su meta logrando un determinismo estricto?

De antemano puedo decir que la respuesta es negativa. La ciencia tropezó eventualmente con fronteras teóricamente innegables creadas por sus mismas investigaciones. Pero antes de hablar extensamente de dichas fronteras, es necesario continuar con la exposición de la buscada tierra prometida de la Física clásica: el camino a la era laplaciana, la cual se basaba en la causalidad necesaria, el determinismo y el universalismo.

Causalidad necesaria

Existen varias dificultades alrededor del concepto de causalidad y más, con el de causalidad necesaria. Desde Aristóteles y sus cuatro causas hasta Hume, el concepto de causalidad había permanecido, si bien no inmóvil, sí pasivo. David Hume dirigió su atención a la causalidad, no en tanto a su ontología, sino a la epistemología de la causalidad. El mérito de Hume es el de dirigir su examen a la legitimación de la creencia de la causalidad necesaria mientras que a lo largo de toda la filosofía anterior, esta no había sido cuestionada.⁹

⁹ La filosofía griega hizo uso de la causalidad para definir la ontología de un objeto. Platón habló, por nombrar un ejemplo, de la función del caballo en la batalla para definir el *ser* del caballo.

La implicación que conlleva la utilización de la causalidad como herramienta ontológica es la tácita eficacia causal de todos o casi todos los procesos fenoménicos; es decir, los efectos siempre o casi siempre seguían, incuestionablemente, a sus respectivas causas. Esto era innegable. Sin embargo, a pesar de la evidente eficacia de la causalidad en la experiencia, se precisaba entender el poder productivo en la causalidad, es decir, se necesitaba todavía responder al por qué un efecto seguía, siempre o casi siempre, a su causa y al por qué era posible esperar que todo efecto siga de una causa específica. Para llegar a estas preguntas, es primordial entender lo que abarca el concepto de causa.

- *Causa.* Son Aristóteles y Hume los filósofos que mejor representan la preocupación de inquirir acerca de la fuerza productiva de la causalidad. Fue Aristóteles el que al preguntarse qué es la causalidad, respondió que existían diferentes tipos de causas en la naturaleza. Pero fue Hume el primero en cuestionar el poder productivo del proceso causal; no fue hasta Hume en el que se localiza una real preocupación por conocer el principio por el que se podría regir la causalidad y con el que se pueda relacionar una causa específica con un efecto determinado.

El concepto de causa fue definido por Hume como el objeto precedente y contiguo a otro, el cual está unido con él de tal forma que la idea de uno hace que la mente forme la idea del otro (Hume, 2005: 253). Tampoco es necesario limitarse únicamente a la creación de ideas en la mente de causa y efecto como lo hace el empirismo de Hume, sino que también se podía hablar de la causa como un algo, tanto una cosa, condición o evento, que participa en la producción de un fenómeno, el cual afecta tanto en su posibilidad de existir como en las características que presenta (Espinoza, 2006: 97). De esta manera, la causa tiene una función explicativa del efecto. La causa produce y explica el fenómeno. A esto cabría

añadir que un concepto generalizado de la causalidad está determinado por una unión constante entre una causa y un efecto respectivo (Hume, 2005: 259).¹⁰

Hume señaló también ocho reglas generales en la causalidad para poder identificarla como tal, dentro de las cuales se encontraban: la contigüidad espacial y temporal, la anterioridad de la causa al efecto, la constancia de la relación y la eficacia de la causa (Hume, 2005: 257-261). Las reglas permiten identificar si de lo que se habla es un proceso causal o no, mientras que la regla de la eficacia causal, permite entablar la especificidad de la relación entre causa y efecto. Esto simplemente quiere decir que a una causa le corresponde un efecto específico ya que esta causa es que lo produce dicho efecto (Hume, 2005: 236).¹¹ Debido a capacidad de determinación efectiva, la eficacia causal es la estructura de la concepción común de la causalidad. Ahora bien, es necesario preguntar de dónde viene esta eficacia causal.

Si la razón no puede nunca engendrar ninguna idea original, dice Hume, y al ser distinta de la experiencia, la razón no podrá llevar a la mente a pensar que una causa sea o no necesaria para el comienzo de un evento (Hume, 2005: 237). Para Hume la idea de eficacia se deriva de la experiencia, y no de la razón ya que es la unión constante de una causa y un efecto en la experiencia lo que lleva a la mente a acostumbrarse a la unión entre causa y efecto. Hume ilustra la eficacia causal bajo la lente del empirismo así:

“Cuando examino con el mayor cuidado los objetos corrientes denominados causas y efectos, me basta un solo ejemplo para ver que un objeto es precedente y contiguo al otro; y

¹⁰ Este es un primer acercamiento a un concepto generalizado de causa, del que se desprenderán muchos de los conflictos de los cuales hablaré. Uno de los temas será precisamente la labor explicativa de la causalidad de las leyes científicas; otro será el del reduccionismo causal en términos no-causales de contigüidad temporal, etc.

¹¹ Dos fenómenos pueden ser contiguos temporalmente a una causa pero eso no quiere decir que los dos sean los efectos de tal causa. Es igual el caso con la constancia de la causalidad; existen ocasiones en que un fenómeno sucede a otro constantemente, pero no quiere decir esto que uno sea necesariamente el efecto de la causa.

al extender mi vista para considerar varios casos, encuentro tan sólo que objetos similares están colocados constantemente en relaciones similares de sucesión y contigüidad.”¹²

La eficacia causal, entonces, proviene de la percepción de un evento *causa* y un evento *efecto*. No obstante, el surgimiento del efecto debe de ser constante a la presencia de la causa. De igual modo, temporalmente y espacialmente, la causa y el efecto deben de ser próximos. Este requisito nace para evitar una regresión infinita para toda serie causal que haría incapaz de conocer una causa inicial.

Es importante notar ya desde este momento la diferencia entre la epistemológica y la ontología de la causalidad para Hume; la causa podría en principio tener una causa primera y anterior a la presencia del observador y seguir hablando de una causa y un efecto, pero lo importante para Hume, es que esto toma un segundo término: la regla para hablar de una causalidad -más no de una causación- es la contigüidad temporal y espacial. Si una causa tiene su efecto a miles de kilómetros de distancia y/o a cientos de años, el observador de la causa o el observador del efecto, no podrían hablar de una causalidad misma, aunque no puedan negar que existió una relación de causación entre los dos eventos.

- A través de la costumbre, dice Hume, la mente adquiere conocimiento causal con el que comprende el funcionamiento de su entorno. Por lo tanto, la mente a través de la experiencia causal implica que el mundo funciona con regularidad, y es el sentido común el que predice, gracias a la inducción, que la naturaleza seguirá funcionando con regularidad.

Sin embargo, también en la cotidianeidad existen fenómenos que van más allá de la comprensión del sentido común. En algunos casos extraordinarios la causalidad regulativa no lograba ordenar a algunos fenómenos anómalos en el mundo; debido a la existencia de estos eventos irregulares al entendimiento del hombre, se crearon mitos y leyendas con los

¹² Hume [2005], op. cit., pág. 254

que el hombre volvía a categorizar tales eventos anómalos en fenómenos causales. Los eventos irregulares se convertían entonces en voliciones de dioses, los cuales al mismo tiempo, permanecían bajo el yugo de una regularidad. Los dioses actuaban regularmente de acuerdo a su personalidad y procedían de una u otra manera y siempre bajo un orden causal.

Un ejemplo de esto es el sometimiento al hombre a pestes, tormentas, cometas y eclipses por volición divina; estos fenómenos, inexplicables a la comprensión causal humana debido a su irregularidad, eran atribuidos a dioses reguladores y de esta forma, la causalidad permanecía constante en la experiencia. Los dioses encargados de regular al universo causal respondían a una causalidad acorde a sus propiedades teológicas. Acerca de esto, dice Laplace:

“Recordemos que en un tiempo distinto y todavía no muy lejano, una lluvia o una sequía excesivas, un cometa que arrastrara tras él una cola muy amplia, los eclipses, las auroras boreales y, en general, todos los fenómenos extraordinarios, eran considerados como signos de la cólera celeste”.¹³

- *Primer motor inmóvil.* Aristóteles, en lugar de identificar a un dios creador, explicó que si a toda causa le sucede un efecto y que si todo evento necesita un motor que lo ponga en movimiento, la cadena causal podría hacerse infinita: Aristóteles respondió a esta cuestión con la idea del *primer motor inmóvil*, primer causante del mundo. Aristóteles limitó la causalidad en un punto inicial. Durante la Edad Media, los padres del cristianismo –aristotélicos- adaptaron el *motor inmóvil* y lo convirtieron en el Dios cristiano creador del universo y primera causa de toda sucesión causal.¹⁴

¹³ P.S. Laplace, *Ensayo filosófico sobre las probabilidades* (Alianza: Madrid, 1985), pág. 26

¹⁴ Acerca de esto, comentó Hume con cierto rechazo: “[e]s la divinidad, por tanto, el primer motor del universo, y quien no sólo ha creado en un principio la materia y dado el impulso original, sino también quien, por un ejercicio continuo de su omnipotencia, la conserva en la existencia y le confiere sucesivamente todos los movimiento, y configuraciones y cualidades que posee” (Hume, 2005: 240).

La idea del *motor inmóvil* de Aristóteles es un buen ejemplo determinista que permite identificar los procesos causales en la experiencia con los procesos teóricos de la Física newtoniana representados por puntos matemáticos. El motor inmóvil representado en un plano cartesiano es expresado, considerando que el espacio y el tiempo son absolutos e uniformes, en un punto específico en el que la sucesión causal encuentra su límite inicial. El *primer motor inmóvil* ilustra lo que podría representarse matemáticamente con un proceso fenoménico entre un punto inicial y uno final expresado en lenguaje matemático.

El concepto del *primer motor inmóvil* es útil para comprender el determinismo de las series causales que intenta explicar la Física newtoniana; el punto inicial es arbitrario en un plano matemático de la Mecánica clásica representa, así como lo hace el *motor inmóvil*, el límite inicial de un movimiento para el que existen una infinidad de movimientos posibles, pero que bajo las leyes del movimiento de Newton, está determinado a actuar de cierta forma o de otra.

Si cada efecto sucede siempre a una causa, y toda causa, excepto el *motor inmóvil*, sigue de otra anterior, y acorde a la experiencia y a la intuición, el universo funciona de esta forma, entonces no habría razón para cuestionar la legitimidad de la causalidad. La causalidad permanecería uniforme y constante, por lo menos hasta encontrarse con el *primer motor inmóvil*.

Desde Aristóteles hasta la llegada de Hume, la causalidad fue considerada indiscutible. El primordial compromiso en el que se centraba el estudio de la causalidad era más bien en temas ontológicos y metafísicos. No fue hasta Descartes que la filosofía retomó el camino de la duda y fue Hume el primero en dudar acerca de la causalidad, y sobre todo de la causalidad necesaria. Fue el primero en criticar seriamente el funcionar del *motor inmóvil*, lo que a su vez, fue una crítica al determinismo en los procesos dentro del espacio y del tiempo absolutos.

Es interesante ver que se dudaba de la experiencia y se consideraba que podría ser engañosa, y al mismo tiempo se dudaba de la razón ya que esta podía ser falible. Con la llegada de la Física newtoniana se sustentó la uniformidad de la experiencia y se convertía el conocimiento inductivo, a partir del uso de la razón, en leyes deterministas-causales y universales. A partir de Newton se analizaron las propiedades de la materia, se hicieron predicciones inductivas del comportamiento de la materia, y se conjuntaron en un cuerpo de conocimiento que viajaba desde la creación de supuestos hasta la verificación fenoménica. La inducción se convertía en la herramienta con la que se justificaba la coherencia entre predicción en el plano matemático y la verificación fenoménica, y por lo tanto, entre causa y efecto.

- *De la causa a la causalidad necesaria.* La inducción y la continuada verificación de procesos ayudaban a fortalecer la creencia de la uniformidad de la naturaleza y así, reafirmaban el determinismo que asumía abiertamente la ciencia. La causalidad necesaria es un punto clave en la elaboración de leyes; sobre todo si estas últimas están basadas en la deducción y en la adecuación de la verificación con sus predicciones. La causalidad se convierte en un pilar de la Física newtoniana ya que justifica al determinismo científico.

En un principio se podría decir que la predicción efectiva de la ciencia no solamente es una prueba de la causalidad en las leyes científicas sino que también es un requisito para que se pueda decir que ellas son propiamente causales y no solamente regulares y uniformes. Si el requisito para hablar de una causalidad basta con el de la descripción fenoménica uniforme, con la condición que sea constante, entonces las leyes mecánicas newtonianas son, acorde a esta concepción, causales; es más, de igual manera se podría hablar, tras la constancia encontrada en el método científico, de un determinismo causal, el cual representa no solamente a una causación, sino inclusive a una causalidad necesaria.

Entonces, si se entiende a la Física newtoniana como una teoría causal, esta debe de presuponer una uniformidad en la naturaleza ya que establece leyes para comprender el comportamiento de los cuerpos a lo largo de sus correspondientes series causales. Pero este será uno de los problemas que presentaré en el siguiente capítulo. La ciencia ha cambiado su forma de ver al Principio de la causalidad conforme avanza. No obstante, la ciencia ha mantenido a pesar de todo la existencia de un Principio de permanencia de las leyes ya que es este el que implica una uniformidad de la naturaleza, es decir, una uniformidad fenoménica entre causas y efectos. Pero aquí existe un problema. El problema principal de la uniformidad de la naturaleza, como dice Russell, es que la uniformidad tiene su base en la inducción. Esta tiene su justificación en una colección de observaciones que en principio puede ser infinita, pero no quiere decir con esto que sea absoluta y/o cierta. Dice Russell:

“La uniformidad de la naturaleza, en el sentido anterior, aunque es aceptada en el ejercicio científico, no se debe considerar en términos generales como una especie de premisa mayor, sin la cual todo razonamiento científico sería erróneo. La presunción de que *todas* [cursiva de origen] las leyes de la naturaleza son permanentes es menos probable que la presunción de que esta o aquella ley particular es permanente; y la presunción de que una ley particular es permanente para siempre es menos probable que la suposición de que será válida hasta tal o cual fecha.... Naturalmente este procedimiento viene dictado por el hecho de que la uniformidad de la naturaleza no es conocida *a priori*, sino que es una generalización empírica como <todos los hombres son mortales>”.¹⁵

La Física clásica asume la uniformidad y el Principio de permanencia de leyes desde las propiedades del espacio y del tiempo absolutos. Las leyes de movimiento de Newton afirman tanto la uniformidad del tiempo y la homogeneidad del espacio como el comportamiento causal de la materia dentro de ellos, conjuntándose las tres nociones en la concepción de la uniformidad de la naturaleza.

Una consecuencia de un Principio de uniformidad del universo es que hace explícita uno de los requisitos de la ciencia: el requisito del determinismo. La ciencia busca regularidades con el fin de encontrar procesos predecibles, y por lo tanto, pueda determinar

¹⁵ B. Russell, *Misticismo y Lógica, y otros ensayos* (Edhasa: Barcelona, 2001), pág. 269

los estados futuros del sistema. A través de un Principio de uniformidad, la ciencia habla de un determinismo con el cuál construye un sistema legal de predicción y verificación.¹⁶ Pero no puede existir una ciencia que no sea determinista. Esta es por definición determinista ya que crea conocimiento a partir de la posibilidad de una determinación, ya sea causal, estadística, etc.¹⁷

- La causalidad necesaria y el determinismo han sido considerados en muchas ocasiones conceptos análogos. Más específicamente, el determinismo mecánico es la forma que ha adoptado la causalidad necesaria. Pero esto no quiere decir que todo determinismo requiere ser causal; también puede existir un determinismo construido sobre bases no causales. Análogamente a los diferentes tipos de determinismo, la causalidad presenta variaciones en las que es necesario hacer una importantísima separación para que quede claro el objetivo de esta investigación. La variación a la que se referirá aquí es la causalidad necesaria, el cual es un principio epistemológico y no ontológico como lo es la causación.¹⁸

De igual forma, es preciso hacer una diferencia entre la ontología y la epistemología de la causalidad. La causalidad es un principio ontológico, mientras que la causalidad necesaria es un principio epistemológico. La diferencia se encuentra en que la causalidad necesaria así como en el determinismo mecánico tiene lugar la legitimación universal del conocimiento del funcionamiento de un proceso, mientras que la causalidad ontológica -

¹⁶ Es importante notar que no solamente surge un tipo de determinismo; es posible hablar tanto de un determinismo causal, uno estadístico, uno oculto, uno estricto, etc.

¹⁷ Para Miguel de Espinoza, por ejemplo, el determinismo en la ciencia es la conquista y no lo dado, con lo que la ciencia se construye. El determinismo es la condición de la ciencia al tener a la causalidad como el principio inteligible en la naturaleza. Por esta razón, la causalidad funciona como principio para buscar y el determinismo como el estandarte de la búsqueda (Espinoza, 2006: 199).

¹⁸ A esto explica Capek que el concepto de imposibilidad y de necesidad causal están relacionados íntimamente para el pensamiento clásico ya que los dos parten de un mismo axioma: *todo lo que debe de suceder sucederá y todo lo que no puede suceder, no sucederá*. No existe un punto medio en el mecanismo del pensamiento clásico entre necesidad e imposibilidad. La contingencia y la posibilidad, dice Capek, eran solamente etapas de ignorancia hacia un conocimiento total y determinado (Capek, 1961: 309).

causación- no requiere una justificación epistemológica de la expectativa de certeza de su predicción. El determinismo mecánico, así como la causalidad necesaria, incluyen una valoración de certeza y/o verdad en cada una de sus predicciones. La eficacia del determinismo mecánico proyecta una indubitabilidad de la ontología de la causalidad sin tener que justificar su epistemología.

Siendo el tema de esta investigación el acceso a la causalidad, deseo dejar en claro que es la causalidad necesaria y por lo tanto el determinismo científico a los que haré referencia posteriormente. Considero de poca utilidad hacer un ataque a la causación y a la eficacia mecánica frente a la innumerable cantidad de pruebas que certifican que esta, la causación, es constante y uniforme tanto en la cotidianidad como a través del método científico. Sin embargo, es de gran relevancia estudiar las dificultades contra las que se encuentran la causalidad necesaria y el determinismo científico debido a su origen epistemológico.

Si la ciencia es intrínsecamente determinista, ¿quiere decir esto que sea causalmente necesaria? ¿Es indispensable que exista una necesidad para poder encontrar, como dice Espinoza, modelos inteligibles acerca del universo? (Espinoza, 2006: 74). O también, ¿es posible de hablar de una necesidad sin tener que hablar forzosamente de una causalidad? Antes de responder a esto, es preciso hablar de algunas de las implicaciones de una determinación causalmente necesaria, ya que es en el universalismo de la causalidad a través de las leyes mecanicistas donde es evidente la característica de necesidad en la determinación científica clásica. De esto trata el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 3

La era laplaciana

Pienso que no hay mejor manera de ilustrar el determinismo científico que con el pasaje de Laplace, mostrando el paso que se da desde la causalidad al determinismo científico:

“Así pues, hemos de considerar el estado actual del universo como el efecto de su estado anterior y como la causa del que ha de seguirle. Una inteligencia que en un momento determinado conociera todas las fuerzas que animan a la naturaleza, así como la situación respectiva de los seres que la componen, si además fuera lo suficientemente amplia como para someter a análisis tales datos, podría abarcar en una sola fórmula los movimientos de los cuerpos más grandes del universo y los del átomo más ligero; nada le resultaría incierto y tanto el futuro como el pasado estarían presentes ante sus ojos”.¹⁹

Durante la constitución de la Mecánica clásica se estableció la ambición universalista de la ciencia. La ciencia predecía y verificaba constantemente, haciéndose más ambiciosa en cada paso que daba: el científico observaba que el universo funciona regularmente, y así podía seguir prediciendo y verificando. Es en cada verificación que la ambición universalista de la ciencia clásica se justificaba y legitimaba.

Esta ambición no es única de la Física newtoniana. Es cierto también que esta ambición forma parte de la cotidianeidad del acrecimiento de conocimiento. Pero es en la Física newtoniana en donde por fin, el hombre creía tener las herramientas para sentirse confiado en que el conocimiento que generaba realmente era coherente con el funcionamiento de la universo más allá de su espacio experiencial. Esta expectativa ya estaba presente desde Seneca, quién comentó que un día llegaría en el que debido al estudio de varios siglos,

¹⁹ Laplace [1985], op. cit., pág. 25

todo lo oculto se presentará evidente, lo cual creará un asombro general acerca del cómo todo fue oculto y lejos de nuestra comprensión en un primero momento (Laplace, 1985: 27).

Lo que quiero hacer notar son dos ideas: la primera es la creencia de la posibilidad de un conocimiento absoluto del funcionamiento del universo; y segunda, es la creencia de que la ciencia algún día pueda personificar a este observador total del universo.

- El universo de Newton abrió las puertas a esta concepción determinista. Las llaves fueron el espacio y el tiempo ilimitados, infinitos, homogéneos y uniformes. Estas propiedades espaciales y temporales guiaron a la ciencia hacia al determinismo científico, y dieron pie a un anhelo universalista originado por la causalidad necesaria y sus consecuentes sistemas legales-matemáticos-universales. (Reichenbach, 1973: 116).

De esta manera, la ciencia newtoniana ya anhelaba personificar el papel de la inteligencia supernatural a través de su determinismo mecanicista, el cuál conjuntaba la determinación matemática y la causalidad necesaria. En la conjunción de la experiencia y la matemática, la Física newtoniana creó un método con el cual producir un sistema legal que prometió ser aplicable a todo el universo, y que al mismo tiempo era renovable conforme la predicción y verificación de eventos se hacía más adecuada. Con cada renovación, la expectativa de conocerlo todo se hacía más real.

En la Mecánica newtoniana los cambios o movimientos del universo pueden representarse en un plano matemático de espacio y tiempo absolutos. En tal plano existen una infinidad de movimientos y por lo mismo, una infinidad de series causales. Un observador de los planos matemáticos es análogo a la inteligencia infinita laplaciana. El observador puede conocer tanto el comportamiento del movimiento como el punto final de una serie causal solamente con saber el funcionamiento regular del movimiento y su punto inicial. El

observador podría considerarse omnisciente del plano matemático, así como la inteligencia infinita lo es para el universo fenoménico de Laplace.

El determinismo científico de la Mecánica clásica reduce todo proceso causal a cambios de posición, dentro de un tiempo específico, de los fenómenos localizados en puntos iniciales y en puntos finales; todo esto representado en un plano matemático. El determinismo crea sus leyes a partir de estas relaciones. Poincaré explica:

“Siendo la ley una relación entre el antecedente y el consecuente, nos permite igualmente deducir el consecuente del antecedente, es decir, prever el porvenir, y deducir el antecedente del consecuente, es decir, concluir el pasado del presente”.²⁰

Una de las tareas de la Física es la traducción de los procesos teóricos en relaciones de adecuación entre predicción y verificación en la experiencia. Si tal relación se produce entre predicción y verificación, y esta se ajusta a su representación en el plano matemático, se revela el éxito en la unión de la matemática y de la física experimental. Poincaré, demuestra la sencillez con la que se pudo llegar a leyes verificables gracias a la predicción teórica-matemática en la ciencia clásica, explicando, por ejemplo, que el astrónomo que conoce la situación actual de los astros puede deducir su situación futura así como deducir su situación pasada (Poincaré, 1964: 23-24).

El método científico es el modelo representativo de la transformación de la inducción a través de la experiencia a la deducción basada en la lógica. Explica Reichenbach que el momento en el que la experiencia cotidiana es prevista mediante métodos matemáticos, la creación de sistemas legales se justifica no solamente en la lógica sino en la experiencia. Las leyes basadas en la matemática ordenaron y predijeron el futuro. De esta forma la inducción dio el paso hacia la deducción universalista resultante del método hipotético-deductivo (Reichenbach, 1973: 114-115). La deducción a través de la hipótesis tiende al universalismo, o como diría Février a un *Principio de alcance universal*.

²⁰ H. Poincaré, *Filosofía de la ciencia* (UNAM: México D.F, 1964), pág. 23

Las condiciones estaban dadas: el espacio y el tiempo se representaban en el plano matemático, la predicción de comportamientos se afianzaba gracias a la matemática y la adecuación en la verificación de las mediciones se precisaba mayormente conforme se mejoraban los instrumentos de medición. La situación estaba dada para lograr construir eventualmente un sistema en el que el universo pareciera perfectamente regular ante los ojos del hombre; se vislumbraba la llegada de un armazón con el que el hombre enjaulara todo comportamiento fenoménico de la naturaleza. Este armazón fue el determinismo científico.

Reichenbach ilustra el determinismo de la ciencia al comparar el universo con un reloj que marca inexorablemente cada momento (Reichenbach, 1973: 117). Así, el observador del reloj conoce el funcionamiento en todo momento del reloj, sabiendo de antemano las posibilidades del mismo; el reloj está determinado a funcionar de una forma regular y específica. La relación entre la inexorable matemática y el poder verificativo de la Mecánica clásica brindó muchas alegrías además de esperanzas para crear finalmente un sistema regidor de la naturaleza. Un sistema basado en un determinismo de tipo laplaciano.

Se encontraban constantemente avances científicos que reemplazaban los conceptos dogmáticos religiosos y míticos. El conocimiento humano se ampliaba a pasos agigantados bajo el techo de la matemática. Con cada descubrimiento, el conocimiento del hombre crecía no de forma aritmética sino exponencialmente. El conocimiento se convertía en una frontera superada continuamente por el mismo.

Durante el siglo XIX la ciencia presumió conocer el *cómo* llegar al universalismo: el determinismo científico. El *cuándo* permanecía siendo el faltante para la formulación de la ecuación del funcionamiento del universo. Sin embargo, se creía que para el llegar a conocer el *cuándo*, paradójicamente hablando, era solamente cuestión de tiempo; sobre todo gracias a dos factores: al desarrollo de teorías más adecuadas y a la producción de

instrumentos más precisos. Es toda esta composición la que generó la expectativa universalista de la ciencia.

Poincaré también identifica tal ambición en la constante búsqueda del reemplazo de leyes más aproximadas a un funcionamiento regular del universo. Para Poincaré, toda ley particular no será más que solamente aproximada, lo cual no es una verdad oculta para la ciencia, pues conforme avanza, la ciencia se da cuenta que muchas de sus leyes son reemplazadas por nuevas leyes más aproximadas o más probables. Las leyes son entonces provisionales pero esto también quiere decir que son más exactas y más cercanas a una probabilidad de la certeza (Poincaré, 1964: 21).

- La condición primordial en la búsqueda de una ley que determine la regularidad de algún proceso causal no es su certeza ni su veracidad, sino la adecuación y correspondencia entre su predicción teórica y su verificación experimental. La ciencia reemplazaba viejas leyes con nuevas, más adecuadas y más aproximadas. Asimismo, la ciencia no encontraba aún un límite que frenara su ambiciosa investigación. Los únicos límites que encontraba se relacionaban con las limitaciones humanas; limitaciones tales como la capacidad de medición y de verificación, y la capacidad de deducción en la elaboración de nuevas leyes universales.

Sin embargo, ha pasado mucho tiempo desde aquella esperanzadora ciencia y aún no se ha llegado a su objetivo inicial. Es más, el camino ha encontrado obstáculos de tal envergadura que han obligado a la ciencia a escoger rutas alternas, desviándose de su meta universalista. La esperanza con la que partió la ciencia ha visto en el siglo XX los límites que no podrá superar. Estos límites son insuperables por *principio*: por más que se acerque la ciencia a uno de estos límites, más difíciles serán los límites de flanquear. La ciencia enfrentaría la infranqueabilidad de ciertos límites epistemológicos a pesar de los esfuerzos que haga y a pesar mejorar sus herramientas. Estos límites los dará la misma ciencia. Por

ende, la esperanza por el armazón absolutamente regulador se convertiría en una esperanza sinsentido.

En los siguientes capítulos hablaré de los límites que ha encontrado la ciencia. Asimismo, expondré las rutas alternas que se han intentado dar en la presencia de estos obstáculos infranqueables. ¿Contendrán estas rutas alternativas la firmeza que necesitaba la ciencia clásica para alcanzar el universalismo? ¿Serán ellas capaces de proveer la suficiente fuerza a la estructura de la ciencia para hablar de leyes deterministas acerca del funcionamiento del mundo? Para esto, es necesario explicar cuáles fueron y han sido hasta ahora los obstáculos infranqueables y las consecuencias que estos han provocado en la ciencia. Con el primer ataque de Hume al Principio de la causalidad necesaria comienza el fin de la *era laplaciana* y la instauración de *la sombra de la causalidad necesaria*.

PARTE 2

EI PRIMER ROMPIMIENTO CON LA CAUSALIDAD NECESARIA

CAPÍTULO 1

La ciencia ve la sombra de la causalidad: David Hume

Este capítulo tratará primordialmente de dos temas:

- a. Mostrar el alejamiento que se da entre la causalidad necesaria y el determinismo científico en la eficacia de la ciencia.
- b. Esbozar algunas respuestas que se han dado a dicho conflicto de acceso epistemológico, tomando en cuenta un alejamiento entre la ontología y la epistemología de la causalidad.

El estudio de la historia de la causalidad brinda los recursos para argumentar que la ciencia choca con el requisito filosófico de justificación de la causalidad necesaria y del determinismo mecánico, al momento de intentar universalizar la eficacia de las leyes científicas. Explicaré algunos de los problemas de verificación y comprobación que la ciencia adquiere en la justificación de una manutención del determinismo científico. Concluiré el capítulo con la explicación de las implicaciones que acarrea el conflicto epistemológico de la causalidad necesaria en la ciencia, no sin antes haber hecho un análisis crítico de distintas respuestas que se dieron tanto al problema de Hume como a los problemas de verificación de la ciencia.

Debido a la fuerza y a la amplitud de la argumentación de Aristóteles, es posible argüir que es su explicación de los cuatro tipos de causas, el primer intento amplio por dilucidar la razón ontológica de la causalidad. No obstante, el estudio de Aristóteles no solamente trata de la causalidad sino que en realidad trata de una conjunción entre la ontología y la

epistemología de la causalidad. Para Aristóteles, la causalidad es una suma de la eficacia causal y de determinación epistemológica de la causalidad. Esto provoca que el análisis resulte amplio pero al mismo tiempo de poca utilidad para el estudio de la justificación epistemológica de la causalidad necesaria dentro de las leyes mecánicas de Galileo, Kepler y Newton entre otros. Si bien Aristóteles pretendía conocer qué es la causalidad, no distinguía entre la eficacia de un proceso fenoménico y la capacidad de obtener una creencia de certeza acerca de la predicción de un fenómeno causal.

Es con la llegada del giro a la epistemología de los racionalistas y empiristas, con la que se cuestionó por primera vez el acceso epistémico y epistemológico a los objetos del mundo. También durante este periodo comienza la metodología de la ciencia a generar leyes capaces de predecir adecuadamente el comportamiento de los fenómenos de la naturaleza. No iba a pasar mucho tiempo sin que alguien se cuestionara por la justificación epistemológica de la eficacia de las leyes mecánicas. Este proceso se originó con el cuestionamiento de los procesos causales simples pero afectó inmediatamente a la ambición de metodología científica. Esta crítica tuvo su origen en manos de David Hume.

Antes de comenzar con la exposición del conflicto inductivo de Hume, es primordial hacer notar un punto que mencioné anteriormente: la diferencia entre la ontología y la epistemología de la causalidad. Si bien en Aristóteles el objetivo de su argumento era conocer la ontología de la causalidad, la forma por la que realizó dicha argumentación fue epistemológica. Aristóteles quiso explicar la causalidad asumiendo de antemano que la causalidad no solamente requería, sino implicaba, la conexión entre una causa y su efecto. Aristóteles no hizo una diferencia explícita entre el conocimiento de la causalidad y causación. En cambio, Aristóteles asumió la ontología de los nexos causales para poder explicar las formas de conocer a la causalidad. Los cuatro tipos de causas son formas de adquirir la existencia de una causalidad pero estas dan por sentado no solamente que la causación existe sino que el acceso a la causalidad es innegable; este acceso

epistemológico, a través de la causación, es implícito y tácito. Aristóteles explicó las formas de la causalidad sin dudar que esta se sustente sobre una causalidad. Pero al hacer esto, no solamente implicó que es posible el acceso ontológico a la causación sino también el acceso epistemológico a la causalidad. Tuvieron que pasar dos mil años para que alguien notara que había un error en esta forma de analizar la causalidad. Entonces llegó Hume.

Con la llegada de Hume, y acorde a la tradición empirista, se cuestionó por primera vez al acceso a la causalidad. Hume asumía, en contraste con Aristóteles, que la causalidad se encuentra en la epistemología de los procesos fenoménicos pero no allende a ellos. Es en este momento, con Hume, que comienza la separación entre la ontología y la epistemología de la causalidad. Regresaré a Hume en un momento

A través de sus leyes mecánicas, Newton, Galileo y Kepler no dudaron de la efectividad del nexo causal; este no fue su objeto de estudio. Ellos dieron el primer paso para metodizar la acumulación de conocimiento de tal forma que fuera posible producir un sistema predicativo de los procesos fenoménicos adecuado a la verificación. Y así establecieron sus leyes de movimiento. Esta creación legal se encontró aún inmersa en la preocupación ontológica del conocimiento de un proceso, es decir, se centraba en el conocer -y así predecir- el cómo y el porqué se desarrollaría un fenómeno; se buscaba una explicación del comportamiento, tanto de la forma como del origen. Así la explicación mantenía implícitamente la fuerza causal en cualquier ley y predicción.

Los errores en las verificaciones no representaban un fallo o alteración en el nexo causal sino únicamente un error en las predicciones realizadas. La revisión del fallo se localizaba en la predicción y nunca en la epistemología de la fuerza causal. La predicción a partir de la ley mecánica no solamente implicaba la constancia de la eficacia en la causalidad sino que también asumía, como para Aristóteles, un acceso a su epistemología. Este acceso se daba en la verificación de las predicciones. Es por este motivo que en la Mecánica clásica

la ontología de la causalidad fue vista de la misma forma que su epistemología. No fue, repito, sino hasta el giro de la filosofía a la epistemología que la preocupación de la filosofía también viró por fin a la percepción y/o entendimiento de la causalidad misma.

- En el rompimiento que se da en Hume la filosofía requiere de la ciencia una justificación para las pretensiones de alcance que tiene la ciencia con sus sistemas legales. Hume requería la presencia predictiva y de entendimiento del observador para hablar de la causalidad necesaria mientras que la Mecánica clásica prefería hablar de un universo objetivo, haciendo del entendimiento del observador un factor contingente. La causalidad en la Mecánica clásica no diferenciaba en su estudio de procesos fenoménicos a la causación fáctica de la causación cognoscible; el determinismo de la ciencia los hacía indistinguibles.

Cabe mencionar que la ciencia no paró en su avanzada a pesar de encontrarse frente al requisito humeano. El andar científico se expandía conforme se hallaban nuevos descubrimientos, y así se extendía la concepción determinista de la ciencia. Esta eficacia científica tan exitosa -a nivel óptico de la causalidad- representó la mejor respuesta durante casi dos siglos al requisito epistemológico de Hume. No es más que una obviedad el decir que lo hizo de manera rotunda.

Sin embargo, fue con la llegada del establecimiento de la velocidad finita de la luz que la ciencia volvió a encontrar otro requisito de justificación epistemológico de la eficacia de la causalidad; pero esta vez lo encontró dentro del lenguaje de la ciencia. Es decir, ahora la justificación requerida se tornaba en un límite epistémico para el alcance universalista pretendido por la ciencia por el uso y por las implicaciones de las leyes mecánicas.

El universo regresaba a las manos del observador. Fue en este momento en el que las pretensiones absolutistas de la Física newtoniana se descartaron y comenzó así, la

instauración de límites científicos, siendo estos límites, prohibiciones por *principio* y no restricciones en la capacidad de medición.²¹ Estos límites eran límites epistemológicos por *principio*. Sin embargo, la ciencia para no verse forzada a limitar a su causalidad, aceptó la separación entre su epistemología y su ontología. La separación entre la ontología y la epistemología de la causalidad era ahora no solamente evidente para la ciencia sino también aceptada y exigida.

La raíz de las prohibiciones epistemológicas revitalizó, argumentaré, el antiguo problema humeano de la búsqueda del conocimiento certero del observador. Lo trajo a la problemática de la física teórica. No obstante, si la raíz fue el establecimiento de la velocidad de la luz, la semilla fue el argumento de Hume contra la causalidad necesaria. Por esto, comienzo con Hume el problema de justificación de la certeza causal. Es con Hume que la filosofía se da cuenta que se encuentra ante la sombra de la causalidad y no ante la causalidad misma: la filosofía afirma que la causalidad existe aunque no puede ver más que su sombra. La filosofía solamente infiere la existencia de la causalidad a partir de la evidencia que cree tener a sus espaldas.

A su debido tiempo, argumentaré que fueron los descubrimientos de la ciencia del siglo XX los que provocaron el hundimiento de la era laplaciana. Sin embargo por ahora, es menester decir, que el comienzo de tal hundimiento tuvo lugar en el estudio de la epistemología de la causalidad de Hume. Este fue el comienzo de lo que he llamado *la sombra de la causalidad necesaria*.

David Hume y el conflicto de justificación inductiva

Aquí desarrollaré, primeramente, la forma en la que Hume edificó el conflicto epistemológico de la causalidad a partir de un empirismo radical. Hume cuestionó a la

²¹ Los axiomas cambian y por lo tanto las teorías explicativas son diferentes aun proviniendo de la física clásica.

causalidad necesaria tachándola de creencia metafísica. En segundo lugar, desarrollaré las implicaciones que hace la limitante humeana de la causalidad necesaria en la justificación de la universalidad de los sistemas legales de la ciencia.

En la búsqueda por un programa en el que se pudiera conseguir un conocimiento seguro del funcionamiento de la naturaleza, Hume, no solamente destacó a la experiencia como fuente de conocimiento sino que la aisló como la única fuente para el conocimiento certero. El programa empírico de Hume responde a su rechazo a lo que él llama falsa metafísica. Esta es para Hume la filosofía que intentaba encontrar principios últimos *a priori*. Con este programa se puede, según Hume, explicar por fin de forma inteligible el comportamiento de la naturaleza y con esto reformar la filosofía en una investigación empírica y descriptiva de la naturaleza humana. Esta forma de investigación, dice Hume, es únicamente posible a través de la observación y la experimentación.

Hume concuerda con la forma de acceso a la naturaleza de la filosofía de Locke y de Berkeley, ambos empiristas predecesores. Sin embargo, la diferencia entre el empirismo de Hume y el de otros de sus contemporáneos se encuentra en lo radical de su posición. Aun cuando Locke y Berkeley parten de la misma premisa -la experiencia como fuente de conocimiento- mantienen algunos elementos *a priori* para dar cierta coherencia a su estructura empírica: Locke sostenía una capacidad *a priori* de los sentidos de percepción mientras que Berkeley adjudicaba la existencia de un Dios organizador del universo inmaterial.

En cambio, Hume radicaliza el empirismo al negar toda implicación *a priori*. Todo conocimiento es condicionado a las impresiones producidas por los sentidos y por su posterior reflexión. Es de esta manera, y gracias a esta concepción radical del empirismo, dice Hume, que evita caer en la metafísica escolástica. Aquí está su célebre máxima en la que puso de manifiesto su estricto sistema empírico:

“Si cogemos cualquier volumen de teología o metafísica escolástica, por ejemplo, preguntemos: ¿Contiene algún razonamiento abstracto sobre la cantidad y el número? No. ¿Contiene algún razonamiento experimental acerca de cuestiones de hecho o de existencia? No. Tírese entonces a las llamas, pues no puede contener más que sofistería e ilusión”.²²

- El conocimiento para Hume se compone de dos tipos de percepciones que se distinguen por su grado de vivacidad: las impresiones y las ideas.²³ Dentro de la división de la ideas, Hume explica que estas pueden provenir de la imaginación, de la memoria o del entendimiento al relacionar ideas entre sí. En cambio las impresiones pueden provenir solamente de dos fuentes: de los sentidos externos y los internos.

Un punto de vital importancia en la epistemología de Hume, es el *Principio de copia*. Este explica que todas las ideas son copias de impresiones. Es acorde a la tesis del Principio de copia que Hume pretende rastrear los orígenes y las partes componentes de las ideas en las impresiones tanto externas como internas. De esta forma Hume piensa que se pueden responder todas las preguntas de contenido filosófico; es decir, a través de ideas e impresiones.

Es de suma importancia este Principio de copia debido a que Hume lo utiliza como filtro para lo que considera en efecto proveniente de la experiencia y lo que considera falsa metafísica. Con este principio, Hume sitúa a la experiencia como la única fuente de la cual poder extraer conocimiento, ya que de ella, se crearán las impresiones que se copiarán en las ideas. Hume establece con este principio que a pesar de tener ideas que no han sido experimentadas, como algunas ideas complejas, ellas se componen realmente de ideas simples provenientes de la experiencia.

Sin embargo, Hume acepta que no todas las ideas complejas se derivan del contenido empírico, pero ratifica que son precisamente estas ideas las que no contienen, por lo

²² D. Hume, *Investigación sobre el conocimiento humano* (Alianza: Madrid, 2004), pág. 209

²³ Hume ejemplifica que la impresión de un árbol será más vivida que el tener la idea del mismo árbol.

mismo, contenido cognitivo. Entonces, el Principio de copia se convierte también en un método o como he dicho, un filtro, para determinar qué ideas tienen contenido cognitivo y cuáles no. El Principio de copia conduce el conocimiento al único camino para Hume: la experiencia. Es el Principio de copia para Hume su primera herramienta para eliminar la metafísica escolástica y edificar por fin la *ciencia de la naturaleza humana*.

El siguiente paso de Hume fue analizar las ideas complejas para entender qué es lo que sucede cuando en muchas ocasiones al pensar en una idea, otra viene inmediatamente a la mente. Hume consideró que estas son operaciones naturales de la mente, es decir, que en las sensaciones internas unas ideas son asociadas con otras. En este tipo de operaciones mentales, Hume encontró un segundo principio en su epistemología: el *Principio de asociación*.

El Principio de asociación de ideas condensa tres fases que determinan la forma en que las ideas están conectadas entre sí. Los principios son el Principio de semejanza, el Principio de la contigüidad y el Principio de causa y efecto. El análisis del tercer principio irrumpió con una nueva forma de ver la causalidad necesaria: una forma empírica radical que descartaba la justificación del inductismo (Reichenbach, 1973: 103). El problema con el inductismo es cómo transferir la seguridad de las observaciones a las predicciones. Si bien los demás principios no son de menor importancia, esta investigación se centrará en las consecuencias que trajo la implicación del análisis empírico radical de la causalidad necesaria. Por este motivo dejaré de lado los otros dos principios.

- Los fenómenos del mundo causan impresiones en las sensaciones con las que la mente elabora sus predicciones causales. Sin embargo, la causalidad necesaria para Hume es una impresión que no proviene del mundo externo sino de los sentidos internos; esto hace que la causalidad necesaria sea contingente y subjetiva.

Anteriormente a Hume, el concepto de la necesidad causal se mantenía estrictamente en el ámbito formal, siendo indudable su propiedad eficiente. Toda causa conllevaba a un determinado efecto y la dificultad se centraba en buscar la causa primera. En cambio, Hume toma al concepto de necesidad e investiga de donde proviene, o bien, en donde se produce. Hume arguye:

“Si definimos una causa como *objeto precedente y contiguo a otro, de modo que todos los objetos semejantes al primero estén situados en relaciones parecidas de precedencia y contigüidad con respecto a los objetos semejantes al último*, podemos concebir fácilmente que no haya necesidad absoluta ni metafísica de que todo comienzo de existencia tenga que estar acompañado por un objeto tal”.²⁴

Y continúa:

“La necesidad...no consiste en otra cosa que en una impresión interna de la mente, o determinación para llevar nuestro pensamiento de un objeto a otro...La idea de necesidad surge de alguna impresión. Pero no hay impresión transmitida por nuestros sentidos que pueda originar tal idea. Luego deberá derivarse de alguna impresión interna, o impresión de reflexión”.²⁵

La idea de causalidad necesaria no es independiente de los sentidos internos -mente- y por lo tanto, pierde su carácter universalista convirtiéndose a su vez, en un hábito mental y subjetivo. La determinación o impresión interna que lleva a nuestros pensamientos a creer en la causalidad necesaria para Hume es en realidad la costumbre de ver dos fenómenos temporalmente contiguos y no otra cosa. La experiencia de la percepción de la conjunción constante entre causa y efecto hace que la mente cree esta relación; la mente nunca percibe por sí misma, según Hume, la conexión necesaria entre causa y efecto (Hume, 2005: 348). La costumbre y la memoria de la mente sustentan a la causalidad, y por lo tanto, solamente con ellas es posible la existencia de la causalidad y que es gracias a ellas que tenemos la noción de ella (Hume, 2005:368).

²⁴ Hume [2005], op. cit., pág. 256

²⁵ Hume [2005], op. cit., pág. 248

- A primera vista, el conflicto humeano en la necesidad causal parece inofensivo para la ciencia determinista. Es fácil argumentar que el conflicto que encuentra Hume es un problema psicológico de justificación de la predicción en la cotidianeidad; si se sustituye el término *causalidad* por el nombre de *costumbre en la eficacia* u otro similar, el conocimiento y su justificación podrían, al parecer, permanecer incorruptos. Inclusive, esta concepción podría ser atribuida a la ciencia positiva asumiendo las implicaciones de las limitaciones de predicción y verificación de esta ciencia descriptiva.

La predicción podría seguir siendo considerada como *habitualmente esperada* y no *necesariamente esperada* hasta que la verificación tenga lugar. El efecto seguiría siendo constante a su causa. Se podía argumentar que la diferencia es, en realidad, nominativa mas no cualitativa. Es más, se podría concluir que la ciencia positiva necesita que la mente este habituada a ciertos efectos a través de la verificación, y que es precisamente cuando la verificación no es adecuada con la predicción cuando se da un avance y una mejora en el conocimiento acerca del universo.

Hasta este momento se puede decir que el conflicto causal humeano no causa algún desajuste mayor en los pilares de la ciencia clásica. Es más, en la cotidianeidad no existe una diferencia significativa entre las implicaciones de la creencia de un hábito y las implicaciones de una ley; estas sigues siendo verdaderas mientras sean constantes. La distinción tiene lugar en la epistemología mas no en la praxis científica. No obstante, el problema principal de la epistemología humeana surge cuando se habla del paso inductivo-deductivo y de las implicaciones de un conocimiento cierto y verdadero. El problema es la certeza que presupone el método científico al transferir conocimiento percibido por las sensaciones y conocimiento generalista basado en la razón creadora de deducciones. La pregunta tiene que ver no solamente acerca del conocimiento de las predicciones sino con la certeza de las predicciones.

Estas preguntas acerca del conocimiento certero en las inducciones van más allá de la forma en la que, por ejemplo, el Sol o algún otro cuerpo celeste se mueve en relación a la Tierra o acerca de la fórmula newtoniana de la velocidad con la que un cuerpo llega al suelo. La pregunta epistemológica trata acerca del grado de confianza que puede o no llegar a adquirir un observador con la cual asegurar la eficacia de algún o algunos procesos fenoménicos que encuentra en su experiencia. Estas fueron las preguntas que se hizo Hume, y en las que ahora ahondaré.

El problema de la certeza se presenta de forma irremediable en el momento de atribuir cualidades deterministas y universalistas al conocimiento basado en la experiencia. El problema surge cuando la ciencia abandona su carácter experiencial con rumbo al universalismo de la deducción a través de una representación matemática. Si bien en la cotidianidad existe una corta, sino nula, distancia entre la costumbre y la ley, en la ciencia teórica existe, en cambio, un abismo: los hábitos y las costumbres son prisioneras de la mente mientras que las leyes y teorías escapan de la mente y buscan un universalismo. La ley pretendida por la ciencia debe de ser independiente a la mente mientras que la costumbre representa el papel antagónico. La costumbre es dependiente de la mente además de ser cambiante. Las leyes no debían serlo, por lo menos una vez que estén probadas y verificadas.

- *Chalmers*. Retomo aquí el ejemplo de Allan Chalmers en su libro *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*, para explicar el problema que creó el conflicto causal de Hume en la inducción. El ejemplo trata acerca de los pasos para poder establecer una ley que diga que “cada vez que se caliente un metal, este se dilatará”. Antes de lograr tal ley, es necesario tomar algunos requisitos en consideración. Son tres los requisitos y se pueden, dice Chalmers, expresar de esta forma: primero, para poder establecer una generalización, esta debe de constituirse por un número muy elevado de enunciados observacionales (premisas); segundo, las observaciones del efecto deben de repetirse en una amplia

variedad de condiciones; y tercero, ningún resultado observacional y aceptado debe de ser contradictorio a la ley que se intenta derivar (Chalmers, 2005: 43).

La ley acerca de la dilatación del metal al ser calentado se debe incluir, para poder alcanzar a ser una generalización, una serie muy grande de premisas como estas: “el metal x_1 se dilató al calentarlo en la ocasión t_1 ”, y “el metal x_2 se dilató al calentarlo en la ocasión t_2 ” y muchas más similares a estas. Esta condición puede ser cumplida fácilmente por una generalización inductiva.

El segundo requisito puede ser también fácilmente cumplido: el metal x_1 se dilato al calentarlo en ocasión t_1 bajo la condición c_1 , y consecutivamente hasta alcanzar un número suficientemente grande para llegar a una generalización inductiva. El problema se presenta en el tercer requisito, justo como sucede en la justificación de la causalidad necesaria.

El tercer requisito tiene una característica formal que implica una extensión mayor a la experiencia. En otras palabras, para cumplir el tercer requisito es necesario haber conocido de antemano el resultado de todas las experimentaciones del pasado y del futuro. Este es un requisito lógico que no puede ser cumplido por la inducción. Toda ley determinista-mecanicista requiere este paso para transformar una inducción en una deducción y por lo tanto, en una generalización. Explica Chalmers:

“Las leyes científicas generales van invariablemente más allá de la cantidad finita de la evidencia observable que puede soportarlas, y ésta es la razón por la cual no pueden nunca ser probadas en el sentido de ser deducidas lógicamente de dicha evidencia”.²⁶

Si las leyes no pueden ser deducidas lógicamente, y esta es la forma en la que adquieren su universalismo, entonces, ¿cómo se justifica dicho universalismo? Regresando a la pregunta de cómo puedo asegurar que mañana saldrá el sol nuevamente como lo ha hecho hasta ahora, esta se puede traducir en términos de certeza que las leyes pretenden en, ¿en dónde

²⁶ A. F. Chalmers, *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* (Siglo XXI: Madrid; 2005), pág. 42

puedo encontrar la certeza de las leyes si estas son dependientes a la experiencia, la cual es por antonomasia falible? O ¿cómo puedo saber si una ley será siempre cierta? La respuesta que daría Hume a este problema es que en ningún lugar puede haber dicha certeza hasta que la evidencia sea experimentada.

- Popper, ya en el siglo XX, trató de dar respuesta al conflicto de la inducción aquí referido. No ahondaré por ahora en la respuesta que dio; sin embargo, lo que quiero hacer notar es la persistente preocupación que tuvo el problema humeano aún dos siglos después de su instauración. Comenta Popper:

“...desde un punto de vista lógico dista mucho de ser obvio que estemos justificados al inferir enunciados universales partiendo de enunciados singulares, por elevado que sea el número; pues cualquier conclusión que saquemos de este modo corre siempre el riesgo de resultar un día falsa: así, cualquiera que sea el número de ejemplares de cisnes blancos que hayamos observado, no está justificada la conclusión de que *todos* los cisnes sean blancos”.²⁷

Añade Popper que estas dificultades son insuperables y explica que a partir de Hume, debería de ser fácil ver la incoherencia en la validez al elevar el Principio de inducción como si fuese un enunciado universal. El problema radica en la justificación de la verdad del principio ya que para realizar esta justificación, es preciso suponer un Principio de inducción de orden superior y así sucesivamente sin poder salir de una regresión inevitablemente infinita (Popper, 2004: 29).

A esta argumentación, para terminar, quisiera sumar un ejemplo cómico atribuido a Russell para explicar el error en justificar la generalización de las inferencias inductivas. Ilustra Russell que un pavo es alimentado a las nueve de la mañana durante varias semanas. El pavo se da cuenta de esto y hace una inferencia inductiva. Tras una multiplicidad de evidencia pasada, el pavo infiere que la evidencia le indica que sería alimentado a la siguiente mañana a la misma hora. Esta inferencia es correcta hasta la

²⁷ K. R. Popper, *La lógica de la investigación científica* (Tecnos: Madrid, 2004), pág. 27

víspera de la navidad, en la que en vez de ser alimentado, le cortaron el cuello (Chalmers, 2005: 42).

Este simpático ejemplo ilustra lo falible que es hacer generalizaciones a partir de una serie de observaciones, no importando el número de observaciones hechas. Este ejemplo también ilustra lo falible de la creencia en la existencia de dichas universalidades provenientes de la inducción, cosa que hace continuamente la ciencia en su creación legal.²⁸

- Como se ha visto ahora, para contrarrestar el problema de la inducción se intenta justificar el Principio de inducción recurriendo a la lógica y a la eficacia científica. Pero la lógica no funciona para dicha justificación, y la única forma que se justifique con la experiencia es haciendo una regresión infinita. Por lo tanto, creo que el problema de justificación en la certeza de la predicción persiste como un límite en el acceso a la verificación de la causalidad necesaria.

Este es el límite que levantó la epistemología de Hume: la inalcanzable justificación por la certeza de las predicciones. Cabe hacer hincapié en que esta dificultad es insuperable por *principio* (epistemológico en este caso) y no por capacidad. El hombre podrá asegurar que una conexión causal es necesaria solamente después de la verificación de una predicción, no antes. Por *principio*, el hombre es incapaz de obtener una certeza acerca de la realidad de los efectos aunque claro está, el hombre está completamente capacitado para predecirlos.

²⁸ Conuerdo con Russell cuando dice con respecto a esto: [e]stoy lejos de negar que pueda haber secuencias que de hecho nunca fallen. Puede ser que nunca haya una excepción a la ley de que, cuando una piedra de una determinada masa, moviéndose a una determinada velocidad, entra en contacto con un panel de cristal de un determinado grosor, el cristal se rompe... Lo que niego es que la ciencia acepte la existencia de uniformidades invariables de secuencias de este tipo, o que tenga por objeto su descubrimiento” (Russell, 2001: 257-258).

Esta situación conlleva a una contrariedad en la elaboración de leyes. Si estas leyes caen en la categoría de predicciones, se convierten inmediatamente en teorías, dejando su distinción anterior. Habiendo dejado el paraíso de las leyes, las teorías perderían igualmente sus atributos y pretensiones universales. Por lo tanto, el hombre únicamente tendría acceso a la creación teórica y quedaría incapacitado formalmente para el acceso a leyes universales, en caso de que existiesen. Comenta Reichenbach:

“El empirismo finalmente se desbarató en la crítica de Hume porque no pudo explicar la naturaleza predictiva de la ciencia; no pudo explicar cómo podríamos conocer el orden estrictamente causal del mundo, de cuya existencia el científico estaba seguro pretendiendo conocerlo al menos en sus líneas generales”.²⁹

Hume se percata de la prueba infranqueable que ha creado y observa:

“¿Cómo no nos vamos a sentir defraudados cuando acabemos comprendiendo que esta conexión, vínculo y energía yacen simplemente en nosotros mismos, que no consisten en otra cosa que en la determinación de la mente, adquirida por la costumbre, y que es esta determinación quien nos lleva a pasar de un objeto a su acompañante habitual, y de la impresión del uno a la idea vivaz del otro?”³⁰

Este es un problema creado a través de la filosofía especulativa en la epistemología de las propiedades de la ciencia, sin embargo, expondré dentro de poco algunos problemas que tuvieron su raíz no en la especulación, sino en la predicción de la experimentación: la velocidad finita de la luz, las singularidades a partir del concepto de la Relatividad general de Einstein, y el Principio de indeterminismo propuesto por Heisenberg. Así, se definirá si es posible que la autorregulación hace la ciencia pueda mantener sus propiedades deterministas o en su defecto, se vea en la necesidad de modificar sus pilares fundamentales. Por esta razón, cabe preguntar si la ciencia puede ser indeterminista si es que la autorregulación de la ciencia no es suficientemente poderosa para que esta conserve su ambición universalista. Es menester continuar con esta investigación para conocer

²⁹ H. Reichenbach, *La Filosofía Científica* (Fondo de Cultura Economía: México D.F., 1973), pág. 117

³⁰ Hume [2005], op. cit., pág. 374

primero la envergadura de los obstáculos e intentar conocer si son realmente infranqueables para una ciencia autorregulable.

- El problema que hizo evidente Hume al encontrar la incertidumbre en la experiencia de la causalidad necesaria no permaneció gran tiempo sin respuesta. La ciencia no fue ciega a esta problemática, tampoco lo fue la filosofía y por este motivo, desarrollaron caminos alternos con el fin de brindar algo de luz a la búsqueda por la certeza para la ciencia.

El objetivo de la ciencia seguía estando claro: si el funcionamiento del universo era determinista, la ciencia podría ser universalista. En favor de esta creencia, cabe decir que el universo efectivamente seguía realmente cierta regularidad, por lo tanto, la ciencia debería ir por buen camino. La ciencia mantenía que a pesar de ser la causalidad necesaria inaccesible a la experiencia humana, la causalidad necesaria representada en el determinismo científico regía aún al funcionamiento del universo. Solamente era cuestión de tiempo para que la ciencia lograra desarrollar una herramienta o una prueba más sólida que estableciera por fin la existencia del determinismo. Con esto en mente, la ciencia y la filosofía encontraron caminos alternos que evitaban el obstáculo epistemológico creado por Hume para poder continuar legítimamente su camino.

CAPÍTULO 2

Respuestas al límite epistemológico de la causalidad necesaria

El conflicto humeano no desanimó, ni mucho menos, al espíritu determinista de la ciencia. La ciencia permanecía eficaz en el acrecentamiento de conocimiento. Sin embargo, mientras el requisito de justificación de la causalidad necesaria no fuera satisfecho, la ciencia no podía responder contundentemente a preguntas por la certeza de la predicción, como por ejemplo, ¿porqué el Sol debía salir mañana y no podía suceder de otra forma? La ciencia no podía hablar de generalidades, ya ni siquiera en las conclusiones sino desde las premisas mismas. La ciencia sabía que el sol saldría mañana y sabía inclusive a qué hora lo haría pero la conclusión “el Sol saldrá mañana porque siempre ha salido y no hay razón para dudarlo”, no dejaba satisfecho al requisito epistemológico de la filosofía.

Una pregunta saltaba a la vista: ¿cómo sabe la ciencia que un evento no puede suceder de otro modo? En algún momento pasado la ciencia también supo, sin dudar, que todos los cisnes eran blancos y que la tierra era plana; es más, la ciencia supo que la tierra estaba fija y que se encontraba en el centro del universo. Pero todo esto cambió. Llegó un día en el que estas ideas fueron halladas incorrectas. Así, cambiaron unas concepciones. Otras se corrigieron. Pero lo más importante era notar que todo conocimiento podría también cambiar o corregirse nuevamente. Este era el temor que infligía el conflicto de la inducción en la creación de un sistema legal universal; es decir, que a pesar de sustentar al método científico con la experiencia, el conocimiento podía ser diferente al día siguiente; aunque cabe decir, no necesariamente debía de serlo. La experiencia no daba a la ciencia la

seguridad que daban las fuentes lógicas y abstractas, fijas e inamovibles. La experiencia, en comparación, traía consigo la inducción y esta al conflicto humeano.

El hombre, después de Hume, supo que no puede llegar a tener certeza en sus predicciones, sin embargo, siguió generando leyes universalistas que aseguraban, en muchos casos, una aproximación muy cercana a la totalidad de casos en la verificación de predicciones. Entonces, ¿en dónde se encontraba realmente el problema de la inducción? ¿Realmente existía tal problema cuando se contrastaba este conflicto con el éxito continuo en la eficacia de las leyes científicas?

El conflicto de la inducción es importante porque cuestiona la seguridad que le atribuye la ciencia a la experiencia. Si la ciencia justificaba su veracidad en la observación, entonces también debía entender que esta justificación traía consigo el problema inductivo. El método científico no podía deshacerse del conflicto humeano sin renunciar al mismo tiempo a la inducción, lo cual sobra decir por obviedad, no podía hacer sin dejar de ser el estudio de la naturaleza.

Entonces, ¿cuál es la solución al problema, si es que existe? A esta pregunta dedicaré este capítulo en el que mostraré algunos de los intentos por sobrepasar lo que creó Hume. He mencionado anteriormente que Hume trató de responder al problema inductivo aceptando las limitaciones de la inducción. Hume propuso un cambio conceptual de la causalidad necesaria transformándola en una capacidad natural humana con la que la mente se acostumbra a percibir ciertos nexos o asociaciones causales y a distinguir gracias a la memoria, los que no lo son.

Hume habla de la costumbre en la memoria de los hombres como el hilo conjuntor entre causas y efectos.³¹ Pero tanto este hilo como el acceso a tal unión, dice Hume, son contingentes. Esta idea de contingencia contradice el determinismo objetivo de la legalidad causal que supone la ciencia newtoniana. La ciencia no podía basar sus leyes en la costumbre ni en la memoria de los hombres ya que pretendió desde su inicio basarse en una realidad objetiva e independiente. Por este motivo, la respuesta humeana no tuvo mayor aceptación ni obtuvo la trascendencia que en cambio había tenido el conflicto con la causalidad necesaria.

Es también cierto que la respuesta que da Hume resulta sino chocante, un poco decepcionante aun para la pretensión de entendimiento causal en la cotidianeidad; en verdad, como adelantó Hume, resulta defraudante conocer que el pegamento de la causalidad es costumbre solamente y no más. La ciencia buscaba confiar en sus predicciones pero la costumbre humeana definitivamente no brindaba la seguridad requerida.

La ciencia newtoniana se basó en un primer momento en la relación causal necesaria para levantar leyes deterministas. La creación legal, basada en la experiencia, partía de la inducción y la enumeración de fenómenos para poder crear una proposición generalizadora.³² Hablaré de una posición positiva de la ciencia y por lo mismo metódicamente inductiva, la cual tiene a su vez una estructura lógica ayudada por el método deductivo. A esta concepción, si bien no la limito como otros autores a ser una

³¹ Es menester establecer que es la costumbre el hilo que une ciertas causas con determinados efectos, ya que como he dicho antes, Hume no duda de la causalidad en la experiencia o en la naturaleza, ni de la regularidad de ella, sino del conocimiento de la uniformidad de la naturaleza por parte del hombre. Es decir, Hume acepta la causación pero niega la causalidad necesaria.

³² En esta discusión presupondré, como he hecho a lo largo del texto anterior, sencillamente que la teoría, y por ende, la creación legal deviene de la experiencia. Es una conceptualización que puede considerarse simplista o hasta caricaturesca de la concepción legal científica, pero será útil para iniciar a discusión entre las diferentes respuestas al problema humeano.

colección de conocimiento, sí la sujeto al andamiaje de la inferencia inductiva y a la deducción por enumeración generalizadora.

Tampoco deseo entrar en la discusión acerca del orden primordial de la estructura científica entre experiencia/observación y teoría. Me refiero al debate de situar si la ciencia crea teorías anterior o posteriormente a la experiencia u observación de fenómenos. Creo que este debate no es pertinente para la investigación en curso, además de que se puede dirigir la misma discusión del conflicto inductivo a cualquiera de las dos posiciones siempre y cuando se considere la teoría y la experiencia como dependientes mutuamente de un sistema legal que pueda regular y comprender la uniformidad del universo. Una vez aclarada mi posición, retomo el camino para esclarecer algunas respuestas que se han dado al conflicto inductivo.

Existen varias formas de responder a la cuestión de la justificación de la inducción. Una forma es buscar o crear la justificación, otra es olvidarse de la justificación, y otra es aceptar la imposibilidad de tal justificación.³³ La justificación se puede intentar resolver, disolver o aceptar; tres respuestas que parecen simples pero que han dado de que hablar durante más de dos siglos sin llegar a ningún acuerdo ni general ni durable entre filósofos. Explico a continuación algunas de los argumentos para tomar uno u otro camino y los problemas que contraen las distintas tentativas. Por ahora, expondré la posición a la que Wesley C. Salmon considera como *disolución*, de la cual, como se verá más adelante, surgen varias ramas que intentan dar respuesta al conflicto humeano de diferente forma.

a. Naturalismo

La respuesta de Hume acerca de la costumbre como sustento de la causalidad necesaria no tuvo aceptación alguna; no obstante, Hume tenía un as bajo la manga al escribir su

³³ Repito que estoy simplificando las divisiones con el objetivo de hacer más clara la exposición.

Tratado, su *Abstracto* y sus *Investigaciones*, que provocaría mayores reacciones y sustentaría otra respuesta al conflicto inductivo. Este as fue la semilla de lo que eventualmente se convirtió, gracias al trabajo de Norman Kemp Smith, Quine y Peter F. Strawson entre otros, en lo que es conocido hoy como Naturalismo.

El origen del Naturalismo se da en Hume y por esta razón, es considerado Hume el primer epistemólogo naturalista. Hume encontró que debía de existir alguna razón para que en el entendimiento, aun sabiendo que no se podía conocer la causalidad necesaria, perdure la creencia de causalidad. Comenta Hume que aun cuando el entendimiento, por sí solo sea autodestructivo -escéptico- es la naturaleza la que hace que la mente humana continúe realizando juicios (Hume, 2005:375-376).³⁴ La inferencia de juicios acerca del funcionamiento cotidiano del mundo es una propensión natural, dice Hume, y es gracias a esta propensión que el entendimiento no cae en una prisión escéptica.³⁵

Al sistema basado en la suma de propensiones naturales propuesta por Hume se le llamó Naturalismo. Norman Kemp Smith al igual Peter F. Strawson identificaron una discrepancia en el sistema filosófico de Hume con la cuál fue posible establecer el sistema con el que Hume y eventualmente otros filósofos respondieron al argumento escéptico en la epistemología de la causalidad: la propensión natural.

³⁴ Es decir, la mente se da cuenta de su incapacidad para establecer leyes universales, sin embargo, continúa realizando juicios. Y esta, dice Hume, es una capacidad natural. Escribe Hume: “[l]a naturaleza, por medio de una absoluta e incontrolable necesidad, nos ha determinado a realizar juicios exactamente igual que a respirar y a sentir; tampoco está en nuestra mano evitar que veamos ciertos objetos bajo una luz más intensa y plena, en razón a su conexión acostumbrada con una impresión presente, más de lo que podamos prohibirnos a nosotros mismos el pensar mientras estamos despiertos, o el ver los cuerpos que nos rodean cuando dirigimos hacia ellos nuestra vista a plena luz del sol” (Hume, 2005:272).

³⁵ Hay que agradecer, según Hume, a la naturaleza que rompa “a tiempo la fuerza de todos los argumentos escépticos, evitando así que tengan un influjo considerable sobre el entendimiento” (Hume, 2005: 276); en otras palabras, es gracias a la propensión natural que tiene la mente para generar juicios que evita que la mente se autodestruya, aunque por fortuna, dice Hume, la naturaleza misma se basta para disipar las dudas que la razón no puede y evitar así, un delirio filosófico (Hume, 2005: 377).

La discrepancia que se da en Hume, comenta Strawson en *Escepticismo y Naturalismo*, es que Hume no duda en ningún momento de la existencia del mundo externo ni de la capacidad de crear juicios y inferencias. Por un lado, opina Strawson, Hume es escéptico de la creación de inferencias de necesidad causal dentro de la mente pero por otro lado expresa que ellas se dan necesariamente al experimentar la naturaleza. Estos se dan necesariamente en los hombres. Esto acerca a Hume a una posición naturalista. No obstante, existen algunos problemas con la respuesta que da el Naturalismo que no resuelven el escepticismo epistemológico de Hume. Por este motivo, ahondaré en la respuesta naturalista que ofrece Strawson contra la exigencia de justificación de la inducción.

¿Qué es lo que hace que la mente tenga creencias y haga inferencias? Hume respondió, la naturaleza. A esta respuesta se le podría fácilmente añadir el argumento del sentido común. Esto ya lo hizo G. E. Moore al argumentar contra la posición escéptica de la existencia del mundo externo. Tomando un ejemplo de Moore, la forma de conocer la existencia de sus manos es por sentido común. ¿Cómo saber que existen? La respuesta, es muy clara según Moore: aquí esta una mano y aquí está la otra.

Este argumento puede ser atribuido a la propensión natural de la creación de inferencias. A la pregunta de cómo se justifica una inducción, la respuesta del sentido común sería tan sencilla como: este evento sucederá de tal manera porque ya ha sucedido así en muchas ocasiones por mucho tiempo. El sentido común justifica su conocimiento en la cotidianidad a través de experiencias pasadas. Así justifica una *cuasi* certeza en la predicción de eventos inobservados.

El problema, como se ha sostenido en este texto, aparece cuando se habla de legalidad y del paso de la enumeración de eventos a la generalización de la cual hacer deducciones. Pero este problema puede ser solamente una confusión de términos. También puede ser

que el sentido común tenga realmente algo de razón en la forma de justificar el conocimiento causal.

¿Es posible que sea realmente el intento de justificar la inducción una confusión? Esta es la disolución de la justificación de la inducción de la que habla Salmon en su ensayo, *La justificación de las reglas inductivas de inferencia*. Tal vez, comenta Salmon explicando la posición naturalista de Strawson, el conflicto inductivo no necesita ningún tipo especial de justificación o vindicación (Salmon, 1998: 378). Explica Salmon:

“Preguntar, como Hume, si debemos aceptar las conclusiones inductivas equivale a preguntar si debemos formar nuestras creencias de acuerdo con las pruebas disponibles, y esto, por su parte, equivale a preguntar si debiéramos ser racionales. Una vez que entendemos claramente el significado de tales palabras clave, como <racional>, <probable>, <pruebas>, vemos que el problema nació de una profunda confusión lingüística y se resuelve en la pregunta de si es racional ser racional. Tales preguntas tautológicas, si es que tienen algún sentido, demandan una respuesta afirmativa”.³⁶

La confusión toma lugar cuando uno se pregunta si la inducción es un método razonable de inferencia. Es decir, la confusión surge cuando uno se pregunta por un principio que justifique la creencia de que el método inductivo sea el correcto para hacer inferencias, y eventualmente generalizaciones. Strawson responde tácitamente que esta es una pregunta carente de sentido, comparable a la pregunta de si la deducción en general es válida (Strawson, 1998: 360). Arguye Strawson que el llamar razonable o irrazonable a una creencia es ya de por sí aplicar un criterio inductivo, así como el llamar válido o inválido a un argumento deductivo, es un criterio deductivo. El llamar razonable, irrazonable, válido e inválido a determinado argumento es de por sí un uso de criterios inductivo y deductivo (Strawson, 1998: 360).

La exigencia por la justificación por la certeza surge para Strawson en el momento que se pide a la inducción que demuestre que ella es algún tipo de deducción. Pero esta exigencia

³⁶ W. C. Salmon, *La Justificación de las reglas inductivas de inferencia*, en *Problemas de la Filosofía, Textos filosóficos clásicos y contemporáneos* (Editorial de la Universidad de Puerto Rico: San Juan, 1998), pág. 379

no es otra que la misma exigencia que se le hace precisamente a la inducción originalmente. De esta manera, no existe nada que logre satisfacer tal exigencia, ya que se pide eludir, según Strawson, un absurdo para caer en otro. El absurdo es hacer pasar los argumentos inductivos por argumentos deductivos. Estos no pueden tener en ningún caso la validez deductiva. Por esta razón, argumenta Strawson, la solidez de los razonamientos inductivos debe de ser juzgada usando razonamientos inductivos, y no deductivos (Strawson, 1998: 361).

A la pregunta que dice, ¿son justificadas las conclusiones obtenidas gracias a la inducción? Strawson responde que sí y al mismo tiempo que no.³⁷ Y son justamente estas dos respuestas lo que muestra la confusión lingüística a la que se refiere Strawson que sucede con la justificación. La inducción está justificada inductivamente pero no lo está deductivamente.

La justificación que se tiene para inferir depende del éxito de inferencia en el pasado, más no, dice Strawson, de algún principio último. Cuando se tiene éxito en la inferencia, esto provoca tener una justificación para los eventos por venir mientras que cuando no son exitosas las predicciones, la justificación es nula.

Todo método que permita tener éxito en las predicciones, es decir, en eventos no observados, comenta Strawson, deberá tener contenido inductivo. La inducción trae consigo la justificación de las prescripciones. Estas prescripciones al ser exitosas, están justificadas por haber sido exitosas en repetidas ocasiones anteriores, y al mismo tiempo, este éxito servirá de demostración de prueba inductiva (Strawson, 1998: 369). Añade Strawson:

³⁷ Pregunta Strawson si son justificadas todas las conclusiones obtenidas inductivamente, es decir, si la gente siempre tiene pruebas suficientes de las conclusiones a las que llega; la respuesta a esta pregunta es fácil, mas carece de interés. Dice Strawson, “a veces la gente tiene suficientes pruebas, y otras no” (Strawson, 1998: 367).

“No estoy tratando de <justificar el método inductivo>, por cuanto a esta frase no se le ha dado sentido alguno. *A fortiori*, no estoy afirmando que la inducción se justifica por su éxito en permitir hacer averiguaciones sobre lo inobservado. Lo que afirmo, más bien, es que cualquier método que permita averiguar con éxito algo acerca de lo inobservado queda necesariamente justificado por la inducción. Esta es una proposición analítica”.³⁸

Si realmente es una proposición analítica, entonces el problema de la exigencia por la justificación esta disuelto, pues el justificar una inferencia inductiva es simplemente hacer una inducción con la cual se podrá justificar un conocimiento inobservado. La misma inducción se justifica haciendo inferencias inductivas. Por eso, dice Strawson, la respuesta puede sonar un poco trivial.

Para Strawson, toda la confusión se originó cuando se trató de hacer pasar por criterios deductivos conocimientos inductivos, pero se resuelve cuando se establece, por un lado, la propensión natural de la mente para realizar juicios y se separan los criterios de análisis deductivos de los inductivos. En otras palabras, la naturaleza hace que la mente necesariamente cree juicios -esto es indudable para el sentido común- que precisamente justifican al conocimiento expectativo y a las predicciones. La naturaleza, a partir de la experiencia inductiva, justifica las inferencias cada vez que adquiere experiencia; el futuro se justifica inductivamente por la experiencia pasada de fenómenos análogos.

La propuesta naturalista justifica la anticipación a través de la inducción al no separar los conceptos de justificación de inferencias e inducción. Para el naturalista ambos son consecuentes; lo que los hace requisitos dentro de un método que produce teorías de lo inobservado, justamente como hace el método científico. Si esto es cierto, ¿se resuelve la problemática traída por Hume?

La propuesta naturalista resulta muy atractiva ya que disuelve el problema humeano. Esta disolución libera del requisito de justificación al método inductivo del requisito de

³⁸ P. F. Strawson, *La <justificación> de la inducción*, en *Problemas de la Filosofía, Textos filosóficos clásicos y contemporáneos* (Editorial de la Universidad de Puerto Rico: San Juan, 1998), pág. 369

justificación al unir la justificación con la creencia. El creer justifica tanto la creencia inductiva como el grado de confianza de la creencia de la eficacia de las predicciones. ¿Qué implicaciones trae el Naturalismo para la caracterización del método inductivo?

Las implicaciones son: uno, no puede haber generalizaciones absolutas a partir de la experiencia; dos, no es posible lograr una identificación entre causalidad efectiva y causalidad aparente. Un ejemplo que hace visible estas dos implicaciones es la siguiente: una persona, al presentársele un problema, imagina una solución. Es justo decir que esta solución no requiere necesariamente una base observacional; la solución puede ser escogida al azar. Un tiempo después, la persona se encuentra con un problema completamente diferente y ella utiliza el mismo método de escoger la solución a azar. En las dos ocasiones, la persona ha resuelto los problemas no causalmente sino completamente al azar. La persona continua sucesivamente con su método para cada problema que se le presenta.

El problema con la forma de argumentación de esta persona es que si se confirma que todas las respuestas que ha encontrado la persona son correctas, la persona habrá encontrado, por lo menos para ella misma, un método muy confiable de encontrar respuestas a problemas sin importar si las soluciones son causales, coincidentes o contingentes.³⁹ Cuando se le pregunta a la persona cómo justifica la certeza -o cuasi certeza- de sus predicciones, la persona responde que a través de sus predicciones pasadas. Él justifica que su predicción siguiente será correcta ya que hasta la fecha lo han sido todas las anteriores. De la misma forma, la persona obtiene sus soluciones gracias a su propensión natural de creación de juicios. Esta eficacia en la predicción hace que el método sea inductivamente justificado. No obstante, existe un problema en la causalidad con esta argumentación.

³⁹ Esta causalidad no provoca diferencia si es efectiva la predicción en la totalidad o en la mayoría de los casos

El problema se encuentra en que la posición naturalista cierra la puerta al poder generalizador deductivo y a su exigencia de justificación. Para evitar la confusión entre los requisitos y capacidades del método deductivo y del método inductivo, también se requiere rechazar tanto el paso a una determinación causal -o legal- como a la legalidad. Esto hace que las inferencias, todas aquellas que puedan tanto basarse en la observación y en la experiencia como las que no, sean todas dependientes de una eficacia azarosa y subjetiva. Esto significa que la causalidad necesaria es un requisito contingente para la legalidad de la ciencia. Esta problemática no le produciría ningún daño a una ciencia que se haga llamar de concepción naturalista pero si a toda aquella que pretenda encontrar leyes necesarias y universales. La ciencia newtoniana objetiva es de este segundo tipo.

- En lo personal concuerdo con la propuesta naturalista de Strawson, al igual que con caracterización de Hume como naturalista de Norman Kemp Smith. Coincido que es una propensión natural el inducir inferencias causales. También coincido en que es un círculo lógico hablar del éxito predictivo de la inducción ya que para que un proceso poder llamarse inductivo, tiene que ser exitoso. Sin embargo, no concuerdo con Strawson en lo referente a la confusión de la exigencia de la justificación.

Me refiero a que creo que Strawson ataca la exigencia de justificación pero no observa la razón de la génesis de dicha exigencia. Esta exigencia nace del paso que hace la ciencia de la inducción a la deducción -como correctamente propone Strawson- pero no nace únicamente por una confusión sino que surge también como un requisito epistemológico para poder hablar de una universalización legal. Si se sitúa un orden de génesis entre confusión, exigencia de justificación y paso inductivo-deductivo, el primer escalón debería de ser el paso inductivo-deductivo; este provoca que se exija la justificación y que al final el Naturalismo vea una confusión. Esto es contrario a la posición de Strawson ya que él sitúa la confusión en la filosofía pero salva de culpa a la ambición científica olvidando que es la ciencia misma la que da el paso deductivo.

Un punto clave del Naturalismo es la fortaleza de la posición escéptica pero al mismo tiempo naturalista de Hume. Por un lado, el sentido común estructura la constante propensión natural de la mente para hacer predicciones y juicios y por otro lado, el escepticismo rechaza la certeza en cualquier de las predicciones y juicios. Esta es, opino, una muestra de la separación que hace Hume entre el límite de acceso epistemológico a la causalidad y la causalidad ontológica. La separación ilustra la ontología de la causalidad como una creencia natural y la epistemología de la causalidad también como una duda natural.

La mente esta predispuesta a crear juicios causales, los cuales pueden existir necesariamente, pero al igual, la mente no está capacitada para brindar certeza a sus juicios. Mientras que el Naturalismo justifica la creación de inferencias causales, el escepticismo le atribuye contingencia. Y si fuesen iguales, entonces carecería de sentido hablar de una posición escéptica. Considero que esta es la misma posición humeana escéptica y al mismo tiempo naturalista.⁴⁰

- El Naturalismo evita caer en el escepticismo pero, opino, no lo libra del requisito de justificación de la inducción, siempre y cuando la ciencia pretenda tener leyes universales en su andamiaje. Es importante añadir que del éxito que logra el Naturalismo en la concepción científica, es posible extraer algunas preguntas a las que voy a dirigir mi atención en los siguientes capítulos: ¿Por qué razón el hombre debe preocuparse por justificar la inducción cuando en la práctica, la ciencia no necesita dicha justificación?

También es importante ver que si se acepta que es imposible llegar a la certeza, entonces las leyes dejarían de ser universales aunque seguramente altamente probables; entonces,

⁴⁰ Hume dice: “[t]enemos que seguir conservando nuestro escepticismo en medio de todas las incidencias de la vida. Si creemos que el fuego calienta o que el agua refresca, esto se debe únicamente a que nos cuesta demasiado trabajo pensar de otro modo. Más aún: si somos filósofos, tendremos que serlo únicamente sobre la base de principios escépticos, y por la inclinación que sentimos a emplear nuestra vida de esta forma” (Hume, 2005: 379).

¿cuál es el problema?, ¿bastaría que fueran altamente probables las leyes, reemplazando la certeza determinista, para que se pudiera resolver la exigencia de justificación de certeza? Cerraré con esta propuesta antes de pasar con lo que considero el segundo rompimiento de la era laplaciana. No obstante, para llegar ahí falta mucho camino.

Por ahora, me detendré en las propuestas que, a sabiendas la imposibilidad por la justificación, intentan alejarse del conflicto inductivo: Falsacionismo, Verificacionismo y Pragmatismo. Estas nuevas ideologías determinaron que el impedimento que les negaba la certeza epistemológica en los procesos inductivos no traía un problema mayor sino la posibilidad de continuar el andar científico sin la carga en sus espaldas de un problema - considerado- insoluble.

En estas ideologías se aceptó y en algunos casos se reafirmó el límite de la certeza en la inducción, y se decidió dar más importancia a otros aspectos del método científico, dejando atrás el requisito de la justificación. Aspectos como la adecuación en la verificación, la creación de teorías falsables, y la eficacia de la ciencia, se pensaba, harían virar la mirada desde la exigencia por la justificación epistemológica hacia un nuevo tipo de sustento estructural de la inducción. Así surgió el Falsacionismo de Karl Popper, el Pragmatismo de James y Peirce y el Verificacionismo del Círculo de Viena. De estos voy a hablar a continuación dejando de lado su orden cronológico pero acentuando un orden temático.

b. Falsacionismo

El conflicto de la inducción logró llegar hasta el siglo XX a pesar del intento de no pocos filósofos para solucionarlo, y justificar de alguna forma la certeza argumentativa en el conocimiento. Fue Sir Karl Popper uno de los filósofos que entendió la magnitud del problema de la inducción, y decidió darle una respuesta que hasta ahora sigue permaneciendo como una de las más viables a dicho problema, no sin encontrar al mismo

tiempo ataques y variaciones. La respuesta que dio Popper en su libro, *La lógica de la investigación científica*, fue el Falsacionismo.

¿Cómo resuelve el Falsacionismo el problema de la inducción? La respuesta reside en que al seguir el criterio del Falsacionismo, la inducción científica no implica una certeza en sus teorías sino que la niega completamente. Al ser excluida la certeza *a priori*, no surgen los problemas de la justificación que surgen cuando se basa la ciencia en la firmeza de la argumentación inductiva.

Popper, a partir de su Racionalismo crítico predispuso la existencia de un límite en el conocimiento causal acorde al momento en el que se propone cada sistema legal. Popper entendió la profundidad del conflicto humeano reafirmando que éste es insoluble. Explica Popper que el problema de la inducción nace del intento de justificación al hacer pasar enunciados singulares -hechos factuales- por enunciados universales -hipótesis, teorías o leyes-; para justificar las segundas sería necesario e inevitable hacer una regresión infinita.⁴¹

El intento que hace el Falsacionismo no es un intento por resolver el conflicto causal. Tampoco, ni mucho menos, intenta justificar de alguna manera el método inductivo a través de un principio *a priori*. El Falsacionismo de Popper acepta estas limitaciones y

⁴¹ Comenta Popper: “[a]hora bien, desde un punto de vista lógico dista mucho de ser obvio que estemos justificados al inferir enunciados universales partiendo de enunciados singulares, por elevado que sea el número; pues cualquier conclusión que saquemos de este modo corre siempre el riesgo de resultar un día falsa: así, cualquiera que sea el número de ejemplares de cisnes blancos que hayamos observado, no está justificada la conclusión de que *todos* los cisnes sean blancos” (Popper, 2004: 27). Y añade: [a] partir de la obra de Hume debería haberse visto claramente que aparecen con facilidad incoherencias cuando se admite el principio de inducción; y también que difícilmente pueden evitarse (si es que es posible tal cosa): ya que, a su vez, el principio de inducción [al igual que el principio de la causalidad necesaria] tiene que ser un enunciado universal. Así pues, si intentamos afirmar que sabemos por experiencia que es verdadero, reaparecen de nuevo justamente los mismos problemas que motivaron su introducción: para justificar éstas hemos de suponer un principio de inducción de orden superior, y así sucesivamente. Por tanto, cae por su base el intento de fundamentar el principio de inducción en la experiencia, ya que lleva, inevitablemente, a una regresión infinita” (Popper, 2004: 29).

pregunta: ¿cómo es posible que a pesar de no tener una justificación de certeza, la ciencia sigue siendo tan exitosa? Popper se da cuenta que aun al no estar justificadas las inferencias de lo inobservable, la ciencia sigue produciendo leyes efectivas; continua acrecentando el conocimiento del universo. Por lo tanto, tal vez la justificación pudiese ser prescindible; tal vez la ciencia no la requiere. Sin embargo, esto no quiere decir que no se necesite alguna explicación del porque ha sido exitosa la ciencia. Aquí es donde entra de lleno la propuesta de Falsacionismo.

- El Falsacionismo de Popper retoma la fuerza de la lógica deductiva y utiliza su coherencia en la conceptualización de la investigación científica. Las teorías no tienen que justificar la eficacia necesaria -condición de la certeza -ya que el criterio de permanencia de las teorías es diferente para el falsacionista. Las teorías deben de ser temporales ya que es imposible saber que estas nunca serán mejoradas. Esto provoca que el criterio de permanencia de leyes dependa enteramente de la verificación de las teorías. Las teorías científicas deben de ser verificadas rigurosamente y cuando son correctas, sobreviven; cuando no, son desechadas.⁴²

La diferencia entre la verificación del falsacionista y el del inductivista es que el primero no aspira a una seguridad o certeza que justifique el conocimiento de la causalidad; es más, implica un rechazo a la certeza; también requiere que las teorías sean falsables de inicio y por lo tanto superables por otras superiores, mientras que el inductivista sí requiere de una justificación para poder dar el paso a la generalización. La justificación de la

⁴² En el mismo espíritu, escribe Poincaré: “[t]oda generalización es una hipótesis; la hipótesis tiene pues, un papel necesario que nadie ha discutido jamás. Solamente que debe ser siempre, lo más rápida y frecuentemente posible, sometida a verificación. Está de más decir que si no soporta esa prueba se debe abandonarla sin reservas. Eso se ha hecho en general, pero algunas veces con cierto fastidio...Y bien, este mismo fastidio no es justificado; el físico que acaba de renunciar a una de sus hipótesis debería de encontrar una inesperada ocasión de descubrimiento” (Poincaré, 2002: 189).

argumentación inductiva requiere de la comprobación del efecto predicho, cosa que es contradictoria, ya que para poder asegurar empíricamente el efecto en un proceso fenoménico, sería necesario conocer de antemano el efecto.

Popper observa que la inducción no ha encontrado una generalización permanente a lo largo de la historia de la ciencia, ya que todas las teorías han podido en algún momento ser debatidas y hasta derrocadas. Popper arguye que todas las teorías son superables por otras más precisas o más adecuadas entre predicción y verificación. Por lo tanto, ninguna teoría que pueda realmente brindar conocimiento empírico del funcionamiento del universo, puede permanecer verdadera para siempre. Todas las teorías empíricas deben de ser falsables. Explica Chalmers:

“[e]l falsacionista considera que la ciencia es un conjunto de hipótesis que se proponen a modo de ensayo con el propósito de describir o explicar de un modo preciso el comportamiento de algún aspecto del mundo o universo. Sin embargo, no todas las hipótesis lo consiguen. Hay una condición fundamental que cualquier hipótesis o sistemas de hipótesis debe cumplir si se le ha de dar el estatus de teorías o ley científica. Si ha de formar parte de la ciencia, una hipótesis ha de ser *falsable*... Una hipótesis es falsable si existe un enunciado observacional o un conjunto de enunciados observacionales lógicamente posibles que sean incompatibles con ella, esto es, que en caso de ser establecidos como verdaderos, falsarían la hipótesis”.⁴³

¿Resuelve el Falsacionismo el problema que intentó resolver? Es importante también preguntarse si la respuesta que da el Falsacionismo al conflicto de la inducción no abre las puertas a una serie de problemas de mayor dificultad.⁴⁴ En este sentido, propongo que el Falsacionismo si bien no resuelve el problema de la inducción, sí evita caer en él. Sin embargo, opino que el Falsacionismo no puede evitar, al salvarse de la primera trampa, caer en otra: una trampa en la verificación y con los instrumentos utilizados en la verificación de teorías falsables. Por eso considero que a pesar de salvarse del conflicto

⁴³ Chalmers [2005], op. cit., pág. 59

⁴⁴ Existen propuestas posteriores de Falsacionismo más sofisticadas que tratan de ampliar la discusión sobre el progreso de la ciencia. No obstante, este tema es allende al objetivo primordial de este texto.

inductivo, la propuesta falsacionista trae consigo problemas más grandes que los que trataba de resolver.

El falsacionista exige ciertas condiciones para que una teoría pueda brindar conocimiento: una de ellas es que mientras más falsable sea la teoría, mejor. Otra condición es que la observación debe de corroborar la teoría. Y la más importante es evitar el fijismo en las teorías. Ahora bien, el Falsacionismo encuentra una limitación en el momento en que la observación no se adecua a la teoría. A esta situación, es fácil atribuírsele dos opciones: una, que la evidencia es errónea y por lo tanto, es preciso realizar una mayor y mejor experimentación; y dos, que la teoría sea la incorrecta, lo cual provocaría siguiendo la lógica del falsacionista el desecho de la teoría.

¿Qué pasaría si el error realmente se encontraba en los instrumentos de medición y no en la teoría? ¿Cómo identificar en donde se encuentra el error? ¿Habría que desechar inevitablemente la teoría? Y de la misma manera, habría que preguntarse, ¿cómo saber si una teoría es falsada definitivamente, si es que esto es posible?

Todas estas preguntas hacen que la dificultad para el falsacionista no solamente sea una cuestión epistemológica de la causalidad sino también metodológica. Esto es precisamente lo que plantea Popper. Pero el problema es que la misma lógica de la investigación científica implica necesariamente una pregunta epistemológica, aunque en este caso, sobre la misma lógica de la metodología de la ciencia: ¿cómo saber que la metodología es la correcta?, ¿cómo saber si los métodos que falsan una teoría son realmente definitivos o por lo menos, lo suficientemente legítimos para descartar o mantener, temporalmente o permanentemente, una teoría? Esta cuestión vuelve a ser una dificultad epistemológica de justificación inductiva.

- El avance en el conocimiento ha demostrado que la ciencia no siguió siempre los pasos lógicos que presupuso Popper: por un lado, la ciencia no siempre desechó teorías que pudieron parecer en un principio falsadas por los instrumentos de medición del momento, y por lo tanto siguió buscando formas de corroborar esas teorías con diferentes mediciones manteniendo teorías que *sentía* que estaban en el camino correcto; y por otro lado, la ciencia desechó o se alejó de otras teorías sin la necesidad de encontrársele la falsación. Por un lado, la ciencia retuvo esperanzadamente teorías y por el otro lado, desechó ciegamente otras.

El Falsacionismo se libra del problema de justificación en la inducción pero no se libra del problema en la epistemología en el mismo método científico para evitar caer en falacias de tipo *ad hoc* o de *petición de principio* entre otras. En otras palabras, es tanto el deseo para evitar un fijismo en las leyes que la misma falsación se convierte en un proceso imposible de finalizar. Siempre habrá una manera o una posibilidad de descartar por motivos ajenos a la ciencia una falsación clara y concluyente. Sin embargo, también es importante mencionar que esto es aceptado por Popper, ya que admite que a veces la ciencia mantiene una falsación aparente. Pero entonces, ¿no se encuentran en la misma categoría el problema de justificación por la causalidad necesaria de Hume que una falsación definitiva del Falsacionismo? Los dos supuestos, opino, son similarmente problemáticos. Entonces, el Falsacionismo no logra responder enteramente sin evitar caer en la problemática humeana.

c. Verificacionismo y el Círculo de Viena

Los filósofos del Círculo de Viena encontraron una salida al conflicto humeano en la generación proposicional de los sistemas legales. Esta respuesta radicó en el Criterio de verificación de las proposiciones sintéticas.

El surgimiento en los años veinte del Círculo de Viena liderado por Moritz Schlick trajo consigo una nueva conceptualización del quehacer filosófico: este debería limitarse al análisis del lenguaje. Es a partir de la filosofía del Círculo de Viena donde surgen las raíces más sólidas de lo que se convertirá posteriormente en el giro lingüístico en la filosofía. Este giro permeará, durante casi todo el siglo pasado y hasta ahora, gran parte del quehacer filosófico del mundo anglosajón, con lo que determinará la geografía de la filosofía, al delimitar las diferencias entre la filosofía analítica y la sintética o continental.

Es menester especificar que la profundidad de la filosofía del lenguaje se aleja del propósito de esta investigación. No obstante, el tratamiento de la filosofía del lenguaje durante el Círculo de Viena es pertinente a la problemática de la causalidad necesaria. El giro lingüístico por parte del Círculo de Viena respondió a la inquietud filosófica por la clarificación y análisis de conceptos usados por la ciencia como la certeza, la verdad, el determinismo, etc.

- *Círculo de Viena.* Cabe resaltar la importancia de los nombres considerados pertenecientes al Círculo: Philipp Frank, Otto Neurath, Hans Hahn, Rudolf Carnap, Kurt Gödel, Gustav Bergmann, Viktor Kraft, Friedrich Waismann, Edgar Zilzel, Herbert Feigl, entre otros, además de considerar como invitados a Willard Quine, Ernest Nagel y A. J. Ayer. También se le asocia constantemente el nombre de Karl Popper al Círculo a pesar de que Popper nunca asistió a las reuniones convocadas por Schlick. Además, el Círculo de Viena mantenía comunicación constante con el Círculo de Berlín, liderado por Hans Reichenbach, donde se encontraba también Carl Gustav Hempel, y con el grupo de Varsovia con Alfred Tarski. Esto muestra la calidad de los pensadores que se encontraban inmersos en preocupaciones compartidas acerca de lo que debería de ser la labor y las herramientas de la filosofía (Cirera, 2005; 196).

Los miembros de Círculo compartían la idea, propuesta por Schlick, de una ruptura con la filosofía tradicional. Con la aparición del manifiesto, *La concepción científica del mundo: el Círculo de Viena*,⁴⁵ escrito por Carnap, Neurath y Hahn, en 1929, el Círculo de Viena consolidó la ambición de construir una filosofía científica. En este manifiesto se establecieron los problemas que se intentarían resolver en la investigación del Círculo. ¿Cuáles eran los problemas que intentarían resolver?

Hay varias maneras de responder a esta pregunta, ya que los problemas y sus respuestas fueron evolucionando conforme su investigación progresaba. Tampoco sus influencias fueron constantes. Por ejemplo, la influencia que tuvo Wittgenstein en el grupo y sobre todo en Schlick, solamente fue momentánea para Neurath, el cual llegó hasta rechazar eventualmente el verificacionismo y el positivismo mismo (Cirera, 2005; 197). Influenciado por Neurath, Carnap abandonó igualmente su fenomenismo y fijó una posición convencionalista para mantener una posición verificacionista.

A pesar de que las ideas e influencias dentro del Círculo podían divergir con el paso del tiempo, existieron unos cuantos elementos constantes dentro del Círculo del Viena. Estos elementos eran el establecimiento del alejamiento de los problemas metafísicos, la caracterización de los pseudo-problemas en la filosofía, y la necesidad de precisión del significado y de la sintaxis del lenguaje. Estos tres puntos en común tienen una relación directa con el conflicto de la causalidad necesaria, la inducción-deducción, su justificación y verificación, etc.

- Ayer. Pienso que para entender la contribución del Círculo de Viena al conflicto inductivo, comenzaré con dos fragmentos de *Lenguaje, verdad y lógica* escrito por A.J. Ayer después de su visita al Círculo de Viena. Dice Ayer:

⁴⁵ Título original en alemán: *Wissenschaftliche Weltauffassung, Der Wiener Kreis* (Ayer, 1960: 4)

“Es tiempo, por lo tanto, de abandonar la superstición de que la ciencia natural no puede ser considerada lógicamente respetable hasta que los filósofos hayan resuelto el problema de la inducción. Existen solamente dos maneras de tratar este problema, asumiendo que este es un problema genuino; es fácil de ver que ninguna de las dos maneras conlleva a una solución. Uno puede intentar deducir la proposición que se requiere probar tanto desde un principio puramente formal como desde un principio empírico. En el primer caso, uno comete el error de suponer que desde una tautología es posible deducir una proposición acerca de una cuestión factual; mientras que en el segundo caso, uno asume simplemente justo lo que se está intentando probar”.⁴⁶

Y más adelante dice:

“Por supuesto, el hecho de que una cierta forma de proceder haya sido siempre exitosa en la práctica no puede garantizar lógicamente que esto continúe siendo siempre. Pero entonces, es un error pedir una garantía donde lógicamente es imposible de obtener una...Lo que justifica al proceder científico es el éxito en las predicciones que parten de él. Y esto únicamente puede estar determinado a través de la propia experiencia. Por sí solo, el análisis de un principio sintético no nos dice nada acerca de su veracidad.”⁴⁷

Para poder comprender el tratamiento que se le da al conflicto inductivo a través de la verificación y el significado en el Círculo de Viena, es necesario reconstruir brevemente la argumentación que llevó a sus miembros a este punto descrito por Ayer en donde se podía abandonar el problema inductivo. Todo esto comienza con el rechazo a la metafísica a través de la precisión del lenguaje y con la caracterización empírica y lógica del conocimiento.

⁴⁶ Traducción del texto original de Ayer: “[t]is time, therefore, to abandon the superstition that natural science cannot be regarded as logically respectable until philosophers have solved the problem of induction. There are only two ways of approaching this problem on the assumption that it is a genuine problem, and it is easy to see that neither of them can lead to its solution. One may attempt to deduce the proposition which one is required to prove either from a purely formal principle or from an empirical principle. In the former case one commits the error of supposing that from a tautology it is possible to deduce a proposition about a matter of fact; in the latter case one simply assumes what one is setting out to prove” (Ayer, 2001: 34).

⁴⁷ Texto original en Ayer: “[o]f course, the fact that a certain form of procedure has always been successful in practice affords no logical guarantee that it will continue to be so. But then it is a mistake to demand a guarantee where it is logically impossible to obtain one...What justifies scientific procedure, to the extent to which it is capable of being justified, is the success of the predictions to which it gives rise: and this can be determined only in actual experience. By itself, the analysis of a synthetic principle tells us nothing whatsoever about its truth” (Ayer, 2001: 35).

- *Carnap.* Carnap hace explícito el rechazo del Círculo del Viena a la metafísica al considerarla perteneciente a la tradición filosófica. Para ser más específico, el rechazo que se da a la metafísica tiene como sustento el rechazo a lo inverificable. Al basarse en un suelo positivista, el Círculo de Viena pretendía analizar y estudiar lo verificable/observable únicamente para evitar todo aquello que pudiera ocasionar vaguedad o que tenga una pretensión absolutista de la metafísica. En otras palabras, el Círculo se opuso en primera instancia a todo término inmanente, entre los que se encontraban los conceptos metafísicos como la esencia, lo uno, Dios, etc.

Para Carnap, los metafísicos estudiaban lo que se encuentra *detrás* de los objetos de la ciencia empírica. Esto quiere decir que ellos buscan cosas como la esencia o la causa última de las cosas. Entonces, el problema radica en que las proposiciones de este tipo metafísico no pueden ser consideradas ni siquiera como proposiciones ya que están faltas de conocimiento empírico. Estas deben de ser consideradas meramente como frases de palabras vacías que provocan nociones y emociones que las hacen pasar como proposiciones de contenido empírico (Carnap, 1996: 59).

El *Positivismo Lógico* suponía adentrarse en el terreno de la experiencia, sometiéndose únicamente a un criterio de verificación. Por ejemplo, el hablar acerca de una realidad trascendental debía de carecer de sentido ya que para poder hablar de algo, este “algo” debía provenir de lo *dado* procedente de mundo experienciable, el cual debía poder ser verificado o por lo menos debía de ser verificable en principio (Schlick, 1960: 83-88).

Del Positivismo, el Círculo recibió su adhesión a lo *dado* mientras que de Wittgenstein utilizó su lógica y su estructura gnoseológica. Por un lado, el principio empírico englobaba todo origen de conocimiento mientras que este conocimiento se encontraba limitado por una totalidad de hechos proposicionales posibles en la experiencia, más no allende a ella. Todo aquello inaccesible a la experiencia/observación, no podía ser verificado y/o

comprobado. Esto hace que la metafísica, y más específicamente, las proposiciones utilizadas por la metafísica carezcan de sentido o significado.

A la metafísica se le vio como el residuo de todo aquello que no se basa en la experimentación y/o en las verdades lógicas. Todo aquello que tratará acerca de ella, debía considerarse sin sentido y carente de significado por no poder ser verificado empíricamente. El problema con las pseudo-proposiciones, las cuales son las propensiones que versan del conocimiento imposible de verificar de los metafísicos, son carentes de sentido y significado porque no pueden ser confirmadas; no pueden ser ni verdaderas ni falsas (Carnap, 1996: 22).⁴⁸

El tratamiento de los problemas metafísicos como pseudo-problemas, expresados a través de pseudo-proposiciones carentes de sentido, es lo que da pie al Círculo de Viena para poder eliminar el problema de justificación lógica que presentaba el paso de la inducción a la deducción. No digo con esto que el problema inductivo era considerado perteneciente a la metafísica pero sí tenía un tratamiento similar al considerársele como un pseudo-problema debido a su incompreensión o vaguedad de significado.

Ahora bien, es justo preguntar ¿por qué el problema inductivo es un pseudo-problema? Los positivistas lógicos vieron que existía un error en la concepción de las inferencias inductivas como inferencias anteriores a las proposiciones certeras e irrevocables. Es un error, entonces, atribuir a las proposiciones fácticas la misma calidad de certeza e irrevocabilidad que tienen las proposiciones analíticas. Las proposiciones analíticas pueden ser verdaderas por sí mismas mientras que las proposiciones sintéticas son verdaderas solamente cuando son contrastadas con la experiencia.

⁴⁸ Por ejemplo, las frases que contienen fantasía tienen significado aunque sean falsas; tienen significado porque pueden ser empíricamente probadas como falsas o verdaderas.

Para los positivistas lógicos existen tres tipos de proposiciones: las analíticas, las contradictorias y las sintéticas. Las proposiciones analíticas son del tipo “un cuadrado tiene cuatro ángulos rectos”, lo cual es una verdad lógica y decir lo contrario sería una contradicción debido a que la verdad de la proposición depende de la relación de sus partes; la definición de un cuadrado es ser un “algo” que tiene cuatro ángulos rectos entre otros atributos de su definición. Por lo tanto, todas las proposiciones analíticas pueden ser necesariamente verdaderas y sus contradicciones son falsas.

Las tautologías, sin embargo, son proposiciones vacías de contenido fáctico, y eso provocaba que no podían brindar conocimiento alguno acerca del funcionamiento del mundo experiencial (Schlick, 1960: 88). La lógica si bien proveía de verdad a las tautologías, les negaba una facticidad. Por ende, la ciencia requería de otro tipo de proposiciones. Estas son las proposiciones sintéticas (Schlick, 1960: 214-215).

Contrario a las tautologías, las proposiciones sintéticas no son necesariamente verdaderas. Su verdad es contingente y dependiente a la verificación fáctica. Si bien esta distinción no proviene originalmente del Círculo de Viena, sí es el Círculo el que define el requisito de un correcto entendimiento del tipo de proposiciones y del significado que estas expresan. Es a través de la verificación del significado de las proposiciones que estas pueden ser verdaderas o falsas. Las proposiciones analíticas son verificadas inmediatamente mientras que las proposiciones sintéticas son verdaderas o falsas de acuerdo a su corroboración con la experiencia. Las proposiciones sintéticas son las que producen el fundamento del conocimiento en la ciencia empírica (Schlick, 1960: 225).

- Ahora bien, es preciso preguntar, ¿qué tiene que ver el significado de una proposición con el problema en cuestión acerca de la inducción? La respuesta se encuentra en los dos primeros segmentos de Ayer en este capítulo. Es debido al correcto entendimiento tanto del proceso inductivo como del significado de la facticidad de una

proposición que es posible entender que el problema de la inducción no es un problema genuino para el Círculo de Viena. Para el Círculo de Viena, el problema proviene de una confusión al intentar encontrar una justificación de certeza donde simplemente no puede existir una. Al comprender que la verificación de las proposiciones se limita a la verificación y corroboración con el universo experiencial, se entiende que esta verificación nunca podrá ser un garante universal de la expectativa causal sino solamente un garante probabilista (Ayer, 1956: 80-81).

El Círculo de Viena confirma el argumento humeano pero lo disipa considerándolo como un pseudo-problema aunque su respuesta va más allá de una resignación a la probabilidad inductiva de Ayer (Schlick, 1960: 58-59). Para evitar caer en esta resignación, el Círculo de Viena destinó al criterio de verificación otras facultades. Una de estas facultades es encargada de la creación proposicional.

El resultado del uso del criterio de verificación para los positivistas lógicos es la correcta creación proposicional: las proposiciones sin significado, no pueden ser inferidas. Para producir una proposición de contenido científico, esta debe de ser verificable (Schlick, 1960: 95). Explica Schlick que el empirista no le dice al metafísico que lo que dice sea o no falso sino que lo que el metafísico dice no quiere decir simplemente nada. El empirista no contradice al metafísico sino que simplemente no lo entiende (Schlick, 1960: 107).

Estas proposiciones, las metafísicas, no pertenecen según el Círculo de Viena a ningún tipo de proposiciones de significado (tautologías, contradicciones y proposiciones sintéticas). Son proposiciones que no expresan nada y por lo tanto, son pseudo-proposiciones. Estas proposiciones metafísicas no son contrastables. No son falsas ni verdaderas ya que las proposiciones falsas o verdaderas tienen sentido y significado. Por este motivo, el criterio de verificación es aquello que determina la posibilidad de realizar proposiciones con sentido -científico- o no. Los positivistas lógicos se apoyan en el criterio de verificación

como primer paso en la estructuración del conocimiento con el que la ciencia puede librarse de la ambigüedad de algunos términos vagos. Y así, es posible elucidar si los problemas que enfrenta la ciencia son genuinos o no.

La verificación también se convierte en un criterio de selección entre las teorías que producen o no conocimiento científico. Para los positivistas lógicos, por lo menos al comienzo de las discusiones del Círculo de Viena, existe un compromiso de sujeción entre la veracidad o falsación y una realidad experienciable, que poco a poco fue modificándose conforme el paso de los años. Regresaré a esto más adelante.

¿Se resuelve el problema de la inducción al usar el criterio de verificación? A primera vista parece resolverse. Las proposiciones son verificadas para saber si tienen significado y son comprobadas con la experiencia para saber si son verdaderas; esto incluye que la predicción sea adecuada con la experimentación. La búsqueda del significado evita a la ciencia caer en problemas de soluciones inverificables y asienta la pertinencia de las proposiciones para la ciencia. Este funciona como un monitor que indica tras la adecuación de las predicciones con la observación qué teorías deban o no descartarse. De cierta forma, las proposiciones con significado y verdaderas evitan el problema de un requisito de justificación de su certeza.

Sin embargo, si se analiza con más atención este método, este trae consigo también varios problemas de justificación epistemológica. Si bien no son problemas en la justificación de certeza, sí lo son en la justificación de la veracidad de las proposiciones, la cual resulta imprescindible para el método. El problema se presenta de esta forma: aun conociendo que el conflicto inductivo es un pseudo-problema, ¿cómo puedo asegurar que lo que conozco es verdadero? Esto lleva a uno a la problemática de la tradición filosófica que tanto combatieron los positivistas lógicos: ¿cómo puedo saber si lo que veo es verdadero y no estoy siendo engañado?

- El problema con el Verificacionismo surge en varios puntos: uno de estos es, como se dijo anteriormente, la posibilidad de justificar la veracidad de la observación con la cual se hace la verificación; otro problema es la metodología de la verificación, es decir, qué y cómo verificar una proposición; y tercero, la validez de la verificación para clasificar proposiciones verdades o falsas.

Comienzo por partes. Los filósofos del Círculo de Viena se alejaron del problema cartesiano confrontándolo con un empirismo radical, pero sobre todo con una serie de argumentos contra la lógica con la que se ayudó Descartes para no caer en un escepticismo absoluto. El argumento del *cogito* cartesiano dice que si alguien duda, está pensando y de esto se sigue lógicamente que necesariamente aquel que piensa, debe existir; la firmeza epistemológica parte del “yo” en Descartes. La idea clara del “yo existo” sustenta la posibilidad de obtener ideas libres de duda. Sin embargo, el argumento de los positivistas lógicos, en manos de Schlick, muestra que el último paso lógico de Descartes no es realmente correcto: el “yo existo” no sigue lógicamente del “yo pienso”, sino en caso de seguir esta argumento, seguiría “alguien existe”.

La idea clara de Descartes para el Círculo de Viena no demuestra que puedan existir ideas que no vengan de la experiencia y que sean absolutamente claras. Estas ideas racionales no pueden entonces sustentar el conocimiento científico. Las percepciones *claras* de Descartes están sostenidas para el Círculo de Viena por una necesidad espuria. En vez de sostenerse de percepciones claras como “yo existo” para fundamentar una teoría epistemológica, el Círculo de Viena siguiendo a Wittgenstein y Russell, encontraron que la base de todo conocimiento se sostiene en elementos atómicos de conocimiento. Estas se convirtieron eventualmente en las *Protokollsätze*. De estas hablaré a continuación.

Los positivistas lógicos vieron que de las proposiciones podían extraerse proposiciones atómicas. Estas debían ser inalterables e incorregibles ya que servirían de cimientos para la

construcción final de proposiciones universales (Hempel, 1996: 181). Los positivistas lógicos desecharon las deducciones racionalistas de Descartes y se basaron en la estructura empírica de la adquisición, y sobre todo, de la comunicación del conocimiento. La fuente de toda seguridad se consolida para el Círculo de Viena en lo dado en la experiencia (datos de los sentidos), lo cual se expresa en las proposiciones protocolarias.

- *Protokollsätze*. Las proposiciones protocolarias, explica Schlick, son las proposiciones que expresan hechos con absoluta simplicidad, sin alteración y sin añadimientos. Estas proposiciones consisten de aquello que es anterior al conocimiento o juicio acerca del mundo (Schlick, 1960: 209-210). Estas proposiciones son las que están en relación directa con el hecho mismo (Ayer, 1960: 229).

Las proposiciones protocolarias son relevantes debido a que en ellas no existe la posibilidad de encontrar incertidumbre, como por ejemplo, sí es posible encontrar en el conocimiento sintético del mundo. Las proposiciones protocolarias expresan los hechos como son y por lo tanto, ofrecen una posibilidad para sustentar un principio absoluto del conocimiento (Schlick, 1960: 209-210).

Sin embargo, la pregunta del escéptico persiste al buscar la validez del significado de las *Protokollsätze*: ¿cómo conocer el significado de estos conceptos atómicos? y ¿cómo conocer que las *Protokollsätze* son realmente incorregibles? Aquí es donde se separan los argumentos de los positivistas lógicos y se obscurece un poco el asunto.

Por un lado, el positivismo lógico sustenta la validez del conocimiento en la incorregibilidad de elementos básicos de las proposiciones protocolarias, pero por otro lado, estos elementos básicos no pueden ser verificados por la experiencia sino que solamente pueden ser confirmadas al adquirirse su significado. Entonces, ¿de dónde proviene su significado si es que no puede provenir de la experiencia ya que esta al mismo

tiempo requiere de una estructura de significados corroborados para comenzar a ser verificable? El problema se vuelve circular (Schlick, 1960: 86).

Carnap introdujo originalmente el concepto de proposiciones protocolarias para definir las bases para verificar las proposiciones empíricas. Carnap mostró que incluso las proposiciones singulares (empíricas no-universales) tienen un carácter de hipótesis en relación a las proposiciones protocolarias. Esto quiere decir que incluso las proposiciones singulares no pueden ser verificadas completamente sino que pueden ser más o menos confirmadas por las proposiciones protocolarias (Hempel, 1996: 188).⁴⁹

Las *Protokollsätze* presuponen un significado para poder representar la realidad experiencial, pero este significado no puede provenir de la experiencia ya que esta, en primero grado, es falible y en segundo, debe estar por si misma corroborada con otros significados. Entonces, estas *Protokollsätze* no pueden provenir más que de otros significados, y para verificar el significado de una *Protokollsatz*, habría que conformarla con otras proposiciones. No obstante, las *Protokollsätze* necesitan ser verdaderas para poder verificar que el significado de las proposiciones subsecuentes (singulares y universales) sean verdaderas, pero la única forma de saber si son verdaderas es a través de la veracidad de las proposiciones subsecuentes (Hempel, 1996: 182).⁵⁰ Por lo tanto se torna imposible verificarlas y asegurar su veracidad sin evitar el solipsismo (Schlick, 1960: 86).

Podría suceder que dos personas (o teorías) presenten proposiciones verdaderas acorde a su propia verificación, pero ¿cómo podían llegar a un acuerdo entre sí, si los dos mantienen

⁴⁹ Explica Hempel que en su forma más reciente, las proposiciones protocolarias de Carnap y Neurath se encuentran más alejadas que nunca de su carácter básico. Ellas pierden su firmeza, es decir, que incluso las proposiciones protocolarias se presentan como hipótesis en relación a otras proposiciones; por lo tanto, aun las proposiciones protocolarias pueden ser rechazadas o adoptadas dependiendo de una decisión (Hempel, 1996: 188).

⁵⁰ Evitando claro las proposiciones demostrativas como *ahí*, *azul*, etc.

proposiciones verdaderas, basados en sus elementos protocolarios respectivamente? El primero en notar el problema fue Neurath seguido por Carnap (Hempel, 1996: 180).⁵¹

- *Convenciones en Carnap.* Neurath y Carnap decidieron que era imposible constatar el significado y veracidad de las frases protocolarias a través de la mera observación. La respuesta que dio Carnap fue la utilización de un criterio de funcionalidad para el significado de una palabra elemental o concepto.⁵² Es a través de una traducción de unos conceptos a otros, y estos a frases observacionales, no sin olvidar una serie de requerimientos para considerarse válidos y poder corroborar su función, que puede existir un acuerdo en relación al uso y significado de una palabra (Carnap, 1996: 13).

Cuando una palabra tiene un significado fijo, podrá ser utilizada correctamente en una proposición. Si no, no. De esta forma, Carnap también se libera del solipsismo. El significado de las palabras está determinado por un criterio de utilización, el cual se deduce de una relación entre frases elementarias, condiciones de verdad y un método de verificación. Así, el criterio de utilización quita la libertad para decidir individualmente el significado de cualquier palabra. Todos los conceptos requieren un uso correcto y de un acuerdo en su significado. Si esta utilización es correcta, se llega a una correcta sintaxis en el uso del lenguaje; lo cual a su vez resalta el carácter convencional de los significados (Carnap, 1996: 13).

Claro está que si las bases elementales de las proposiciones eran convenciones, estas no podían situarse como un punto inicial del conocimiento científico basado en la mera idea de la *tabula rasa*. Debía existir, entonces, una red *a priori* de relaciones en la cual situar

⁵¹ Aquí presento primero a Carnap para facilitar el flujo del argumento.

⁵² Carnap toma el ejemplo de la palabra *teavy*. Explica Carnap que si no existe ningún criterio para la utilización de la palabra, entonces no se dice nada cuando esta se utiliza en alguna frase. Esto quiere decir que la frase con la palabra *teavy* es una pseudo-proposición (Carnap, 1996: 14-15).

las convenciones. Pero la red de relaciones era inverificable por ningún otro método que un método pragmático. Esto lo corroboró Neurath y propuso una solución al problema.

- *Neurath*. Contrario a Schlick, Neurath atribuyó al término *Protokollsätze* una forma sintáctica con la cual ensamblar las palabras. Las proposiciones protocolarias debían contener, para Neurath, un nombre o la descripción que hace un observador además de otras palabras con referencia al acto de observación (Ayer, 1960: 231-230). Con esto, se tenía la libertad de no instaurar a las *Protokollsätze* como un punto de inicio de la ciencia, sino como un punto de partida en la que ya se cuenta con proposiciones elementales verificables basadas puramente en hechos de la experiencia. Neurath utilizó una teoría coherencial para las proposiciones, en la evitada un compromiso con la inaccesibilidad e inalterabilidad de las *Protokollsätze*.

Para Neurath no es posible establecer concluyentemente que las frases protocolarias sean el punto fáctico inicial de la ciencia. La analogía que utiliza Neurath para explicar el origen y la utilización del conocimiento fue la reconstrucción de un barco en alta mar. Para Neurath no es posible llevar al barco a ningún puerto para desmantelarlo y reconstruirlo con mejores materiales sino que los marineros deben de reconstruirlo en alta mar y conforme fuese necesario. Esto contrastaba con la creencia de una *tabula rasa*; esta no existía para Neurath o por lo menos, esta no era la función de las *Protokollsätze* (Neurath, 1960: 201).

Visto de esta forma, la ciencia es un sistema de proposiciones que son combinadas y/o comparadas entre sí, pero curiosamente estas nunca estarán contrastadas con una realidad factual debido a la dificultad de verificación de esta contrastación. La caracterización de una realidad factual pura es simplemente imposible de verificar. Es prácticamente imposible relacionar el contenido de las proposiciones factuales asegurando una conexión segura e incorrupta entre ellos (Hempel, 1996: 180-181). El problema sigue siendo la

verificación de una correcta contrastación entre hecho y proposición protocolaria. Carnap basa la verificación en un sistema convencional mientras que Neurath lo sustenta sobre un sistema coherencial y sintáctico del significado de las proposiciones. Para Carnap, cabe decir, tampoco existían primeras proposiciones libres de una justificación (Hempel, 1996: 183-184).

Ahora bien, ¿cuál es la consecuencia de utilizar o bien un sistema de convenciones o redes de coherencia para fundamentar el conocimiento científico? La respuesta es sencilla. Se pierde la incorregibilidad e inalterabilidad que pretendían tener en un principio las bases del conocimiento sobre la observación. Las *Protokollsätze* ya no pueden ser concebidas como la base inalterable del conocimiento contenido en las proposiciones científicas (Hempel, 1996: 183). Las proposiciones, vistas de esta forma, dependen de un sistema de relaciones de significados y funciones condicionado a un contexto. Schlick se dio cuenta de esto, y aunque no se detuvo en seguir buscando un fundamento del conocimiento puramente observacional y no aceptar el descarte de la inalterabilidad de las *Protokollsätze*, concedió también que era imposible alcanzar una independencia a de un sistema de relaciones o convenciones.⁵³

- *Schlick*. Schlick notó que seguía existiendo el problema de verificación aun si uno cede al requisito de la existencia de una red coherencial de significado y de verdad. Otra de las graves consecuencias de la necesidad de un sistema de convenciones es que la estructura del conocimiento puede perder el científicismo que profesaban los positivistas lógicos desde un comienzo. Esto lo notaron algunos de miembros del Círculo, y fue Schlick quien dirigió una crítica a las teorías de Neurath y Carnap.

⁵³ De esto se da cuenta Schlick y dice que es imposible evitar una imposibilidad lógica de verificación; es imposible indicar una cualidad experienciable, por ejemplo de dos verdes en dos diferentes mentes, más que por medio de un sistema de relaciones (Schlick, 1960: 94).

Schlick notó que si uno se alejaba de la búsqueda de un fundamento sólido e inalterable en las proposiciones, estas podían incluir historias imaginarias y hasta cuentos de hadas, mientras estas no presenten contradicción alguna (Schlick, 1960: 215). La verificación podía seguir siendo el criterio para definir la verdad de estas historias imaginarias, sin embargo, el criterio de verificación daba la posibilidad a estos cuentos de hadas de ser también verdaderas si el significado se basaba en una relación de referencias y convenciones. La realidad experiencial dejaba de ser independiente, objetiva y uniforme en sus observaciones. La realidad se encontraría, entonces, como propuso Neurath condicionada a factores psicológicos y sociales.

La cuestión ahora se tornaba no en evitar el solipsismo sino en evadir un relativismo. Schlick consideraba que al mantener que las proposiciones protocolarias como hechos empíricos sobre los que se construye la ciencia, se tiene como consecuencia necesaria un tipo de relativismo (Schlick, 1960: 212). El relativismo surge cuando se abandona la idea de la existencia de un sistema de proposiciones con bases fundacionales e inalterables.

Una respuesta, la de Carnap, fue a través de un uso correcto de la sintaxis en las proposiciones: un uso correcto de estas provocaría que las historias de hadas sean consideradas falsas. Para Carnap no era posible demostrar que un sistema esté libre de contradicciones, pero sí era posible argumentar que un sistema verdadero depende de un sustento sintáctico y semántico (Ayer, 1960: 233).

- *Propuesta de Hempel.* Hempel respondió recurriendo la idea original del Círculo de entender si un problema es genuino o no. Para Hempel, si se entiende que es lógicamente imposible encontrar un criterio indiscutible de verdad absoluta es posible entonces que la búsqueda por un sistema infalible contra la falsedad sea simplemente un pseudo-problema. Aunque la ciencia se base sobre las proposiciones protocolarias de observadores confiables

y estos a su vez sobre leyes generalizadas, la búsqueda por un criterio de verdad absoluta es inadecuado; esta búsqueda parte por ende, de un presupuesto falso (Hempel, 1996: 188)

Este argumento puede dar salida al problema descrito por Schlick, pero no sin recaer en el problema de validez acerca de una observación confiable. Si bien, el problema se resuelve cuando se entiende que la certeza es en cualquier proceso inductivo y que debe mantener una variabilidad constante al tener como fuente de conocimiento a la experiencia, pero entonces, ¿por qué añadir un requisito de confiabilidad en el observador? ¿Por qué no aceptar cualquier tipo de observación? y ¿cómo justificar la confiabilidad de un observador?

La respuesta parece sencilla, pero al mismo tiempo y bajo un criterio verificacionista, carecería de sentido: se requiere que el observador sea confiable para evitar caer en el mencionado relativismo, al mismo tiempo que para alejarse de las proposiciones de la metafísica. Sin embargo, esta confiabilidad es inverificable y si lo fuese, es una verificación pragmática mas no irrefutable. El concepto del observador confiable es también una convención y al mismo tiempo es posible hasta argumentar es un pseudo-requisito. Es un referente, pero es un referente escogido arbitrariamente. Y esto le ocasiona un problema de validez a la justificación de la verdad de los sistemas científicos.

La diferenciación entre una proposición “el metal x se dilata cuando se calienta” dictada por un científico en una conferencia científica, no puede verificarse de una manera más concluyente que la proposición “dios existe” dictada por un sacerdote en una reunión de religiosos radicales. Los dos pueden ser considerados observadores confiables respectivamente frente a su auditorio. La diferencia entre la veracidad de las observaciones no puede ser verificaba más que a través de una sistema de relaciones perteneciente a su respectivo auditorio.

Otra opción para validar la confiabilidad del observador podría tener lugar si se considera que la verificabilidad de una proposición básica dependiese del éxito entre la adecuación entre la predicción y la observación. Esta posición se sustentaría en la creencia del aumento en la probabilidad de éxito en la adecuación de cada observación realizada. Pero esto simplemente es trasladar los problemas de justificación inductiva a las proposiciones elementales. La inalterabilidad de las proposiciones elementales por ende también se convertiría en un pseudo-problema.

Lo único que queda es negar la verificabilidad de las *Protokollsätze*. La certeza de las proposiciones básicas es inaccesible, y así, carente de sentido. La verificación de las proposiciones básicas se torna en un problema allende a la solubilidad de los problemas científicos. Entonces, hablar de un observador confiable no solamente es una muestra de sinonimia sino de carencia de sentido: por un lado, el concepto de “observador confiable” no implica nada más que “un observador que observa”; y por otro lado, el observador no podría, a partir de un correcto entendimiento de cualquier significado, expresar una seguridad más confiable que otra la seguridad de otro observador, si ambos observadores muestran por lo menos un uso correcto de las convenciones. Los dos observadores son confiables para su respectivo auditorio y pueden no serlo para el auditorio del otro observador (Schlick, 1960: 219).

El problema escéptico acerca de las *Protokollsätze* por lo tanto persiste. A esta problemática, Hempel concluyó que la idea de las *Protokollsätze* se tornó eventualmente superflua, aunque por lo menos resultó ser, en un primer momento, un concepto auxiliar esencial (Hempel, 1996: 189).

- La implicación de esta argumentación es que si se aceptan las convenciones, el escéptico puede muy bien preguntar continuamente por la validez de las convenciones, significados, etc. Sin embargo, el mérito de los positivistas lógicos no reside en debatir

contra el argumento escéptico, sino en rezagarlo calificándolo de pseudo-problema. Es así como los positivistas lógicos dejan atrás la problemática de la validez no sin perder también, aunque intencionadamente, la certidumbre científicista.

Si se abandona la validez general de las *Protokollsätze*, ¿sería posible mantener un sistema congruente al criterio de verificación? La respuesta es sí. No son necesarias que las *Protokollsätze* sean genuinamente válidas para inferir teorías. En vez de tomar la fuerza de la verificación observacional a través de las *Protokollsätze*, las inferencias generales se sustentan en las facultades de la estructura inductiva, y en un sistema relacional de significados.

No es contradictorio aceptar que la inducción observacional y un sistema relacional coexisten en la adquisición, corroboración y comprobación de la veracidad de significados, y posteriormente, de inferencias; sobre todo si se acepta que es a través de la observación donde la inducción sitúa inferencias singulares y produce inferencias generales, mientras que el sistema relacional establece primeramente si tiene significado la inferencia y si sí lo tiene, establece si la inferencia es verdadera o no. Posteriormente, para saber si una inferencia es verdadera se retoma la inferencia inductiva singular y se verifica contra la observación. La verificación así se sustenta en observación, la cual de por sí, está suscrita a una verificación coherencial de significados. La observación deja de ser solamente una fuente de conocimiento sino también un lugar de verificación de inferencias. Schlick va un paso más lejano y añade que las proposiciones observacionales no son aquello sobre lo que la ciencia descansa sino que son, entonces, aquello hacia la que la ciencia se dirige. Ellas son puntos fijos, sobre los que a pesar de que sea imposible mantenerse siempre, da mucha felicidad alcanzarlos (Schlick, 1960: 223)

- Existe una condición bien sabida por los positivistas lógicos que cabe recalcar: la verificación solamente puede ser utilizada para las inferencias singulares, y no para las

inferencias generales; estas no pueden ser verdaderas ya que no pueden ser verificadas y por esta razón mantienen un rasgo de hipótesis.⁵⁴ La inducción misma configura sus límites pero se posiciona como una herramienta necesaria en la adquisición del conocimiento experiencial. Así, la inducción adquiere un estatuto fundacional en el conocimiento experiencial; en ella se concentran una serie de condiciones de significado previamente acordadas que moldearan las limitaciones y el alcance de las inferencias generales.⁵⁵ Visto de esta forma, la inducción se presenta legítimamente como la herramienta científica para entender a la naturaleza. Esta adquiere una mayor importancia, comparándola con el papel que juega la deducción para la ciencia.

La convencionalidad del significado de la inducción posibilita la legitimidad de la continuidad de la ciencia. Esta convencionalidad de la inducción facilita que se aleje la atención del argumento escéptico al sustentar sólidamente las implicaciones de la lógica inductiva o bien una convención generalizada de la inducción lo suficientemente elástica para encerrar toda proposición fáctica que pretenda convertirse en una generalización. La elasticidad del significado de inducción daría la posibilidad para que el requisito de justificación se adapte en cada caso correspondiente y respectivo a la generalización que se busque.

No obstante, surge otro problema. Surge una gran dificultad para situar un significado común de la inducción. El problema no es tan sencillo como saber que el agua se compone

⁵⁴ Puede decirse que a través del convencionalismo, las inferencias generales pueden traducirse en definiciones, las cuales se pueden utilizar en proposiciones analíticas, pero esta posición fue abandonada rápidamente.

⁵⁵ Si las proposiciones fácticas, las hipótesis, teorías o leyes, tienen un valor convencional, el significado que aseguraría que los procesos inductivos retienen un grado de incertidumbre, es tan válido como en los diferentes tratamientos que se le da a la lógica inductiva por parte de los anti-positivistas, realistas y metafísicos al búsqueda. Si la justificación epistemológica de teorías contiene un valor de convencionalidad, se abre de nuevo un abanico de significados para lo que puede o no pasar por certeza inductiva. Esto quiere decir que la seguridad de las inferencias inductivas podría encapsular diferentes categorías en las que se encuentren límites en las inferencias inductivas en las que pueden entrar las proposiciones de diferente alcance del sistema científico dentro del que utilice. Estas categorías indicaran implícitamente un límite arbitrario en la validez de la justificación de las generalizaciones inductivas.

de dos moléculas de hidrogeno y una de oxigeno, y que esta tiene x características y que si se calienta a una temperatura x dependiendo de la altura del lugar donde se realice el experimento, esta siempre hervirá. La conceptualización de la inducción adquiere tintes que van más allá de su funcionalismo y de sus características. En este mismo concepto existe un gran desacuerdo en cuanto a su alcance y su función; si el principio de inducción, por ejemplo, tiene un significado y un sentido, entonces deja de ser un principio general sino que es el resultado mismo de una inducción. De igual forma, si el principio no puede ser verificado o falsado, entonces carecería de significado para los verificacionistas (Feigl, 1996: 197).

La convencionalidad de la inducción es de gran utilidad mientras exista un acuerdo de lo que implica un proceso inductivo. Pero, ¿cómo llegar a una convención si para unos la lógica inductiva pretende un determinismo oculto mientras que para otros, esta contiene implícitamente un atributo de incertidumbre?

- *Inducción en Feigl.* Feigl propone una respuesta: el principio de inducción no es analítico pero tampoco es sintético, no es *a priori* pero tampoco *a posteriori*. El principio de inducción no es simplemente una proposición, sino que es un punto medio entre un procedimiento, una máxima reguladora y una regla operativa (Feigl, 1996: 197). Y si la meta de la ciencia no es simplemente una conjunción de descripciones sino el establecimiento de una estructura sistemática de leyes que sustentan cada explicación y cada predicción, entonces el principio de inducción es el método o la regla con la cual la ciencia logra prescribir dichas leyes; este método o regla busca encontrar un orden basado en proposiciones elementarías. Esto quiere decir el principio de inducción funge como un principio de simplicidad para lograr un orden generalizado (Feigl, 1996: 198).

Lo ingenioso de esta concepción es que da la libertad a ubicar las inferencias generales dentro de una categoría distinta a la lógica inductiva pero estructura al mismo tiempo la

lógica inductiva con la capacidad de mantener inferencias generales, siempre y cuando se le antepongan una serie de limitaciones lógicas a su origen; los límites los establece la misma lógica inductiva a través de una serie de reglas y condiciones. La inducción buscaría generalizar una uniformidad ordenada que implícitamente presupone y requiere. La inducción implica la posibilidad de inducir y al mismo tiempo implica que todo cúmulo de experiencias es inductivo; con lo que no digo que toda observación lo sea.

Los positivistas lógicos lograron acotar la problemática de la inducción en un problema por la generalización. Esto ya lo había demostrado Hume pero es con el Círculo de Viena que en el problema se acentuó el error en el tratamiento deductivo para las inferencias provenientes de la inducción. La utilización de un criterio verificacionista tanto en el significado como en la veracidad de las inferencias acentuó por un lado la importancia en la adecuación entre predicción y observación, y por otro lado, estableció la relevancia de los sistemas referenciales que delimitan el criterio de validez de la misma verificación.

La justificación ya no radicaba en el acceso a elementos inaccesibles del conocimiento; estos eran indemostrables. En cambio, se dirigía toda la atención a lo que podía ser verificado. La ciencia entendió que la justificación de la certeza no sería alcanzada por ser inverificable y por lo tanto, debía darse mayor importancia al acrecentamiento de seguridad en la adecuación: este fue el logro que recalcar acerca del *Verificacionismo*.

La ciencia ya no debía preocuparse más por la justificación de la veracidad de sus inferencias generales: estas eran hipótesis de predicciones verificables; justo como lo eran las inferencias singulares. Así, la ciencia modificaba su objetivo determinista para situarse en cambio, como una ciencia positiva, predictiva y verificativa. Justo como dice Schlick, la ciencia hacía profecías que debía de ser probadas en la experiencia pero sin olvidar su valor de confirmación anticipada.

Cada vez que la anticipación se cumple en la observación, la ciencia encuentra una cierta satisfacción. Y no es incorrecto decir que cada vez que la confirmación u observación tiene lugar, las proposiciones predictivas cumplen con su verdadera misión científica. La verificación entonces se hace el centro de la justificación científica a través de la satisfacción de las predicciones anticipadas (Schlick, 1960: 221-222).

d. Pragmatismo

Todas las propuestas hasta ahora analizadas, el Naturalismo, el Falsacionismo y el Verificacionismo, parten impulsadas por una característica que permanece constante en la investigación a pesar del problema de justificación inductiva. Aun cuando estas propuestas tienen diferente estructura y pretensión, todas comparten una base en común: la irrevocable eficacia de la praxis científica.

Incluso cuando el conflicto humeano nublaba la epistemología de la certeza inductiva, la eficacia de la ciencia continuaba mostrándose a través de rebosante evidencia del éxito de su capacidad predictiva. La praxis científica reflejaba el éxito de la predicción inductiva allende al problema de justificación humeano; se seguían produciendo conceptos, teorías, leyes, etc.

En una situación análoga, la adquisición de conocimiento, y en este caso la adquisición de significados, permanecía constante y ajena a la discusión entre racionalistas y empiristas acerca de cómo se produce dicho conocimiento. La adquisición conceptual tenía lugar a través de la praxis en la cotidianeidad mientras que pasaba a segundo termino el debate acerca de que si este se daba gracias a factores *a priori* o *a posteriori*. La posesión de estos conceptos representaba un logro funcional independiente del estudio de su origen o composición. Por ende, una utilización conceptual adecuada mostraba que podía ser posible descartar cualquier problemática epistemológica acerca del origen conceptual y en cambio, la adquisición conceptual podía sustentarse en su utilización práctica. Así, este

tipo de justificación realizaría una doble función: por un lado funcionaría como criterio de justificación resguardado por la praxis, y por otro lado, como un método que responde a través del uso eficaz del concepto al debate acerca del origen conceptual.

De esto se dio cuenta Charles Sanders Peirce, posteriormente William James, John Dewey y F.C.S. Schiller entre otros. Si bien el Pragmatismo nace como una respuesta para justificar la veracidad conceptual pronto se extendió a la problemática de la justificación epistemológica de la causalidad necesaria.

- El padre del Pragmatismo fue Charles Sanders Peirce, aunque no fue hasta que William James recogió la idea, que el Pragmatismo logró consolidarse ampliamente como un método para resolver debates metafísicos, extendiéndose posteriormente a problemas éticos y económicos.

James presentó el método pragmático basado en el término *reglas para actuar*, introducido por Charles Sanders Peirce en 1878 en un artículo llamado *Cómo hacer nuestras ideas claras*.⁵⁶ No obstante, es necesario decir que el Pragmatismo de James no adquiere la totalidad del Pragmatismo que originalmente vislumbró Peirce de modo que Peirce se vio reticente a la concepción que James dio del Pragmatismo al igual que al Humanismo de Schiller y Dewey. Por este motivo, Peirce prefirió distanciar su Pragmatismo llamándole posteriormente *Pragmaticismo* (Peirce, 1940: 254-255). Hablaré de estas diferencias más adelante.

James en 1907 expone qué es el método pragmático en su libro *Pragmatismo*. James dice que el método pragmático es un método para resolver disputas metafísicas que pudiesen llegar a ser interminables. El método pragmático resuelve disputas haciendo referencia a las consecuencias prácticas de cada caso. Esto es, ¿qué diferencia práctica tiene el que

⁵⁶ Término original en inglés: *rules for action* en el ensayo *How to Make Our ideas Clear*.

una noción sea o no verdadera? En caso de que no existiese una diferencia práctica entre las diferentes alternativas, entonces la disputa se disuelve ya que es vana u ociosa (James, 2003: 20).⁵⁷

Por parte de Peirce, el Pragmatismo era un intento para determinar la verdad de las cosas. Este es un método que sirve para entender y adquirir el significado de conceptos abstractos y/o palabras difíciles. Aunque cabe decir, el Pragmatismo no es un método relevante para todo tipo de ideas sino solamente para conceptos intelectuales sobre los que dependen los argumentos que versan de hechos objetivos (Peirce, 1940: 271-272).

¿Qué es importante resaltar? Son dos cosas primordialmente: la primera es que el Pragmatismo es más bien un método para encontrar respuestas, y no una respuesta *per se*; segundamente, el método pragmático ayuda a determinar tanto significados como su veracidad (pragmática por supuesto). Esta segunda función del método pragmático es de suma importancia en esta investigación ya que ayuda a determinar qué significa cuando uno habla de inducción, verificación, causalidad, justificación, hipótesis, etc.

- De la solución del problema de determinación de la veracidad de significados, el Pragmatismo se traslada posteriormente al debate acerca de la veracidad del pensamiento con contenido factual. Esto se presenta obvio para Peirce, ya que muestra una mayor preocupación por la filosofía de la ciencia mientras que James centraba sus preocupaciones principalmente en los fundamentos de la psicología. Esta preocupación se dará a notar en el compromiso que hace James hacia el *empirismo radical* para completar su Pragmatismo, paso que Peirce evita rotundamente (Peirce, 1940: 272-273).

Tanto para James como para Peirce, la problemática de la veracidad de las concepciones surge cuando se intenta conocer conceptos o ideas claras libres de incertidumbre con las

⁵⁷ El término en inglés que usa James es “...all dispute is idle”.

cuales se pueda organizar la comprensión del funcionamiento de la naturaleza. Esta es claramente la problemática epistemológica cartesiana, es decir, el cómo obtener ideas claras que sobrepasen la falibilidad de los sentidos. A esto, Peirce responde utilizando la infalibilidad de la duda cartesiana pero de diferente forma. Explica Pierce cómo encontrar conceptos infalibles:

“Una [alternativa] propone que se debería de comenzar dudando de todo diciendo que solamente hay una cosa de la que no se puede dudar, como si el dudar fuese “tan fácil como el mentir”. Otra propuesta dice que debemos comenzar observando “las primeras impresiones de los sentidos”, olvidando que nuestras propias percepciones son el resultado de la elaboración cognoscitiva. Pero en verdad, solamente hay un estado mental en el que uno se encuentra así mismo en el momento en el que uno comienza -un estado en el que uno carga una masa inmensa de cognición ya formada, de la cual uno no puede separarse...Pero uno no crea creencias; a menos que la pedantería no haya devorado toda realidad de uno, uno debe de reconocer que por lo menos hay mucho de lo que uno no duda. Entonces, aquello de lo que uno no duda, uno debe de considera como una verdad infalible y absoluta”.⁵⁸

Es de llamar la atención que la respuesta que da Peirce es de alguna forma similar a la de Descartes, aun cuando el Pragmatismo rechaza el fijismo en los conceptos y la pretensión de absolutos racionalistas.⁵⁹ En ambos casos, el conocimiento se origina a partir de ideas claras y necesarias; no obstante, para Descartes la idea clara del *yo existo* tiene lugar *a priori* mientras que para Peirce las ideas claras vienen *a posteriori*; aunque esta misma idea de claridad puede considerarse *a priori*. Estas ideas son claras porque son indudables pero son indudables no porque su certeza sea definitiva sino porque al tener dichas ideas/creencias ya se está aceptando implícitamente su veracidad y claridad; la mente no

⁵⁸ Texto original en inglés: “[o]ne proposes that you shall begin by doubting everything, and says that there is only one thing that you cannot doubt, as if doubting were “as easy as lying.” Another proposes that we should begin by observing “the first impressions of sense,” forgetting that our very percepts are the results of cognitive elaboration. But in truth, there is but one state of mind you actually find yourself at the time you do “set out” -a state in which you are laden with an immense mass of cognition already formed, of which you cannot divest yourself if you would;...But you do not make believe; if pedantry has not eaten all the reality out of you, recognize, as you must, that there is much that you do not doubt, in the least. Now that which you do not at all doubt, you must and do regard as infallible, absolute truth” (Peirce, 1940: 256).

⁵⁹ El pragmatista para James debe de evitar la abstracción, el razonamiento *a priori* malo, los sistemas cerrados de principios/axiomas fijos y sobre todo de absolutos. En cambio, el pragmatista debe dirigir su atención a lo concreto enfocándose en lo factual, la acción y el poder (James, 2003: 23).

puede dejar de elaborar creencias. Aun cuando se crea que algo es falso, la falsedad sigue siendo una creencia. Las creencias no son necesariamente verdaderas, sin embargo, sí son necesarias.

Para Descartes, el dudar es la última acción en la regresión de una cadena racional mientras que para Peirce, el creer es el final de una cadena experiencial. Si bien Descartes parte de la epistemología de esta duda para usarla como evidencia irrefutable de la idea clara del ser pensante, Peirce parte de la infalibilidad de la creación de creencias para utilizarla como resguardo de la existencia y posibilidad de acceso de ideas claras. No obstante, es importante decir que para Peirce las creencias *per se* no son objetos fijos e infalibles. Estas cambian; e posible ver ya desde Peirce muestras de un falibilismo conceptual. Empero, continuaré con esto más adelante.

- *La duda y la creencia en Peirce.* Es importante notar que la infalibilidad de la creación de creencias no implica nada acerca de la veracidad de las creencias. Hasta este punto solamente se ha explicado que estas necesitan existir, y que estas deben de ser claras, por lo menos para el sujeto creyente. Pero ¿cómo saber si las creencias son verdaderas?

Peirce responde que realmente en vez de preocuparse por obtener una verdad fija y abstracta, sería más fácil y de mayor utilidad lograr un estado para las nociones en el que se encuentren simplemente estén exentas de duda (Peirce, 1940: 257); y es este estado primero -primeras creencias- el estado natural de la mente humana.

Para Peirce el dudar es un estado mental incomodo y que produce insatisfacción. Por esta razón, el hombre lucha para deshacerse de las dudas. Cuando este paso se logra, uno encuentra el estado de la creencia misma. El estado del creer es contrario al estado del dudar. Para Peirce, el momento de creer es un estado de claridad. Este produce tranquilidad

y satisfacción. La mente no duda de su creencia, ya que al dudar de su creencia, esto quiere decir que realmente la mente no estaba realmente creyendo (Peirce, 1957: 11).

La mente al creer no duda; por lo menos mientras no haya motivos para dudar. Pero esto no quiere decir que todos los conceptos sean verdaderos. Lo que en realidad significa, es que las nociones y creencias son verdaderas implícitamente para el individuo que las adquiere, por lo menos hasta que sean rechazadas o confirmadas; lo cual, al ser confirmadas o rechazadas, la mente creará nuevas nociones y creencias, también en espera de confirmación o rechazo. Es por este motivo, que realmente no tiene sentido hablar de *ideas verdaderas* e *ideas falsas* sino más bien de ideas claras y de ideas dudosas; se aclararán las ideas cuando estas sean confirmadas, y se mantendrán dudosas cuando contengan un grado de incertidumbre acerca de su posible comprobación. El peso lo lleva la claridad que llegan a adquirir o no las ideas.

También es posible adquirir y aprender claramente nuevas ideas. Es posible adquirir nuevas ideas con la misma claridad que produce la formación natural de creencias en la mente. Y es para estas ideas que Peirce y James se valen del método pragmático para identificar y determinar la claridad de las ideas.⁶⁰ Es en este sentido en el que el método pragmático funge a la vez como criterio y como justificación. Entonces, el método pragmático se encarga de determinar cómo obtener ideas claras de un objeto. Dice James:

“Para obtener una claridad perfecta en nuestras ideas de un objeto, necesitamos solamente considerar qué efectos de tipo práctico estén relacionados al objeto -qué sensaciones son las que esperamos del objeto, y qué reacciones debemos preparar-. Nuestra concepción de estos efectos, tanto inmediatos como remotos, es entonces para nosotros el total de nuestra concepción de dicho objeto, siempre y cuando la concepción del objeto tenga una significancia positiva.”⁶¹

⁶⁰ Schiller le llama *Humanismo*

⁶¹ Texto original de James: “[t]o attain perfect clearness in our thoughts of an object, then, we need only to consider what conceivable effects of a practical kind the object may involve –what sensations we are to expect from it, and what reactions we must prepare. Our conception of these effects, whether immediate or

Son los efectos que se producen al pensar un objeto lo que determina el significado del objeto. Sin embargo, hace falta una interpretación pública con la cual ratificar un acuerdo en los efectos producidos a través de un significado público estructurado por una categorización de intérpretes: emocionales, energéticos, lógicos, etc., los cuales dependen del proceso que tenga lugar.⁶²

El significado de procesos y conceptos es interpretado conforme la evidencia de los efectos que produce dicho proceso o concepto. Esto implica que debe de existir una relación necesaria entre intérpretes y efectos para poder hablar de una comprensión de sus significados. La relación entre la expectativa del efecto y la interpretación es lo que hace público el significado conceptual. Esto quiere decir sencillamente que el Pragmatismo no se detiene en justificar individualmente el significado de los objetos a través de una relativización privada de efectos observados e inobservados. También identifica cuál es el significado de las cosas a un nivel social, acorde a la función que pueda esperarse del objeto o noción en cuestión. El debate por el significado se detiene, argumenta James, cuando se llega a un acuerdo acerca de los efectos positivos que se obtienen de una u otra idea.

- Cuando se le ocurrió la idea de su Pragmatismo, explica James, estaba en una discusión acerca de si una ardilla que está en un árbol y la cual no puede ver un observador debido a que a este le estorba el tronco del árbol; y que cada vez que el observador intenta ver a la ardilla, esta se mueve de tal forma que siempre el árbol se encuentra entre la ardilla

remote, is then for us the whole of our conception of the object, so far as that conception has a positive significance at all" (James, 2003: 21).

⁶² Los intérpretes son formas de entender el estado en el que la mente se encuentra durante un proceso tanto interno como externo. El intérprete interpreta los efectos del signo. Por ejemplo, al escuchar una pieza de música, las emociones serán interpretadas como evidencia de la comprensión de los efectos. Un intérprete posterior que mostrará evidencia de la interpretación emocional será el intérprete energético, el cual hará visible el gusto o disgusto de tal pieza música a través de un movimiento muscular o un cruce de brazos. A cada tipo de signo, existe una clase de intérprete, así que lo mismo sucede con los signos e intérpretes lógicos (Peirce, 1940: 276-277).

y el observador. La pregunta es: si el observador cada vez que rodea completamente al árbol para ver a la ardilla, ¿está también rodeando a la ardilla propiamente? Este debate, explica James, no tiene sentido debido a que los dos resultados -el observador rodea al árbol y a la ardilla, y el observador rodea al árbol pero no a la ardilla- producen los mismos efectos. Solamente a menos que exista un efecto positivo deseado para cualquiera de las dos interpretaciones, las dos interpretaciones o significados serán iguales. El efecto positivo esperado determina el significado de la interpretación; es decir, la adquisición de significados recibe un carácter intencional.

No obstante, el Pragmatismo no sustenta su significación meramente en la acción, en la práctica y en el deseo. Es necesario añadir la expectativa. Peirce utiliza el concepto *would-be* mientras que James utilizó el *aboutness*. Es difícil traducir estos conceptos con la claridad que pretendieron Peirce o James. Por esto creo que un ejemplo explicaría mejor lo que intentan argumentar Peirce y James. El ejemplo ilustra la adquisición del significado del objeto *mesa*.

- *Objeto mesa*. Para adquirir el significado de forma clara acorde al método pragmático de James, es preciso conocer qué efectos produce este objeto y/o que efectos se espera que produzca. Es decir, el concepto *mesa* es un objeto que hasta ahora ha sido de características físicas variables -sobre la que se puede comer, trabajar o simplemente situar cosas-, y que se espera que esta siga cumpliendo estas funciones. Pensar que un objeto pueda cumplir la función de una mesa bastaría para llamarla mesa. Los efectos positivos que produce en este caso serían que yo la pudiese usar para situar objetos, comer o escribir sobre ella. El *aboutness* de James es expectativa acerca de la mesa: el objeto mesa es una mesa mientras trate acerca de lo que una mesa trata. Así, el hombre tiene la idea clara de un objeto.

Peirce compara, para facilitar el argumento, la claridad de los significados de los objetos con la familiaridad o el *would-be* que uno tiene hacia ciertas ideas que hacen que una mesa sea una mesa. Si a un hombre le es familiar un significado, este le es claro. En este caso, tendrá la expectativa de qué es lo que se requiere para que algo funja como una mesa. Y este significado de mesa no puede, cuando es familiar o claro, considerarse al falso (Peirce, 1957: 50-51).

El creer no es un modo momentáneo de la consciencia sino que es un hábito mental inconsciente y continuo (Peirce, 1940: 257). Ahora bien, ¿cómo y de dónde se adquieren estas creencias? Peirce es un empirista y por este motivo, la respuesta naturalmente es que las creencias provienen de la observación factual (Peirce, 1957: 235). La observación produce hábitos/creencias que la mente organizará y utilizará para la creación proposicional. Estas creencias se convertirán en conocimiento perfecto cuando la mente se encuentre en un estado de creencias fijas (Peirce, 1940: 258).

Sin embargo, ¿cómo se llega a un conocimiento perfecto mientras la creación experimental sea incierta?, ¿cómo se fijan las creencias? y ¿cómo se fijan las creencias de procesos hipotéticos o inobservados?⁶³ Para esto, Peirce requiere de otros instrumentos además de los hábitos y la mera observación para estudiar la creación proposicional de procesos causales.

- *Reglas para actuar*: Los instrumentos para Peirce son las *reglas para actuar*, las cuales son el epicentro del término peirciano llamado *abducción*. Es gracias a estos instrumentos de la abducción e inducción que Peirce explica el paso hacia la adquisición

⁶³ La observación puede únicamente, según Peirce, tratar acerca de eventos ya ocurridos y por ende, observados. Pero no trata acerca de futuras observaciones donde pueda existir duda. Esto provoca que las observaciones, por sí mismas, no contengan conocimiento para la praxis.

de significados de lo inobservado.⁶⁴ En esto centraré mi atención durante las siguientes páginas. Sin embargo, para este punto, necesitare primero explicar los atributos que da Pierce a la inducción con el objetivo de facilitar el entendimiento de la *abducción*.

La inducción tanto para Peirce como para James tiene un matiz un tanto diferente del que tradicionalmente se le atribuye en la filosofía de la ciencia. Por lo tanto, comenzaré por explicar qué es la inducción para el Pragmatismo con lo redirigiré esta investigación de nuevo al tema central, es decir, el problema de la justificación inductiva.

La primera diferencia que existe en la inducción vista por el Pragmatismo es el rompimiento que se tiene con la idea baconiana y con la concepción de inducción de Stuart Mill. Mientras que para Bacon, el hombre debía estructurar la naturaleza mediante leyes que expliquen una uniformidad en sus procesos causales, para el Pragmatismo y en especial para James, el hombre pierde su poder activo en el establecimiento de leyes estructurales de la naturaleza. El hombre pierde su derecho a determinar leyes fijistas que decreten el comportamiento de la naturaleza debido a que estas no pueden estar garantizadas por el método inductivo tradicional de enumeración de observaciones; este método no garantiza para James y Peirce la certeza epistemológica que pretenden las leyes científicas.

Esto no quiere decir que las predicciones o teorías científicas sean inútiles. De hecho, James establece lo contrario. Empero lo que sí es inútil, según el Pragmatismo, es la búsqueda de leyes invariables que uniformicen de forma necesaria a la naturaleza. James diluye la visión de Bacon al decir que el hombre ya no es más un dador de leyes de la naturaleza sino que en realidad, debe de ser un receptor del comportamiento de la

⁶⁴ En la lógica de la abducción y de la inducción se encuentra la creación de proposiciones causales y no solamente la adquisición de significados individuales.

naturaleza. La naturaleza para James es la que se mantiene firme frente al hombre que es quién debe de adaptarse a ella; el hombre debe someterse a ella James, 2003: 7).⁶⁵

Entonces, si la justificación que dio Bacon acerca de la certeza a través de una enumeración de casos es descartada, ¿qué tipo de justificación inductiva pretende el Pragmatismo? No es enteramente correcto que el Pragmatismo descarte el método inductivo. Mejor dicho, solamente descarta la pretensión de una justificación que suponga efectos necesarios allende a la utilización que el hombre pueda tener de ellos.

El método inductivo operacional se mantiene funcional y útil en la predicción de eventos para los pragmatistas. Hablar de una ley o de una predicción azarosa equivalentes para James siempre y cuando la predicción se cumpla. En caso contrario, el Pragmatismo se inclinará hacia la que le sea más útil al hombre. No obstante, esta es un arma de dos filos.

Por un lado y a favor, el alto número de experimentos que se requieren para crear una ley haría que la predicción *a* pase ley; por otro lado, el problema se presenta para la caracterización legal de una predicción, cuando una hipótesis o una predicción *b* presente causalmente la misma funcionalidad y veracidad que una ley estricta y basada en una amplia experimentación. En este caso, es cierto que el Pragmatismo no tiene porqué inclinarse hacia la predicción *b*, pero sí tiene que rechazar la caracterización única de una ley determinista *a*. Ambas, mientras tengan la misma funcionalidad, son equivalentes. No habría necesidad de llamar a una ley y a otra hipótesis, aun cuando una esté sustentada en la experimentación científica y la otra en la causalidad.

La discusión descartará la existencia de la necesidad en las leyes mientras los efectos sean los mismos para el hombre que los efectos de una hipótesis cuasi efectiva.⁶⁶ Continuare

⁶⁵ Peirce también se distancia de la filosofía baconiana diciendo esta no es adecuada al proceder científico (Peirce, 1957: 4; y Peirce, 1940: 45).

con esta discusión al final de este capítulo una vez que todos los instrumentos pragmatistas hayan sido explicados.

Esta es la concepción de la inducción por parte de James, sin embargo, Peirce va un poco más lejos y da una justificación de la percepción pragmática de la predicción. La inducción para Peirce es un proceso que al mismo tiempo es selectivo y creativo; es selectivo porque nace de la pertinencia de las características en común de una serie de proposiciones o premisas para poder considerarlas dentro de una clase o un subgrupo (Peirce, 1957: 129). La inducción para Peirce es un proceso de muestreo en el que son tomados aleatoriamente un número de especímenes de una clase, pero los cuales deberán coincidir en un gran número de sus características (Peirce, 1957: 113).

Esta clasificación será, según Peirce, la que le dé validez a la inferencia, y no la idea de la uniformidad de la naturaleza como otros filósofos habían mantenido. El proceso inductivo es para Peirce un paso creativo. Este, al determinar clases, genera reglas de acción con las cuales establecer las inferencias inductivas (Peirce, 1957: 114). De esta forma, la inducción no es una consecuencia de la experimentación y la observación sino de una discretización de atributos dentro de un proceso, una relación acorde a su pertinencia dentro del evento y un establecimiento de reglas acerca de qué efectos esperar de ciertos procesos causales (Peirce, 1957: 113-117).

La regla de acción es la que asienta la posibilidad de la veracidad de la predicción. Si la predicción es correcta, se mostrará que el proceso ha sido uniforme. En este caso, la uniformidad es una prueba de la regla y no la regla una prueba de la uniformidad (Peirce,

⁶⁶ Aquí se puede debatir que en la ciencia el conocimiento de una ley produce un diferente efecto al conocimiento de una predicción. Sin embargo, esta concepción forma parte de entrelazado de la concepción mecanicista de la ciencia. Esta concepción tendría como axioma la búsqueda de la necesidad pero esto no quiere decir para sea un axioma para todas concepciones científicas. Tampoco necesita ser un requisito, sino basta con ser convencional. Precisamente el tema de esta investigación es el argumentar la amplitud de la validez de la axiomática de una ciencia mecanicista.

1957: 106). En cierta forma, la regla tiene la función de un axioma que describe los límites de una predicción sin tener que sustentarse en la uniformidad de la causalidad. En realidad, la regla determina la uniformidad acorde a su practicidad y a su verdad práctica (Peirce, 1957: 248).

- El rechazo al sustento de la inducción en la uniformidad de la naturaleza viene debido a que, para Peirce, la uniformidad trae consigo mayores problemas de los que resuelve. Ahora bien, la inducción acorde a Peirce, provee una guía con características similares a la causa formal aristotélica pero la mantiene siempre al alcance del significado de los objetos y proposiciones que le da el hombre. Este significado no es externo a él.

Es importante añadir que la inducción no se detiene únicamente en la creación de reglas; también realiza la misma función que realizaba tradicionalmente. La inducción genera el paso de lo observado a lo inobservado; la inducción hace predicciones. Pero la diferencia es que la inducción en Bacon y Mill requería de la uniformidad para validarse mientras que para Peirce, la predicción es válida en la misma inducción. La inferencia inductiva deja de ser una inferencia que habla de predicciones válidas al haberse observado predicciones similares anteriormente; para Peirce, la predicción es válida porque la inducción implica que acorde a una muestra de observaciones, la regla, al identificar los atributos relevantes que hacen que una hipótesis pueda ser verdadera, determina que la predicción sea válida.

Si un metal se dilata al calentarse en un determinado número de casos, creará la regla: “un metal x al ser calentado a una temperatura t un tiempo z se dilatará”. Esta inferencia sería tradicionalmente una inferencia inductiva consecuente de la generalización a partir de una serie de observaciones de casos similares. Pero en el caso del Pragmatismo, esta es más bien una regla que determina qué esperar de los casos subsecuentes. De este modo, la generalización no es el fin de la inducción sino un método para validar la predicción/hipótesis o caso siguiente. Clarifica Peirce:

“El objetivo del razonamiento es encontrar algo que no sabemos a partir del examen de lo que ya conocemos. Por lo tanto, un razonamiento es bueno cuando este provee una conclusión verdadera a partir de premisas verdaderas y no de otro forma. Entonces, la pregunta por la validez es una pregunta factual y no de pensamiento. Si *A* son los hechos expresados en las premisas y *B* es la conclusión, entonces la pregunta se da en saber si estos hechos están relacionados de tal forma que si sucede *A* entonces también sucedería *B*. En caso afirmativo, la inferencia es válida; en caso contrario, no. La pregunta no tiene que ver con el impulso que sentimos para aceptar también la conclusión cuando las premisas son aceptadas por la mente.”⁶⁷

Más adelante dice:

“La gran diferencia entre la inducción y la hipótesis es que la primera infiere la existencia de fenómenos similares a los que hemos observado en casos anteriores, mientras que la hipótesis supone algo que es de diferente tipo de lo que hemos observado, y frecuentemente algo que es imposible para nosotros de observar directamente. De este modo, cuando estiramos una inducción más allá de los límites de nuestra observación, la inferencia se alimentará de la naturaleza de la hipótesis. Sería absurdo decir que no tenemos garantías inductivas para una generalización que se extiende un poco más allá de los límites de la experiencia...Aun así, si una inducción es empujada muy remotamente, no le podemos dar crédito a menos que encontremos que dicha extensión explica algunos hechos que podemos observar y que de hecho observamos. Aquí, entonces, tenemos una forma de mezcla entre inducción e hipótesis, sustentándose reciprocamente; y son de este tipo la mayoría de las teorías físicas.”⁶⁸

La inducción se libera de la carga que sostenía anteriormente: la justificación a través de la uniformidad de la naturaleza. Peirce es humeano y entiende que la uniformidad es inverificable por *principio*. Por este motivo crea el sistema de reglas e hipótesis de casos

⁶⁷ Traducción del original en Peirce: “[t]he object of reasoning is to find out, from the consideration of what we already know, something else which we do not know. Consequently, reasoning is good if it be such as to give a true conclusion from true premises, and not otherwise. Thus, the question of validity is purely one of fact and not of thinking. A being the facts stated in the premisses [premisses en original] and B being that concluded, the question is, whether these facts are really so related that if A were B would generally be. If so, the inference is valid; if not, not. It is not in the least the question whether, when the premisses [en original premisses] are accepted by the mind, we feel an impulse to accept the conclusion also” (Peirce, 1957: 7).

⁶⁸ Texto original de Peirce: “[t]he great difference between induction and hypothesis is, that the former infers the existence of phenomena such as we have observed in cases which are similar, while hypothesis supposes something of a different kind from what we have directly observed, and frequently something which it would be impossible for us to observe directly. Accordingly, when we stretch an induction quite beyond the limits of our observation, the inference partakes of the nature of hypothesis. It would be absurd to say that we have no inductive warrants for a generalization extending a little beyond the limits of experience... Yet, if an induction be pushed very far, we cannot give it much credence unless we find that such an extension explains some facts which we can and do observe. Here, then, we have a kind of mixture of induction and hypothesis supporting one another; and of this kind are most of the theories of physics” (Peirce, 1957: 140-141).

particulares en el pensamiento inductivo. Este sistema mantiene la característica de ser una forma o método de pensamiento para pasar de los datos observados a las predicciones verificables pero sitúa el peso de la justificación en una inferencia explícitamente artificial, es decir, en una regla. La inducción está aglomerada usando reglas falibles. Así, el problema inductivo humeano aparentemente desaparece.

Las inferencias inductivas serán verdaderas mientras no se encuentre una muestra que indique que la regla deba de ser diferente. Y cuando se encuentre que la regla no satisface más a los requisitos del proceso de verificación de la hipótesis, la regla cambia. Así, las hipótesis serán válidas mientras la inducción sea verdadera pero cuando la regla inductiva encuentre que un metal x al calentarse no se dilata en todos los casos o bajo muy específicos atributos, la hipótesis de la dilatación del metal x dejará de ser válida para convertirse en una hipótesis que pueda ser válida para una nueva regla.

El Pragmatismo es un sistema integral y retrospectivo. Una regla inductiva determina la expectativa del caso en el que se crea una hipótesis pero al mismo tiempo, la verificación de la hipótesis configura la continuidad de la regla. La regla válida a la hipótesis. El Pragmatismo valida epistemológicamente su ontología. Así lo hace con los significados de los objetos y con los procesos en la naturaleza; la causalidad para el pragmatista es una causalidad enteramente epistemológica.

Si bien el Pragmatismo no descarta la existencia de una uniformidad causal ajena al conocimiento de la mente, no la toma en cuenta si esta se distancia de la causalidad que conoce la mente. Para el pragmatista, la ontología y la epistemología de la causalidad son sinónimos en función. Si una cambia, la otra cambia al mismo ritmo. Esto, como ya se dijo, quita el peso de la justificación basada en una separación entre ontología y epistemología de la causalidad pero no se libra de este peso completamente; en cambio lo que hace realmente, es distribuirlo a lo largo de todo el argumento pragmatista.

- En la búsqueda de explicar la creación de inferencias causales surge un problema cuando se descarta el requisito de la uniformidad en la naturaleza. La uniformidad de la naturaleza tradicionalmente no solamente valida a la justificación de la expectativa del significado sino que también establece una constancia o permanencia de los significados adquiridos; cuando se llega a una conclusión de acuerdo a un proceso inductivo, se descarta la posibilidad de que con las mismas premisas y mismos métodos, la conclusión sea diferente. La uniformidad de la naturaleza define que las experiencias del pasado sean similares a las experiencias futuras, y al mismo tiempo define que estas experiencias futuras sean similares a las experiencias en un futuro más lejano. Así que, la uniformidad estabiliza la creación y manutención de significado.

Entonces ¿qué sucede cuando esta uniformidad es prescindible? Si el pasado *per se* no valida directamente la expectativa del futuro, sino que es a través de una regla artificial que se valida la expectativa, ¿cómo poder asegurar, no que la expectativa sea verdadera, sino que una expectativa, falsa o verdadera, sea constante? En un momento y a partir de las mismas premisas, un hombre puede establecer un sin número de hipótesis, las cuales pueden influir en un sin número de reglas inductivas; y además, nada de esto asegura que el hombre pueda pronunciar una misma hipótesis en caso posterior. ¿Cómo resuelve esto Peirce?

Tradicionalmente, si un metal x se dilata al calentarse -y siendo que este fenómeno es uniforme a lo largo de los metales x -, el metal adquirirá en su definición los atributos que lo hacen pertenecer a esa clase de objetos. El Pragmatismo se encuentra entonces en la disyuntiva de deber de aceptar entonces la uniformidad de la naturaleza debido a que esta provee efectos prácticos que producen una diferencia real a la hora de definir objetos. En cambio, Peirce provee una propuesta justificable *a priori* para evitar regresar a la problemática de la uniformidad de la naturaleza. Esta propuesta se encuentra en la *abducción* y el *principio guía*.

- *Guiding/leading principle.* El *guiding o leading principle* responde a la pregunta de por qué de ciertas premisas se llega a inferencias o conclusiones muy específicas y no a otras (Peirce, 1940: 133).⁶⁹ Tradicionalmente se diría que todo esto pertenece a la caracterización del pensamiento, y más específicamente, del pensamiento sintético. Y claro está, este pensamiento sintético requiere de la inducción. Sin embargo para Peirce, el equivalente del pensamiento sintético no es una suma de observaciones ciegas que desembocan en una inferencia inductiva. El pensamiento inductivo para Peirce es aquello que determina que la conclusión o inferencia adquirida en los procesos causales proviene de una suma de procesos mentales, los cuales guían a la inferencia a través del proceso para que sea válida y pueda ser verdadera.⁷⁰

Este principio es aquello que determina la especificidad de los procesos causales. El principio, dice Peirce, es un tipo de hábito mental que determina el establecimiento de conclusiones a partir de una serie de premisas. Este principio es un tipo de hábito de la mente (Peirce, 1957: 8). El *guiding/leading principle* es la unión *a priori* de la observación, la expectativa y la generalización: es la guía de la expectativa validada por la regla inductiva.

Ahora bien, aun cuando la inferencia es guiada, surge otra pregunta en relación a la correcta selección de hipótesis acerca de un caso particular -efectos- dentro de un conjunto de todas las hipótesis posibles de un proceso fenoménico -causa-. Este es el caso de la *abducción*.

- *Abducción.* La abducción para Peirce es el punto en que comienza y se mantiene una hipótesis ya sea como una simple propuesta o como una proposición basada sobre

⁶⁹ Un ejemplo de lo que se refiere Peirce con la utilización de este principio es al decir que aquello que es verdadero para una pieza de cobre, será verdadero para otro pieza de cobre (Peirce, 1957: 8).

⁷⁰ No obstante, esta inferencia no requiere ser una generalización, lo cual es el problema cuando se intenta sustentar la validez en la uniformidad. Esta inferencia será singular. Por eso, será una hipótesis.

algún grado de confianza. La *abducción* es entonces un primer paso inferencial en el que se incluye una preferencia por una u otra hipótesis sobre otras posibles que también pudiesen explicar el hecho observado (Peirce, 1957: 236-237).

En la *abducción* es evidente tanto la circularidad del sistema peirciano como su dependencia a la practicidad de la expectativa. La *abducción* cierra el sistema al ser un enlace entre hipótesis y significado. ¿Por qué escoger una hipótesis y no otra, si ambas pueden ser aceptadas? La respuesta es la practicidad de la expectativa del significado. Es el significado para el hombre lo que determina en cierta manera qué hipótesis escoger.

La expectativa de la practicidad hace al Pragmatismo un sistema cerrado y retrospectivo: si hubiera diferentes efectos, habría diferentes significados, lo que cual cambiaría la validez de las inferencias y así la veracidad de las conclusiones creando nuevas conclusiones acorde al diferente hábito. Así que en cada hipótesis se encuentra ya la expectativa de su resultado. Cualquier hipótesis debe de ser aceptada con la condición de poder ser verificada experimentalmente únicamente si es posible dicha verificación (Peirce, 1957: 252-254).

Ahora bien, vale preguntar si realmente se disuelve a través del Pragmatismo el problema humeano. El Pragmatismo da un *tour de force* al requisito de la uniformidad de la naturaleza y con eso evita la exigencia de validar la certeza de esta. El mérito de Peirce y de James es que realizan una explicación en vez de una justificación de las inferencias causales. El Pragmatismo encuentra que esta explicación se justifica a través de la circularidad del sistema, empujada por principios de tipo axiomático.

Los principios del Pragmatismo de Peirce explican por qué se dan ciertos procesos en la creación inferencial sin requerir justificación, pues son artificiales y arbitrarios. El punto que limita la arbitrariedad con la que se determinan estos principios es la practicidad que adquieren las inferencias relacionadas a la adquisición del conocimiento. Con este objetivo

en mente, y sin pretensiones deterministas, el Pragmatismo logra explicar porqué las inferencias de procesos causales tienen matices de certeza aun cuando esta sea inaccesible. Cerraré este capítulo con algunas de las implicaciones que trae consigo esta concepción acerca de las inferencias causales.

- Así como para Hume la epistemología mecanicista representaba una pretensión inaccesible, el Pragmatismo encuentra en el mecanicismo un sinsentido. El problema humeano se disuelve pero no con una solución para poder perseguir el determinismo que pretenden las leyes mecanicistas sino con la disolución de la pretensión del determinismo estricto. Esta es la mayor implicación de la epistemología de las inferencias causales a partir del Pragmatismo.

El Pragmatismo no solamente hace a la causalidad necesaria inalcanzable, sino también la hace inservible; la hace un concepto vacío. La causalidad se mantiene dentro del territorio positivista pero evita una abstracción inverificable. Esta concepción se mantiene dentro de una funcionalidad tangible descartando necesidad, la certeza absoluta y la universalidad (Peirce, 1940: 56).⁷¹ Dice Peirce:

“El espíritu científico requiere que un hombre este siempre preparado para desechar su carga completa de creencias en el momento que encuentre que la experiencia es contraria a ella. El deseo por aprender le prohíbe estar completamente seguro de lo que sabe. Además, la ciencia positiva puede solamente basarse sobre la experiencia; y la experiencia nunca puede derivar en certeza absoluta, exactitud, necesidad o universalidad. Sin embargo, es precisamente con lo universal y con lo necesario, es decir, con leyes con lo que la ciencia se ocupa. Por lo tanto, el real carácter de la ciencia se destruye en el momento en el que un adjunto [y no la ciencia] sea el que dirige; y especialmente todo el progreso de la ciencia inductiva es llevada a un punto muerto.”⁷²

⁷¹ Me refiero con el término tangible al sentido de observable, y más específico de efectividad observable.

⁷² Texto original: “[t]he scientific spirit requires a man to be at all times ready to dump his whole cartload of beliefs, the moment experience is against them. The desire to learn forbids him to be perfectly cocksure that he knows already. Besides positive science can only rest on experience; and experience can never result in absolute certainty, exactitude, necessity, or universality. But it is precisely with the universal and necessary, that is, with Law (con)science concerns itself. Thus the real character of science is destroyed as soon as it is

El Pragmatismo se define en contra de los límites y del fijismo; se determina a estar en contra de la certeza absoluta, tanto la positiva como la escéptica (Peirce, 1940: 55, Peirce, 1957: 55); y así, con el Pragmatismo se desvanece la ilusión laplaciana (Peirce, 1940: 56). La reglamentación que hace Peirce no establece un requisito necesario de una dependencia generativa en las inferencias inductivas. Mejor dicho, el Pragmatismo hace que la causalidad en las inferencias sea una relación funcional y regular entre dos eventos, mas no necesariamente una conexión causalmente estricta. La causalidad en el Pragmatismo no requiere ser propiamente eficaz sino solamente constante, ya que las inferencias causales se basarían únicamente en una conjunción constante entre un evento *causa* y otro evento *efecto*. De esta forma, el Pragmatismo reduce la causalidad efectiva a una regularidad estadística.

Por supuesto que la causalidad, en sentido determinista, podría encontrarse detrás de esta reducción relacional pero al mismo tiempo, podrían también entrar muchos otros tipos de relación no-causales siempre y cuando estas relaciones sostengan una constancia suficiente para poder situarlas dentro de una relación funcional fiable.

El Pragmatismo y el sistema de reglas de Peirce, como igual sucede con la lógica deductiva, sostienen que las inferencias considerarlas causales no requieren expresar una causalidad enteramente eficiente sino que las inferencias pueden ser consideradas causales mientras presenten una suficiente regularidad relacional para su observador, que en ningún momento requiere ser de tipo laplaciano. La regularidad brinda al observador la confianza necesaria para poder sustituir un supuesto de necesidad causal inalcanzable por una metodología basada en la eficiencia regular.

made an adjunct to conduct; and especially all progress in the inductive science is brought to a standstill” (Peirce, 1940: 46-47).

Las reglas de Peirce, a pesar de que pueden ser no-causales, indican una regularidad fenoménica que sostiene a una causalidad epistemológica. Epistemológicamente hablando, la eficacia fenoménica de los procesos es regulada por la permanencia efectiva - verificacional- de las inferencias o reglas mas no por una reducción efectiva o de dependencia causal; es decir, mientras las inferencias o reglas se regulen con la presencia de los efectos esperados, estas reglas no se romperán aun cuando la causalidad este ausente.

Un ejemplo de esta situación sería que para la regla, “todos los metales se dilatan al calentarse”, su inferencia inductiva “el siguiente metal x que yo caliente se dilatará”, no hable de una relación condicional sino de una relación funcional. El requisito para que esta inferencia sea válida es que sea verificable, mas no requiere sostener la explicación del porqué el calor produce una dilatación en los metales; la causa de la dilatación sigue siendo el calentamiento del metal, pero puede ser el caso que el calor no sea la causa de la dilatación sino que solamente sea un elemento causalmente constante. En resumen, la verificación del efecto y no la causalidad es lo que designa la regla.

En las reglas inductivas, la relación ontológica de la causalidad no es propiamente una condición primordial. Esto no quiere decir que la constancia y la causalidad no puedan ser simultáneas o dependientes. Bien puede ser el caso, y en la mayoría de las inferencias causales sucede esto, que la constancia se deba a que la causa esté presente y por ende, la constancia efectiva persista únicamente cuando se está contigua a la causa. Pero también puede ser el caso que la determinación científica de un evento se aleje de la pretensión explicativa si se sigue únicamente este tipo de caracterización funcional de las leyes. Para ilustrar a lo que me refiero, explicaré a continuación un ejemplo imaginario.

En la medicina es fácil de imaginar una situación en la que un paciente bajo la presencia de un efecto A' (síntomas) reciba un diagnostico de su doctor que dice que este efecto A' es

causado por la presencia de una bacteria A . Sin embargo, puede ser el caso que estos síntomas A' no sean causados por la bacteria A sino por un virus B . Y sea esta, la causa B - oculta y más sutil- el real agente causal de los síntomas A' . Entonces, el efecto A' (síntomas) es producido por la causa B (virus) y no por la causa A (bacteria).

Aun así, la regla, “Para todo A (bacteria), entonces A' (síntomas)”, no se rompería necesariamente aun cuando el agente causal sea el virus B ya que puede ser el caso de que en la presencia de un virus, también aparezcan los mismos síntomas A' de la bacteria A . Es fácil de imaginar que el virus y la infección puedan desaparecer simultáneamente: una debido al tiempo de incubación y/o al tiempo de reacción de los anticuerpos y la otra debido al tratamiento de algún antibiótico. El tratamiento y la reacción de los anticuerpos podrían ser simultáneos. Es importante ver aquí que los indicios en el paciente -dolor y/o malestar- serían sintomáticos de una infección A' para todo doctor que desconozca la existencia contigua del virus; mientras que los síntomas realmente evidencian la presencia de un virus B para un observador de tipo laplaciano.

Lo que quiero dejar en claro es que para el Pragmatismo, la característica causal en las inferencias proviene primordialmente de dos variables: la primera, ya mencionada, es la constancia de los efectos verificables; y la segunda es la presencia de una causa observable que no requiere ser necesariamente la causa eficiente; siguiendo el ejemplo imaginario mencionado con anterioridad, el virus no sería el agente causal para un observador no-laplaciano siempre y cuando la bacteria actúe como si fuera el agente causal de los síntomas.

- Más que hablar de la diferencia entre las capacidades de un observador laplaciano y uno no-laplaciano, quiero hacer mención principalmente de dos cosas: una, es que cuando se ven las leyes científicas bajo la lupa del Pragmatismo, es posible notar la presencia de

un supuesto de la causalidad en vez de la causalidad *per se*;⁷³ y la segunda, es que por el mismo efecto del supuesto de la causalidad, la lupa hace notable una pequeña separación entre la legalidad científica y el determinismo causal.⁷⁴ Del primer punto, se puede entender la implicación importantísima acerca de que para la praxis científica, el supuesto de la uniformidad en la causalidad provee la misma certeza que podría dar un principio metafísico de causalidad necesaria.⁷⁵ Del segundo punto, hablaré a continuación.

En relación a esto, sería absurdo hacer la generalización de que todas las leyes científicas no son causales, y/o afirmar que se sustentan únicamente en proyecciones regulares. Pero con la misma moneda, es importante también evitar el reduccionismo opuesto y hablar ciegamente de la causalidad presente en todas las leyes científicas. En muchos casos y por diversos motivos, estas leyes contienen un concepto de causalidad tan elástico que provoca muchas dificultades para definir si todavía se habla de un proceso causal, estadístico, regular o simplemente azaroso. Unir todas estas funciones en un único concepto de causalidad -libre de conflictos- resulta casi imposible.

Esta fue la forma en que Russell, y un poco menos explícito en Poincaré, entendieron la concepción de la causalidad; unieron el pragmatismo científico con la capacidad verificativa de la ciencia evitando toda dificultad innecesaria como lo son los conceptos absolutos. Esto finalmente llevó a Russell a la eliminación de la causalidad en las leyes científicas.

⁷³ Con causalidad me refiero, como a lo largo de este trabajo, de la causalidad necesaria de sentido humeano.

⁷⁴ Escribo “determinismo causal” como consecuencia de la creación de un sistema de inferencias basadas en la causalidad necesaria de tipo humeano.

⁷⁵ Por supuesto se puede objetar también fácilmente que el doctor de este ejemplo deberá de seguir un método científico en una real clasificación sintomática de los virus y de las infecciones. Pero esta cuestión es, creo, perteneciente a la metodología de la inducción y de la causalidad y lo dejaré para un capítulo posterior mientras que me centraré por ahora en las implicaciones de que las reglas no suponen necesariamente un contenido contra-fáctico, condicional, etc., o más específico, de causalidad ontológica.

CAPITULO 3

La causalidad de Russell

Russell en su ensayo *Sobre la noción de causa* propone un rechazo del término de causalidad en el uso filosófico y científico debido a la confusión que contrae este por la diversidad de atribuciones con las que se le asocia. Russell escribe que acerca de las razones por las que la ciencia debería de sustituir el requerimiento filosófico de una ley de causalidad son para disminuir los riesgos de una vaguedad en la metodología científica.⁷⁶

En un célebre párrafo, dice Russell:

“La ley de causalidad, creo yo, como tantas otras cosas que aceptan los filósofos, es una reliquia del pasado que sobrevive como la monarquía sólo porque se supone erróneamente que no es dañina”.⁷⁷

¿Por qué está tan seguro Russell de que la ciencia no utiliza un principio de causalidad en su creación legal? La respuesta, en parte, reside en el principio de parsimonia. Durante dos siglos después de Hume, todavía no se podía llegar a un consenso acerca de la justificación epistemológica de la causalidad necesaria en las leyes. Russell determinó entonces que era mejor alejarse del conflictivo término de la causalidad necesaria ya que este era incoherente con la estructura positivista de la ciencia contemporánea a Russell.

⁷⁶ La ciencia, según Russell, reemplaza entonces el principio de causalidad por un principio de uniformidad y, “[a]unque la vieja <ley de causalidad> no es aceptada por la ciencia, lo que sí acepta es lo que podemos llamar la <uniformidad de la naturaleza>, mejor dicho, la acepta sobre una base inductiva. La uniformidad de la naturaleza no afirma el principio trivial <misma causa, mismo efecto>, sino el principio de la permanencia de leyes” (Russell, 2001: 268).

⁷⁷ Russell [2001], op. cit., pág.248

Lo riesgoso del concepto de causalidad se debe a que no se puede reducir este concepto a una caracterización única. Ya desde Aristóteles la causalidad había tomado cuatro tintes diferentes presentando cuatro tipos causales. Pero de ellos solamente un tipo permaneció con la llegada de la ciencia contemporánea; permaneció la causa eficiente sobre la material, la formal y la final. El estudio de la mecánica fenoménica mostraba la relevancia de la causalidad eficiente, restando importancia a la causalidad final, remitiendo la causa material a la investigación ontológica y limitando a la causalidad formal al análisis lógico y semántico.

La exclusión del principio causal en la creación legal fue la mayor de las implicaciones del reduccionismo positivista y pragmático de Russell;⁷⁸ la otra fue la pérdida de la certeza determinista aunque esta vino desde las mismas investigaciones científicas. Trataré en el siguiente capítulo esta segunda implicación pero por el momento regreso al tratamiento que da Russell a la ley de causalidad para entender el reduccionismo russelliano de la causalidad. Comenta Russell:

“La función esencial que se atribuyó a la causalidad es la posibilidad de deducir el futuro a partir del pasado o, en términos más generales, de acontecimientos de cualquier momento a partir de acontecimientos de momentos determinados”.⁷⁹

El problema viene cuando se nota que esta función determinista puede ser realizada por un supuesto de uniformidad menos ambicioso; no habría la necesidad de perseguir un principio inalcanzable de causalidad necesaria sino que bastaría con un sustento probabilista (Russell, 2001: 263). Por lo tanto, argumenta Russell, es posible prescindir de la causalidad.

⁷⁸ Esto no quiere decir que Russell impuso un límite en el conocimiento en la legalidad de la ciencia, sino lo que Russell sugiere es remover elementos innecesarios o conflictivos en la práctica científica. Podría considerarse una tarea similar a la que realiza Descartes en su búsqueda epistemológica de ideas claras fuera de duda.

⁷⁹ Russell [2001], op. cit., pág. 272

Muchos filósofos tanto contemporáneos a Russell, como anteriores y posteriores, mantuvieron la existencia de un principio de causalidad aun cuando compartieron muchas de las expectativas positivistas de la filosofía de Russell, de Hume y de Mach, entre otros. Es de llamar la atención que aún después de casi un siglo -sin mencionar a filósofos anteriores a Russell como Stuart Mill y el propio Mach- en las investigaciones de Salmon, Price, Goodman, Hempel, Carnap, Suppes, Mackie, Reichenbach, Popper, Schlick, Espinoza, Bunge, Whitehead, Cartwright, Lewis y muchos más, no se ha podido llegar a un consenso general, de qué es y qué no es la causalidad.

Esta discrepancia no solamente agrupa diferencias ontológicas sino que también agrupa posiciones contrastadas de las capacidades, de las funciones y de las pretensiones de todo lo que concierne a la causalidad. Por este motivo, en el caso de la causalidad necesaria Russell entiende que el desacuerdo es inevitable, pero aún más importante, este desacuerdo es al mismo tiempo gratuito. Russell, entonces, pretende liberar a las leyes científicas del determinismo inalcanzable de la causalidad necesaria.

Russell siguió los pasos de Hume al hacer congruente las aspiraciones de una ciencia creada por el hombre y no por absolutos. También es visible que en Russell se concentraron algunos de los principios del Naturalismo, del Pragmatismo, del Verificacionismo y del Falsacionismo; todo esto con una idea en la mente: la de lograr una filosofía más científica. Esta mezcolanza de principios hizo que la causalidad para Russell esté delimitada por los lineamientos positivistas aunque esté sustentada por un realismo causal que pueda avalar su eficacia y su utilidad para la ciencia.

En Russell se encuentra la misma posición moderadora en la que se encontró Locke entre el racionalismo y el empirismo cuando, por ejemplo, el debate se centraba alrededor de las cualidades primarias. El mejor ejemplo de esta moderación russelliana se muestra en la dicotomía entre el rechazo al principio de causalidad y en su identificación de la

fundamentación primordial de las leyes científicas sobre las leyes causales. Para Russell, la esencia de la ciencia es el descubrimiento de leyes causales; los hombres de ciencia, explica, deben buscar leyes causales, así como los recolectores de setas deben buscar precisamente setas (Russell, 2006: 101-102). Dice Russell:

“El determinismo presenta un doble carácter: por una parte, es una máxima práctica para guía de los investigadores científicos; por otra, una doctrina general respecto a la naturaleza del universo. La máxima práctica puede ser razonable aun si la doctrina general no es cierta o es dudosa....La máxima aconseja a los hombres que busquen las leyes causales, es decir, las reglas que conectan los acaeceres de un momento con los de otro. En la vida diaria guiamos nuestra conducta por reglas de esta especie, pero las reglas que usamos compran la sencillez a expensas de la exactitud....Tales reglas no son adecuadas para la ciencia que exige algo invariable. Su ideal fue fijado por la astronomía de Newton, en la que, por medio de la ley de gravitación, las posiciones pasadas y futuras de los planetas pueden calcularse por períodos de amplitud indefinida”.⁸⁰

La separación que hace Russell entre legalidad y causalidad no se da propiamente entre la función que realizan estos dos instrumentos en muchos casos, su función esta interrelacionada. En cambio, la separación se da entre el formalismo de las implicaciones del determinismo causal y el del determinismo legal.

La causalidad que estudia y descarta Russell es la que está implicada en el determinismo de estilo newtoniano, es decir, en el determinismo legal. Russell se preguntaba si era realmente válido hablar de la causalidad -necesaria- en la determinación ontológica de las leyes mecanicistas. Por un lado, las leyes causales para Russell no implicaban una determinación necesaria y completa de los estados futuros por sus estados pasados. Pero por otro lado, las leyes científicas se basaban originalmente en la causalidad aunque estas iban más lejos, dejando de ser causales. Si estas leyes pretendían ir más lejos, era necesario que implicaran una determinación de estados, ya que en caso contrario serían intrascendentes.⁸¹ Pero entonces, si el determinismo científico -mecánico- pretende ir

⁸⁰ B. Russell, *Religión y Ciencia* (Fondo de cultura económica: México D.F., 2006), pág. 101

⁸¹ Dice Russell: “[e]s una ley causal que los hijos de padres blancos son también blancos, pero si ésta fuera la única ley conocida de la herencia, no estaríamos capacitados para predecir mucho acerca de los hijos de

allende a la capacidad verificativa de las leyes causales, ¿cómo verificar que es verdadera la doctrina del determinismo mecánico, si acorde al positivismo, la verificación solamente se puede dar en procesos causales locales? Ó bien ¿cómo justificar este determinismo mecánico? Aquí entra la conceptualización russelliana de las leyes científicas.

Es importante recalcar que Russell no descarta la causalidad, o mejor dicho, la causación y el análisis causal en las leyes de la naturaleza y en las leyes científicas; en comparación, la función contrafáctica de la causalidad en Russell, no es desechada y reemplazada por una función relacional como lo hizo Mach. Para Mach, la concepción de la causa era significativa solamente como un medio de orientación (Mach, 1960: 582). Mach llega al planteamiento en el que la causalidad debe de ser reemplazado por el concepto de función, en donde la determinación de la dependencia entre dos fenómenos se vuelve el objeto de estudio y los conceptos físicos son mejor dicho un medio para alcanzar un fin; el objeto, la función, es una forma de exponer económicamente los hechos (Mach, 1960: 325).

Russell no solamente condensó la pretensión humanística del positivismo con un escepticismo falible y humeano sino que al mismo tiempo, lo unió con un realismo científico que sirve de referente primordial para el conocimiento del universo. Russell acepta que la ciencia es la mejor capacitada para conocer a la naturaleza pero al mismo tiempo acepta que un conocimiento total del universo es imposible o por lo menos, es imposible para el hombre.

El determinismo de Russell es todo menos estricto pero al mismo tiempo, cabe decir, es verdadero porque tiene límites inherentes. Estos límites se sustentan en la evidencia de las

padres blancos. El determinismo como doctrina general afirma que la determinación completa del futuro por el pasado es siempre posible teóricamente si sabemos lo suficiente del pasado y sobre las leyes causales. El investigador que observa algún fenómeno, de acuerdo con este principio, debe ser capaz de encontrar circunstancias previas y leyes causales que, juntas, hacen inevitable el fenómeno. Y habiendo descubierto las leyes, debe ser capaz, cuando observa circunstancias similares, de inferir que ocurrirá un fenómeno similar” (Russell, 2006: 102).

relaciones causales en la naturaleza y en la estructura formal de una legalidad artificial. Para Russell, las leyes científicas ya no se sustentaban en el principio de causalidad sino en la artificialidad de la regularidad -observable- mecánica, estadística, etc. Las leyes científicas, para Russell, dejan así atrás las limitaciones del positivismo y el problema de justificación de la causalidad, y se hacen verdaderas y al mismo tiempo deterministas -con todo lo que conlleva, es decir, predictivas o fiables entre otras cosas-. Huw Price y Richard Corry llaman a esta conceptualización de la causalidad, *La República de Russell*. Ellos hablan de la artificialidad que adquiere el término de causalidad en Russell ya que lo despoja de los atributos eternos, absolutos y/o por mandato divino, similares a los considerados de una monarquía.⁸² Por ahora, me sirvo del término de república de Russell por considerarlo muy conveniente y acertado.

- La ciencia abarcaba cada vez más niveles del conocimiento transformando cada vez más las creencias de la cotidianeidad en conocimiento fijo y concreto al atribuírseles el método científico. El conocimiento crecía conforme se mejoraba el método de investigación. A grandes rasgos, se transformaba la alquimia por la química, la recolección floral por la botánica de Rousseau y los estudios de Lineo, las teorías teológicas del origen del hombre por la Evolución de Darwin, etc. Así, el determinismo marcaba el paso científico a través de la eficacia en la predicción, el análisis y la verificación.

Sin embargo el determinismo de tipo laplaciano parecía ceder siempre que se tomaban en cuenta factores múltiples y/o con un alto grado de libertad de acción: desde la dificultad de predecir exactamente el comportamiento del choque de tres esferas hasta el actual social, pasando por el comportamiento molecular de los gases (Penrose, 2006: 256-257).

⁸² H. Price y R. Corry, *Causation, Physics, and the Constitution of Reality, Russell's Republic Revisited* (Oxford University Press: Oxford, 2007)

En estos casos se reemplazaba la imposibilidad del determinismo absoluto por la eficacia pragmática de la causalidad probabilista. El determinismo estadístico suplía la ilusión del determinismo de tipo laplaciano. Es de llamar la atención que la idea de la mente todopoderosa de Laplace se daba a conocer en un libro que estudiaba primordialmente las probabilidades. Comenta Javier de Lorenzo:

“De los tres pilares señalados [la Mecánica newtoniana, el Electromagnetismo plasmado en las ecuaciones de Maxwell y la Termodinámica], los dos primeros mantenían un cuadro mecanicista del universo, cuadro en el que todo parecía reducirse a materia en movimiento y a energía en el espacio-tiempo; y si había alguna dificultad con el electromagnetismo se incorporaba una hipótesis como la de admitir la existencia del éter, existencia con la cual se completaba el cuadro. Es la termodinámica la que, de alguna manera, altera este cuadro al establecer como principio una ley como la de Carnot, o segundo principio de la termodinámica, que expresa la irreversibilidad de los fenómenos termodinámicos. Segundo principio de la termodinámica que propiciaba el abandono del cuadro mecanicista, aunque a través de la mecánica estadística se intentaba mantener en cierto tipo de mecanicismo”.⁸³

A finales del siglo diecinueve y comienzos del veinte la ciencia admitió que realmente no requería ser estrictamente determinista. Mejor dicho, la ciencia dejó de requerir del determinismo de tipo laplaciano mientras fuera reemplazado este por un determinismo estadístico al ser este, el que realmente se utilizaba en la praxis científica. Es decir, justamente lo que Russell pretendía: la república de Russell descartó el acceso a la certeza no con la intención de limitar el conocimiento del universo sino para facilitar la justificación del determinismo de las leyes científicas.

- El positivismo pragmático de Russell hace de la causalidad probabilística una causalidad basada en la experiencia y ajena al anhelo de lo inobservable. Esta está sustentada en la adecuación entre la predicción y la verificación. Esta es falsable por *principio* al ser la misma experimentación y observación de un conjunto universal infinitamente incompleto lo que determina la expectativa efectiva de la causalidad, y no

⁸³ J. de Lorenzo, Introducción, en *Ciencia e hipótesis* (Espasa: Madrid, 2002), pág. 26

una inferencia inductiva basada en un número finito de experiencias o igualmente, en un principio metafísico.⁸⁴

Russell libera a la ciencia del requisito de justificación inductiva al proyectar a las leyes científicas como artífices ideales de conocimiento. En Russell, las leyes científicas, en comparación con las leyes causales y con la cotidianeidad, son elevadas al universo de lo ideal manteniéndolas alejadas de la corrupción de las limitantes verificativas del hombre. Por un lado, Russell hace de la ciencia un conjunto basado en capacidades ideales para usar como referencia mientras que por otro lado, la salva de la incapacidad para justificar las inferencias universales. Russell entendió que la certeza era inaccesible tanto para el hombre como para la ciencia positiva pero no era imposible para las leyes regulares, ideales, artificiales y/o convencionales. Esto no quiere decir que Russell atribuía un valor de verdad absoluta a las leyes científicas sino que les atribuía un valor de verdad artificial que en todo caso permanecía falsable al ser dependiente a la experiencia en la naturaleza.⁸⁵

- *Reichenbach*. Un filósofo que se aunó al concepto de causalidad russelliana fue Reichenbach. Es un tanto similar su tratamiento de la diferencia entre causalidad y

⁸⁴ Si bien la concepción de determinismo de Russell solamente lo aproximaba a lo probable, Russell tenía en mente un acceso a leyes últimas basado en la directriz que da el determinismo mecánico. Dice Russell en contra del argumento de Eddington a favor del indeterminismo -escrito unas páginas abajo-: “[l]a teoría de la probabilidad se encuentra en un estado muy poco satisfactorio, desde el punto de vista lógico y matemático; y no creo que haya ninguna alquimia por la cual se pueda producir regularidad en los números grandes partiendo del puro capricho en cada caso singular. Si la moneda realmente eligiera por capricho caer cara o cruz, ¿tendríamos alguna razón para decir que escogería una tan a menudo como la otra? ¿El capricho no le podría llevar a la misma elección? Esto no es más que una sugestión, ya que el asunto es demasiado oscuro para afirmaciones dogmáticas. Pero si tiene alguna validez, no podemos aceptar la opinión de que las regularidades últimas en el mundo tienen que ser sólo en grandes números de casos, y tendremos que suponer que las leyes estadísticas del comportamiento atómico se derivan de leyes, hasta ahora no descubiertas, del comportamiento individual” (Russell, 2006: 111).

⁸⁵ Para complementar con esta caracterización, es posible utilizar el famoso texto de Poincaré y cambiar el concepto de geometría por el de certeza o en su defecto por el de causalidad necesaria. Lo que haría del texto el siguiente: “[p]or selección natural, nuestra mente se ha adaptado a las condiciones del mundo exterior, que ha adoptado la [certeza] más ventajosa para la especial, o, en otros términos, la más cómoda. Esto está en un todo de acuerdo con nuestras conclusiones: la [certeza a través de la causalidad necesaria] no es verdadera, es ventajosa” (Poincaré, 2002:136).

legalidad ya que para él, la causalidad es un principio eficaz pero que al mismo tiempo no puede validar por *principio* a la estructura del conocimiento científico. Para Reichenbach, la ley causal es una relación *si-entonces siempre* pero al mismo tiempo el conocimiento de los objetos reales está basado solamente sobre leyes probabilísticas. En otras palabras, Reichenbach habla de la causalidad pero descarta un acceso a la certeza determinista; la causalidad es *si-entonces siempre* pero la ciencia es, más bien, probabilística. Dice Reichenbach:

“Como la repetición es todo lo que distingue a la ley causal de la mera coincidencia, el significado de la relación causal estriba en la afirmación de una repetición sin excepciones. No es necesario suponer que signifique más que eso. La idea de que una causa se conecta con su efecto por medio de una especie de resorte oculto, que el efecto tiene forzosamente que suceder a la causa, es antropomórfica en su origen y prescindible; *si-entonces siempre* es todo lo que quiere decirse por relación causal...No queremos decir nada más cuando hablamos de causalidad”.⁸⁶

Y añade:

“La ley de la causalidad, aun cuando sea verdadera, es válida sólo para objetos ideales; los objetos reales, con los que nosotros nos la tenemos que ver, son controlables sólo dentro de los límites de una cierta alta probabilidad, porque no podemos describir totalmente su estructura causal”.⁸⁷

- *Poincaré*. Otra manera de explicar la conjunción que se da en la conceptualización de la causalidad en Russell es al utilizar el concepto de convencionalidad poincariana - guardando sus distancias- y viendo algunas de las semejanzas que comparten las convenciones de Poincaré con los universales de Russell.

Análogamente al rechazo de la causalidad en las leyes científicas de Russell, Poincaré descartó un fijismo absoluto de las verdades del universo, tanto en los principios de la matemática como en la estructura matemática. Poincaré descartó la certeza en las

⁸⁶ Reichenbach [1973], op. cit., pág. 167

⁸⁷ Reichenbach [1973], op. cit., pág. 173

inferencias inductivas pero también situó a la investigación científica y a la inducción en una posición primordial para el estudio del funcionamiento del universo.

Para Poincaré el método de las ciencias físicas se basaba en la inducción al esperar que un fenómeno se repita con circunstancias similares a las de otro fenómeno en el pasado (Poincaré, 2002: 54). Esto hace que la inducción utilizada en las ciencias físicas sea siempre insegura debido a que se sustenta sobre una creencia de uniformidad u orden general del universo. Esta situación es contraria a la que sucede en la inducción matemática ya que esta impone necesariamente al ser una propiedad axiomática y convencional (Poincaré, 2002: 69).

Cabe recordar que Poincaré fue el primero en hablar de las convencionalidad en el uso de las geometrías acorde a su utilidad y comodidad. Así, Poincaré identificó dos contrastes es el constante reemplazo de leyes cada vez más aproximadas: una, la limitante de la verificabilidad estricta en la ciencia y dos, su tendencia asintótica a la certeza (Poincaré, 1964: 21).

Es importante notar la similitud que existe en el entendimiento de la capacidad efectiva de las leyes científicas entre Russell y Poincaré: en Russell, las leyes científicas provienen de la generalización de las leyes causales que son directamente extraídas y dependientes de la experiencia; mientras que en Poincaré se encuentra una coherencia entre convencionalidad y no-arbitrariedad en los principios deterministas de la Mecánica. Estos para Poincaré también son convenciones falsables.⁸⁸ Por un lado son verdaderos experimentalmente pero por otro, caen en la categoría de postulados cuando se habla de su verdad absoluta.⁸⁹

⁸⁸ Si bien existe entre Poincaré y Russell existen algunas diferencias en su conceptualización general de la ciencia y de las matemáticas, comparten, creo, una serie de elementos en su filosofía de la ciencia, a los que precisamente quisiera hacer énfasis en este capítulo.

⁸⁹ Explica de Lorenzo: “[e]ste convencionalismo geométrico [de Poincaré] también se aplica a las teorías físicas. Si los juicios geométricos son convenciones que nada dicen acerca de la realidad del entorno que nos

Poincaré transporta la convencionalidad de los axiomas geométricos a los principios de la Mecánica. Los principios deterministas de la Mecánica, dice Poincaré, son verdades fundamentadas en la experiencia y verificadas en una forma muy aproximada con el conjunto del Universo. Estos postulados son convenciones y no arbitrarios al ser adoptados por que la experiencia ha indicado que son más cómodos que otros (Poincaré, 2002:176). Decir que estas convenciones son arbitrarias sería perder de vista todas las experiencias que han conducido a su adopción (Poincaré, 2002: 154).

Todo esto hace que los principios científicos y consecuentemente las leyes científicas, sean verdaderas; mejor dicho, son verdaderos experiencialmente. Esto implica que la expectativa de su eficacia pueda estar justificada. Las leyes pueden ser convencionales aunque no arbitrarias haciendo que estas sean verdaderas pero también limitadas y falsables.

Ahora bien, si el determinismo de las leyes es artificial o convencional, ¿qué implicación contrae esto para la pretensión de la ciencia productora de estas leyes? La consecuencia es la misma que supone originalmente el conflicto inductivo humeano pero lo curioso es que en Russell, Poincaré, Mach, Reichenbach y otros, esta consecuencia es fácilmente aceptada y hasta podría decirse, gustosamente admitida.

- *Primeros cambios en el determinismo científicos.* La idea de la separación entre la causalidad necesaria y las leyes científicas se localizó en primera instancia en la dificultad por lograr una medición de tipo laplaciana de todos los elementos y estados de un proceso. Pero a comienzos del siglo XX la separación entre certeza y ciencia había retomado una

rodea, los juicios de la mecánica parece que sí hace predicciones sobre el mundo externo. En este sentido, Poincaré será tajante: el experimento es la única fuente de la verdad” (Lorenzo, 2002: 38), y más adelante dice: “...la elección del hecho científico a partir del hecho bruto no es radicalmente arbitraria o libre. Lo mismo que las hipótesis que se establecen a partir de los hechos científicos y que Poincaré denomina, en general leyes científicas. Leyes que, en el fondo, expresan relaciones entre los hechos científicos, relaciones que constituyen el auténtico contenido de las teorías científicas, el auténtico contenido del conocimiento” (Lorenzo, 2002: 38).

variante diferente. Esta separación no se basaba únicamente en la aproximación de la exactitud o en el corte de navaja de la ciencia positiva sino que se sustentaba en el cambio de paradigma del determinismo científico que trajeron los descubrimientos de la Relatividad y de la Mecánica cuántica.

De igual manera, Eddington -entre otros- también había tomado parte de la discusión del determinismo de la ciencia. Como un ferviente entusiasta del indeterminismo de la ciencia, explica Eddington en *La decadencia del determinismo* su posición a favor de la separación entre el determinismo y la ciencia diciendo:

“En primer lugar, no se sugiere que el determinismo haya sido reprobado. Lo que afirmamos es que la física ya no está basada en el determinismo... En segundo lugar, la negación del determinismo, o la “ley de la causalidad”, como suele llamársele, no quiere decir que se niegue que los efectos puedan proceder de las causas. La asociación regular de causa y efecto es asunto de la experiencia. Semejantes generalizaciones son siempre riesgosas. Suponer que en la duda de la generalización se está negando la experiencia es como suponer que una persona que duda de la ley de la gravedad de Newton (o de Einstein) niega que las manzanas caigan al suelo”.⁹⁰

Y continúa:

“Mientras luchaban por perfeccionar una ley que predijera lo que *definitivamente* va a suceder, los físicos se interesaron también en un sistema que predijera lo que *probablemente* va a suceder. Al lado de la súper inteligencia que Laplace imaginó, a la que nada “sería incierto”, se colocó una inteligencia a la que nada sería cierto pero ciertas cosas serían extremadamente probables”.⁹¹

El cambio de paradigmas entre la ciencia newtoniana y la ciencia del siglo XX abrió la discusión ya expuesta en la causalidad en Russell: la ciencia dejaba de ser estrictamente determinista y la discusión se tornaba en encontrar cuáles eran entonces los cimientos de la ciencia. La ruptura se dio en el cambio del paradigma de una ciencia sustentada en un

⁹⁰ A. S. Eddington, *La decadencia del determinismo*, en *Los grandes ensayos de la ciencia* (Patria Nueva Imagen: México D.F., 1998), pág. 209

⁹¹ Eddington [1998], op. cit., pág. 211

determinismo absoluto, a una ciencia basada en una causalidad probabilista.⁹² En primera instancia, la expresión russelliana respondió a la contrastación entre la teoría y la práctica científica, sin embargo, con el avance de la ciencia contemporánea para Russell y Poincaré, esta expresión tomó involuntariamente un tinte de ataque a la estructura y al determinismo de la ciencia newtoniana.⁹³

Análogamente a la forma en que Russell rompió con la causalidad, Simone Weil, expresó el rompimiento que se dio en el determinismo de la ciencia:

“Para nosotros, gente de Occidente, pasó algo bastante extraño con el cambio de siglo; hemos perdido la ciencia sin darnos cuenta de ello, o por lo menos lo que desde hace cuatro siglos llamábamos con ese nombre. Lo que poseemos con ese nombre es algo distinto, radicalmente distinto, y no sabemos qué es. Tal vez nadie sepa qué es”.⁹⁴

Aunque es importante mencionar que Weil igualmente comenta el papel de hipótesis directriz que realiza el determinismo en la ciencia. En *Fragmento de una carta a un estudiante* dice:

“El determinismo nunca fue para la ciencia más que una hipótesis directriz, y siempre lo seguirá siendo. De Broglie introduce la probabilidad en su descripción de los fenómenos, pero eso no implica en absoluto que debamos sustituir la necesidad por la probabilidad en nuestra concepción de los fenómenos; por el contrario, no pensamos en la probabilidad sino cuando se plantea ante nosotros un problema cuya solución pensamos que está estrictamente determinada por los datos, pero del cual ignoramos algunos datos”.⁹⁵

¿Podría entonces el nuevo entendimiento del universo modificar, reemplazar o a abandonar completamente los principios clásicos de la Mecánica clásica? Esto fue lo que hizo la Relatividad y la Mecánica cuántica. De esta ruptura continuaré hablando en el capítulo

⁹² Explica Reichenbach que este problema condujo a dos concepciones opuestas. La primera trata a la aplicación de la causalidad estadística como una expresión de ignorancia; la segunda, simplemente no acepta que exista la causalidad estricta. En la segunda concepción la causalidad estricta solamente se presenta como una idealización de las regularidades del universo (Reichenbach, 1973:171-172).

⁹³ No solamente se encuentra este determinismo estadístico en las ciencias sociales o en las ciencias biológicas, sino que dentro de la física también. La dificultad de predecir el comportamiento de un choque de tres esferas requería de la probabilidad. Lo mismo sucede con las teorías de gases y la termodinámica; toda predicción más allá de unos instantes iniciales era imposible (Hacyan, 2004: 187).

⁹⁴ S. Weil, *Sobre la Ciencia* (El cuenco de la plata: Buenos Aires, 2006), pág. 113

⁹⁵ Weil [2006], op. cit., pág. 111

posterior. Por ahora continuaré brevemente con otros intentos de justificación de la causalidad en la ciencia. Me refiero a los contrafácticos, la probabilidad frecuentista, la lógica de la inducción, la causalidad como incremento de la posibilidad efectiva de un proceso, y algunas interpretaciones metafísicas de la causalidad. Si bien todos justifican a la causalidad como un proceso epistémico, creo que no logran todas extender dicha justificación a la causalidad necesaria como objeto epistemológico.

También argumentaré que estos intentos pertenecen, más específicamente, a una caracterización metodológica de la causalidad más que una epistemología de la causalidad necesaria. Hablaré posteriormente de una importante división en el estudio de la causalidad: ontología, epistemología y metodología de la causalidad.

Si bien no pretendo decir que esta división es única o final, pienso que sí puede facilitar de alguna manera una esquematización de las preocupaciones sobre lo que a primera instancia parecería como un tema único -la causalidad- pero que la complejidad de sus implicaciones divergen hasta llegar a una incompatibilidad aun posando bajo un mismo título; si el concepto de causalidad diverge tanto en la forma de acceso, en su justificación y en su pretensión, entonces podría ser útil marcar algunos límites para las capacidades e intenciones de las respuestas que dan los diferentes autores a los conflictos implicados con el término de causalidad. No obstante, la categorización arbitraria que pretendo solamente tiene el objetivo de dar un poco de luz, aunque no dudo que también dará un poco de sombra al embrollo de requisitos y pretensiones que se intentan someter dentro de la conceptualización de la causalidad.

Esta división hará visible dos puntos: uno, que la investigación de la causalidad ha obligado al término de la causalidad a abarcar una aglomeración enorme de requisitos, ya visionado por Aristóteles, alejándolo de lo que en un principio intentó el reduccionismo pretendido por los empiristas; y con el segundo punto será visible que la posibilidad de una

reducción que pueda abarcar un mayor número de requisitos epistemológicos de la causalidad en diferentes procesos causales, solamente se puede dar a través de un principio metafísico de la causalidad, pero el cual presenta dos problemas de justificación: o bien, los principios metafísicos de causalidad pueden caer en una circularidad y peor aun en petición de principio, o bien, pueden ser tautológicos con la consecuencia de hasta obstaculizar un entendimiento explicativo más minucioso de algunos procesos causales.

Argumentos y contraargumentos de la causalidad russelliana

El intento de Russell por descartar el requisito de un principio de causalidad ha sido largamente debatido. Este tratamiento ha enfrentado crítica basada en la evidencia efectiva de la causalidad, la cual es indudablemente abrumadora en todas las áreas productoras de leyes. Sin embargo, opino que si se ataca a Russell considerando que él descarta la causalidad *per se* en la naturaleza, la crítica no sería enteramente correcta. La crítica de Russell recae en lo conflictivo de las implicaciones de una causalidad necesaria cuando esta se atribuye a las leyes científicas, mas su crítica no es en contra de la ontología de la causalidad *per se*. El intento russelliano es el de evitar caer en un suelo de fronteras difusas cuando se toma la cotidianeidad de la causalidad y se implanta en la ciencia. Instancia

La confusión que existe acerca del tratamiento de Russell es ocasionado por la robustez y la plasticidad del concepto de causalidad; sobre todo cuando se mezclan la pretensión, la evidencia y la forma de acceso a la causalidad. Explica Norton:

“...propongo que los conceptos de causa y efecto no son los conceptos fundamentales de nuestra ciencia y que la ciencia no se rige por una ley o un principio de causalidad. Esto no es decir que no tiene sentido o que es inútil -ni mucho menos-...Lo que niego es que la tarea de la ciencia es encontrar las expresiones particulares de algún principio de causalidad fundamental en el ámbito de cada una de las ciencias. Mi argumento es que siglos de intentos fallidos de formular un principio de causalidad, lo suficientemente verdadero aún bajo la introducción de nuevas teorías científicas, han hecho que la noción de causalidad

sea tan plástica que virtualmente cualquier ciencia nueva puede ajustarse a él. Tal noción plástica no puede restringir lo posible además de que es físicamente vacía”.⁹⁶

- Nancy Cartwright identificó esta amalgama de requisitos y habló de una conceptualización incluyente de la causalidad; la cual responde a la dificultad de llegar a un reduccionismo cuando se trata a la causalidad. La dificultad inminente para evitar el reduccionismo de la causalidad se debe a la gran amplitud que puede y podría abarcar la categorización causal para los procesos fenoménicos de la naturaleza.

Argumentaré que es precisamente esta amalgama conceptual de la causalidad lo que ocasiona el rechazo de la causalidad en las leyes científicas; debido a la amplitud de requisitos que contiene el concepto de causalidad, tanto requisitos epistemológicos, metodológicos y ontológicos -y en sus atributos como la predicción y la verificación- la única forma en que las leyes científicas puedan ser deterministas, es aceptando que no son causales para no requerir el mismo tipo de justificación de la causalidad necesaria, justo como adelantó Russell.⁹⁷

Argumentaré también, que si bien un principio axiomático o una ley de causalidad respondería al conflicto humeano, tampoco podría evitar que se le cuestione por una última justificación empírica;⁹⁸ se corre el riesgo de caer en una regresión y el problema volvería a resurgir. En cambio, si un principio de causalidad adquiere una categorización similar a

⁹⁶ Texto original en Norton: “...I urge that the concepts of cause and effect are not the fundamental concepts of our science and that science is not governed by a law or principle of causality. This is no to say that causal talk is meaningless or useless -far from it...What I do deny is that the task of science is to find the particular expressions of some fundamental causal principle in the domain of each of the sciences. My argument will be that centuries of failed attempts to formulate a principle of causality, robustly true under the introduction of new scientific theories, have left the notion of causation so plastic that virtually any new science can be made to conform to it. Such a plastic notion fails to restrict possibility and is physically empty” (Norton, 2007: 12).

⁹⁷ No quiero decir con esto que las leyes deban de perder su causación ni mucho menos. Pero es justamente de esta ambigüedad del concepto de causalidad que se produce la incongruencia entre la capacidad del determinismo científico basado en leyes científicas y la capacidad del determinismo laplaciano basado en la causalidad necesaria.

⁹⁸ El requisito de una ley de causalidad es sostenido por la creencia de que debe de existir un punto de unión a lo largo de todas las ciencias con el que todos los procesos naturales estén regidos o gobernados (Norton, 2007: 11).

la de las leyes científicas russellianas, es decir, una idealización, esta puede asegurar la función predicativa y verificativa de las inferencias causales ya que puede ser verdadera sin requerir ser justificada. Empero, claro está que al ser verdadero, entra en el terreno de la lógica más que de la experimentación sintética. Lo curioso en esta situación es que el principio de causalidad puede ser verdadero y al mismo tiempo inverificable: es verdadero como lo es una ley científica pero es inverificable al ser imposible de comprobar su eficacia necesaria.

La posición de Russell encuentra muchos seguidores que si bien entienden su intención, no comparten su método reductivo. Hitchcock y Cartwright ejemplifican esta posición al observar lo atinado de la posición de Russell pero argumentan que la causalidad no debería de estar enteramente descartada.

- *Hitchcock*. Para Hitchcock, la posición de Russell no es correcta. Hitchcock toma el ejemplo de la causalidad en relación a la teoría clásica de gravitación, y explica que aunque ahí no se encuentre una relación causal clara, no quiere decir que la noción de la causalidad sea incoherente. El caso de la gravitación astronómica es uno de los casos en los que se puede eliminar la noción de causa, pero en otros casos, la noción es fundamental. No todas las relaciones entre los fenómenos deben de ser causales pero de esto no sigue el concepto de causalidad deba de ser removido de la ciencia (Hitchcock, 2007: 57)
- Otro filósofo que rechazó el descarte de Russell fue Suppes. Suppes observó que la investigación científica sí utiliza el término de causalidad, contrario a lo que propuso Russell. Suppes encuentra que las palabras *causalidad* y/o *causa* sí son utilizadas comúnmente en los trabajos científicos. Suppes identificó en su tiempo ejemplos como: “Relaciones de dispersión y sus conexiones con la causalidad” por E. P. Wigner” en 1964 y “La causalidad implica al grupo Lorenz” por E.C. Zeeman en el mismo año. Esto indica, según Suppes, que la discusión de la causalidad en la Física estaba completamente activa,

dejando de lado la propuesta de Russell (Suppes, 1970: 5-6). Hitchcock hace una revisión similar a la de Suppes y encuentra que, por nombrar un ejemplo, en el *Physical Review Journal* desde el 2000 hasta el 2003 había 76 artículos con la palabra *causa*, *causas* o *causalidad* (Hitchcock, 2007: 55).

- *Norton.* Norton, más que evidenciar un error en la predicción de Russell, identifica que la presencia del término *causa* a través de la literatura científica hace notar una plasticidad del término de causalidad. Esto significa que la causalidad podría tener simplemente muchos significados para la ciencia. Para Norton, aun cuando la ciencia no hable solamente de causas sino fuerzas gravitatorias o diferencias de temperatura, es posible argumentar que existe un proceso causal detrás que requiere una mayor exactitud en su explicación. Un buen ejemplo, comenta Norton, es la concepción de la energía: a veces se habla de energía en forma de energía cinética, potencial, elástica, calor, trabajo, etc., pero no es difícil ver, dice Norton, que la ciencia trata con la misma energía (Norton, 2007: 14).

Tal vez la palabra *causa* es usada de diferentes formas en la ciencia aunque estas tengan en una mayoría de ocasiones un significado causal; tal vez la palabra *causa*, complementa Hitchcock, conlleva a una gran dificultad no porque es incorrectamente interpretada sino porque representa a la vez muchos tipos de relaciones (Hitchcock, 2007: 61). Pero es justamente esta variedad de relaciones dentro de un único concepto lo que Russell encontró conflictivo.

El problema no es, entonces, que el concepto de causalidad deba desaparecer o que este concepto deba de ser reducido necesariamente a otro para poder evitar su ambigüedad; lo que realmente provoca el problema es la imposibilidad de satisfacer toda posición; tanto la posición que intenta reducir la causalidad en términos menos ambiguos como la posición

que intenta encontrar un consenso general del significado de la causalidad, como la posición que identifica procesos causales en toda relación efectiva de la ciencia.

A esto se podría añadir que si bien es cierto que la causalidad no ha desaparecido de la literatura científica, también es cierto que tampoco se ha logrado un consenso general acerca de su significado. Y es justo decir que a esta segunda no le han faltado intentos. El problema es que siempre existe un requisito que topa con excepciones e igualmente permisos que nublan una conceptualización definida.

- Es importantísimo enfatizar que Russell, al igual que Cartwright, Lewis y como lo hizo en su tiempo Hume no establecieron que la causación no exista. Todo ellos mantuvieron la existencia de la causalidad eficiente. También es preciso mencionar que de la argumentación de Russell no sigue que esta, la causación, es prescindible para la creación de leyes científicas, explicaciones, predicciones, etc. Lo que Russell y demás filósofos señalaron es que cuando se intenta sustentar a las leyes científicas en la causalidad necesaria surge una serie de incoherencias en sus implicaciones. Estas, las leyes, surgieron para estos filósofos siendo causales pero fueron más lejos, separándose también de las limitaciones de la causalidad.

El ataque escéptico de Hume es un ataque epistemológico contra la causalidad necesaria, más no contra otros tipos de causalidad o en contra de la misma causación. El naturalismo de Hume lo hace evitar un escepticismo de la causación, de la misma forma que el científicismo de Russell lo hace criticar el absolutismo de una causalidad necesaria presupuesta en el mecanicismo de las leyes físicas, pero tanto su naturalismo como su científicismo los hace mantener intacta la eficacia de la causación en la naturaleza.

Para Russell, la causación se conserva firme dentro de las leyes. Sin embargo, esta es epistemológicamente accesible solamente de dos formas: a través de la causalidad

estadística o a través de leyes científicas; las cuales son idealizaciones de la causalidad experiencial. Ambas formas son accesibles a la verificación: la primera, por confirmación o adecuación entre predicción y observación, y la segunda, debido a su veracidad cuasi-analítica. De igual manera, entiende Russell que una ley de causalidad en forma axiomática, en el momento que sale de su forma y se utilice en las inferencias sintéticas, no proveerá más certeza en la experimentación de la que ya provee la causalidad probabilista; pero en cambio, sí contraerá de nuevo los problemas de justificación epistemológica.

Otra de las ventajas de los tratamientos de Russell y de la Pragmática, es que evita la problemática de encontrar una distinción entre procesos causales y no-causales disolviendo la distinción al poner la carga epistemológica sobre la capacidad predictiva y posibilidad de verificación de las inferencias. El Pragmatismo marca una pauta para considerar qué es y qué no es posible de considerar como una regla, siendo que esta no requiere ser expresamente causal mientras sea regular y constante. Russell hace una separación entre leyes científicas y las leyes causales; esto lo hace con la intención de no verse obligado a justificar epistemológicamente las leyes científicas, que en algunos casos como lo es el de la ley de la gravedad, no es propiamente causal pero sí lo es eficaz, predictiva, regular, etc.

Acorde a esta distinción, las leyes científicas sustentadas por el axioma de la uniformidad de la naturaleza no presentan ningún problema de justificación epistemológica. Es obvio el precio que se tiene que pagar para realizar esta distinción: las reglas y las leyes científicas caen dentro de una ambigüedad que rodea a toda definición arbitraria; en este caso entre lo que es causal y lo que es no-causal. No obstante, se evita con esto la confusión entre regularidades, relaciones funcionales y procesos causales.

Las regularidades y las relaciones funcionales en las leyes pueden ser en ocasiones causales pero también pueden permanecer siendo leyes predictivas y explicativas a pesar de que no sean propiamente causales. Con ambas es posible extraer predicciones no

solamente probables sino, en ocasiones, completamente determinadas. Menciono esto en relación al argumento que dice que las inferencias no-causales no podrían ser predictivas; con la misma moneda se puede argumentar que existen regularidades no-causales pero estadísticamente efectivas y completamente predecible.

Si bien una división entre procesos causales y no-causales no es necesariamente arbitraria, sí lo es la asignación de elementos como las regularidades, las relaciones funcionales, la constancia y las uniformidades dentro de las dos categorías. Pero esto no es necesariamente negativo; la distinción que hace Russell entre leyes científicas y leyes también es arbitraria.

Contraargumentos

Existen por lo menos otras cuatro maneras para contraargumentar la posición russelliana de la causalidad.

1. La primera es a través de un fundamentalismo axiomático que se base sobre un principio de causalidad, que si bien puede ser falto de contenido empírico, brinda no solamente una guía para el entendimiento de los procesos fenoménicos sino que además, sustenta al determinismo de las leyes científicas -al decir que este fundamentalismo es falto de contenido empírico no quiero decir que no sea científico ni mucho menos que no sea realista. Es falto de contenido por ser *a priori*. Este principio fundamental mantendría unidas y estructuradas las proyecciones -teorías- de la ciencia.

Igualmente, este principio de causalidad no requeriría ser encasillado dentro de un solo tipo o una única forma sino que puede ser moldeado acorde al tipo y a la pretensión de cada ciencia que sustente. Es decir, este principio puede ser matizado en relación a la función que deba realizar, y al área en donde sea utilizado; este puede ser adaptado conforme sea requerido en la experimentación y en la observación. En esta categoría

colocaré las propuestas de la causalidad como *procesos* en Whitehead, la causalidad formal-aristotélica a manos de Espinoza y la causalidad de Nagel entre otros.

Argumentaré que si bien este tipo de propuestas devuelven gran parte de la importancia de la causalidad a las leyes científicas, y obviamente a la cotidianidad causal, pertenecen más bien a un estudio metodológico de la causalidad más que a uno epistemológico. Es importante decir que al implementar un principio de causalidad *a priori*, se desvanece el problema de justificación de la causalidad necesaria, siempre y cuando se admita que la causalidad necesaria es un principio formal y no uno sintético. No obstante, esto se hace a través de una forma metodológica que no requiere necesariamente ser explicativa al ser el mismo principio de causalidad el que actúa como explicación última.

Esta salida tiene muchas ventajas pero no resuelve el problema epistemológico de la causalidad en las leyes científicas de Russell. Una ventaja es que disuelve el conflicto humeano de la causalidad necesaria. Cabe decir que una de las desventajas es que al responder al rechazo russelliano de la causalidad, este tipo de justificación hace de la causalidad un término un tanto obscuro.

2. Otra forma de responder a Russell es a partir de la causalidad probabilista. Tooley explica que una manera correcta de ver el problema es entender que todo tratamiento de la causalidad es genuinamente probabilístico. Esto significaría que la probabilidad no solamente es una herramienta metodológica sino que en realidad forma parte del propio análisis de las relaciones causales (Tooley, 2004: 82-83).

Este tipo de justificación acepta el límite epistemológico humeano pero utiliza la evidencia estadística para justificar el alto grado de creencia que se pueda tener en la expectación y predicción de las inferencias causales. Me refiero a que si bien se acepta que una inferencia nace de la inducción por enumeración o por método hipotético -y por lo tanto, nunca podrá

ser absolutamente cierta-, no existe un impedimento lógico para que este tipo de inferencias no sean verdaderas.

3. A esta categoría pertenecen la investigación de Suppes, Broad, Hempel, Mackie, Reichenbach y Salmon. Su posición a grandes rasgos es que al usar principios de probabilidad es posible elevar el grado de confianza de las inferencias causales. El grado de confianza en algunos casos puede llegar a aproximarse a la certeza presupuesta por la causalidad necesaria. Y esta puede ser funcionalmente tan próxima que la praxis de la ciencia no sufriría de ningún impedimento en sus predicciones. Estas podrían ser tan efectivas, o casi tan efectivas, como si fuesen causalmente y enteramente determinadas. De esta forma, el supuesto de la causalidad necesaria bajo la metodología de la probabilidad brinda la misma eficacia tal y como si la causalidad existiese en las leyes.

Una tercera alternativa para restituir la causalidad en las leyes científicas es la que brinda el realismo causal. Explica Eagle:

"A mí me parece que este eliminativismo [propuesto por Russell] es precisamente la conclusión equivocada a sacar. El problema real radica en el requerir una determinación dentro de la concepción de la causalidad. Si pudiésemos mostrar que podemos dar un análisis de esta noción popular de causalidad que limite o restrinja la demanda por la determinación de los efectos por las causas, podríamos responder con eficacia al eliminativismo de Russell. No tendríamos una "ley universal" de la causalidad que diga que todo efecto tiene una causa determinante. Pero eso no puede simplemente ser obtenido."⁹⁹

Bunge complementaría esto al decir que el eliminativismo russelliano es solamente una trampa semántica. La razón de Russell no es para Bunge una razón de peso para abandonar la causalidad negándola de la ciencia. Sin embargo, también se podría contraargumentar que si la eliminación del término no soluciona el problema, tampoco la manutención de un

⁹⁹ Texto original en Eagle: "[i]t seems to me that this eliminativism is precisely the wrong conclusion to draw. The real fault lies in the conception of causation as requiring determination...If we could show that, we could give an analysis of this folk notion of causation that limited or restricted the demand for determination of effects by causes, we could respond effectively to Russell's eliminativism. We wouldn't have a "universal law" of causality, that every effect has a determining cause. But that cannot be had at all" (Eagle, 2007: 161).

término tan plástico facilita la tarea de saber qué es lo que puede pasar como un proceso causal, y que no.

El problema es cómo identificar los requisitos y los deberes de la tarea de la causalidad, tanto en la cotidianidad como en la legalidad científica. Una noción popular de la causalidad podría servir como estructura primordial para la creación legal. El problema es que esta noción es todo menos estricta; y es tan plástica que puede implicar tanto un determinismo mecánico como una predicción no-causal y aún más difícil de encasillar, una predicción causal pero azarosa. La concepción de la causalidad es tan amplia y con tantas ramificaciones que no es posible condensarla en una conceptualización única de la causalidad que sea lo suficientemente plástica para adecuarse a todos los requisitos y límites de las leyes científicas.

4. La última respuesta de la que hablaré es una propuesta que ha encontrado seguidores en todas las ciencias debido a su fácil acomodo como herramienta no solamente para la justificación de la causalidad sino para la comprensión del funcionamiento individual de los componentes causales y del peso particular de cada uno de estos componentes: esta propuesta es la de los contrafácticos.

Los contrafácticos de Lewis no intentan resolver el problema humeano en la forma tradicional sino que parten de la identificación de las causas dentro de cada proceso para designar así, un principio causal. Lewis parte de la imposibilidad de justificación de la causalidad necesaria revirtiendo la forma de buscar la justificación al utilizar la evidencia fáctica para sustentar la creencia de que una alteración de la causa ocasiona una alteración del efecto. En caso que esta alteración se produzca, y al compararla con la evidencia de casos similares en los que la alteración ha tenido lugar, se puede realizar una inferencia contrafáctica.

Si la eliminación de una *causa* en un proceso produce la eliminación de un *efecto*, se puede hablar de la existencia de una causalidad, y si no, no. Así, la posibilidad de modulación dentro de los procesos fenoménicos es lo que justifica y afirma la existencia no solamente de la causalidad sino de una causalidad necesaria en forma de “si x , entonces y , porque si no hubiera existido x , no hubiera existido y ”; lo cual debe estar fortalecido por una evidencia estadística.

A partir de la evidencia fáctica, Lewis propone que se puede inferir un principio causal que determina la existencia de la causalidad en casos particulares siguientes al momento de realizar el contrafáctico; la ventaja de este tratamiento es que los contrafácticos no requieren justificar la causalidad universal sino que basta con justificar la creencia causal de la siguiente inferencia postulada. Las leyes científicas al ser inferencias contrafácticas brindan la posibilidad de identificar y distinguir las leyes causales de las leyes estadísticas; lo cual respondería a una parte del problema russelliano al hacer evidente que muchas leyes científicas son en propiamente causales. Muchas leyes científicas volverían de nuevo a ser consideradas como leyes causales.

Los contrafácticos responden a Russell; pero cabe preguntar si responden al conflicto humeano: ¿cómo obtener certeza de la eficacia de una ley? Si la respuesta es que debido a la evidencia fáctica anterior se puede sustentar dicha creencia, entonces el conflicto epistemológico regresa necesariamente a la evidencia fáctica retomando la caracterización humeana.

Lewis, humeano, sabía de esta imposibilidad epistemológica y propuso que la función de la causalidad contrafáctica no es la de encontrar un punto de certeza absoluta de las inferencias predictivas en la evidencia fáctica. La evidencia fáctica, mejor dicho, sirve como sustento estadístico para potenciar la probabilidad de que cierto evento suceda; a través de los contrafácticos, una persona puede considerar que la probabilidad de que se dé

un efecto, estando presente su causa, sea mayor que cuando se busca un efecto sin la presencia del evento *causa*. Cuando la probabilidad de que suceda un evento *B* (efecto) es mayor cuando el evento *A* esta presente (causa) que cuando no está presente el evento *A*, entonces se puede hablar de la justificación epistemológica confiable en la predicción.

Un problema se presenta en el momento de hacer la comparación entre dos posibilidades y las probabilidades de realizarse de casa una. Aquí es donde se complica un poco la respuesta de los contrafácticos ya que en la comparación de dos situaciones probables, Lewis se vio forzado a admitir la existencia de uno o varios mundos imaginarios para cada inferencia causal, lo que contraía problemas igualmente de justificación. De todo esto hablaré posteriormente.

a. Primer contraargumento

Uno de los contraargumentos a la propuesta de Russell trata acerca de que si no existiera la causalidad en la ciencia, esta sería ciega en la producción de inferencias predictivas. En otras palabras, si no hubiera causalidad, la ciencia no podría crear leyes que identifiquen el funcionamiento de la mayoría de los procesos de la naturaleza. Por esta razón, se puede argumentar que la causalidad se localiza implícitamente en la ciencia; esta se encuentra desde el primero momento que se hace una predicción, tanto por hipótesis como por enumeración inductiva.

De esta manera, se puede decir que la causalidad es inherente a la explicación, a la síntesis y a la predicción que realiza la ciencia. Entonces, ¿cómo es posible que Russell proponga el descarte de la causalidad cuando esta funciona como guía de cualquier método predictivo? Tal vez, después de todo, la causalidad sea un requisito de entendimiento tanto en la ciencia como para la experiencia cotidiana.

- *Espinoza*. Miguel Espinoza retoma la causalidad formal de Aristóteles y la sitúa como estructura no solamente de la ciencia sino de cualquier posibilidad de inteligibilidad de la naturaleza. Así, Espinoza toma a la causalidad formal como una representación particular de la existencia necesaria de un principio de causalidad; y es este principio de causalidad el que guía a la investigación y al conocimiento. El principio de la causalidad, para Espinoza, es un axioma o un ideal que orienta la investigación científica; es una condición de la inteligibilidad (Espinoza, 2006: 88). La causalidad vista de esta forma es un *explicans* de la capacidad de comprensión (Espinoza, 2006: 78).

La causalidad está presupuesta en la investigación ya que es ella la que brinda la uniformidad y la estabilidad del universo fenoménico. El principio causal es similar a la causalidad formal de Aristóteles olvidada por la concepción positivista-humana: la forma es la estructura que unifica el conocimiento del pasado con lo inobservado. La estructura espacio-temporal brinda a la causalidad una estabilidad y una coherencia; lo cual es posible de comprobar al estar estas manifiestas en cada proceso eficaz y en cada verificación (Espinoza, 2006: 80). El universo se hace inteligible a partir de la causalidad debido a que existiría simplemente una coherencia estructural entre predicción, expectativa y verificación. Esta estabilidad formal está presupuesta en todos los procesos causales sustentando una necesidad epistemológica de la causalidad.

- *Whitehead*. Otra de las propuestas interesantes es la que proporciona Alfred North Whitehead. Whitehead encuentra que la causalidad es una condición en la adquisición de la comprensión de la naturaleza ya que esta se presenta como un flujo de eventos, procesos y hechos en donde está implícito el comportamiento causal.

Según Whitehead, si se generaliza el principio cartesiano en el que la extensión es una cualidad esencial de la materia, se pueden llegar a entender los hechos no como una

materia estática sino como un cambio o un estado cambiante de la existencia física.¹⁰⁰ Estos cambios están formados por eventos y estos eventos tienen diferentes extensiones; estas definiciones definen a los procesos causales. Los eventos se extienden a lo largo de una línea infinita de procesos cuya comprensión produce una comprensión completa de la naturaleza y por lo tanto de la causalidad (Whitehead, 1968: 242).

Whitehead retoma la dialéctica hegeliana y la extiende sobre el conocimiento científico del funcionamiento de la naturaleza intentando resolver el conflicto humeano a través de lo que él llama *ingreso* o *admisión*.¹⁰¹ Este *ingreso* es la comprensión y aprehensión de la naturaleza como proceso; el cual implica una causalidad eficiente y constante manteniendo unido al proceso. Es la causalidad eficiente la que lleva de la mano al conocimiento de lo pasado hacia lo futuro; de esta forma, la causalidad eficiente es un potenciador natural que moldea las experiencias pasadas para unir las en un proceso que forma continuamente al presente y al futuro (Whitehead, 1927: 50).

Whitehead identifica en el conflicto humeano que el error se encuentra en que la reducción positivista de la causalidad suprime la relación eficiente de la causalidad. En cambio, cuando se habla de procesos, eventos y de sus interrelaciones de las relaciones -en vez de hablar únicamente de cosas y objetos-, la ciencia deja un papel meramente descriptivo para tomar un papel explicativo; igualmente, si la ciencia es explicativa entonces debe de tratar con eventos y procesos en los que está implícita la existencia de la causalidad eficiente; ya que sin ella, las explicaciones, según Whitehead, serían imposibles de constituir. Whitehead argumenta:

"La filosofía de Hume no encontró en ninguna instancia nada para justificar la expectativa de la mente. En consecuencia Hume vio reducido a explicar el origen de la expectativa de la mente de otro modo que el de una justificación racional. De ello se deduce que, si hemos de

¹⁰⁰ La palabra que usa Whitehead es *flux*.

¹⁰¹ El término de Whitehead es *ingression*, el cual debe de ser entendido como una forma de comprensión a través de un ingreso de la percepción y un entendimiento de objetos sensibles (Whitehead, 1968: 131).

salir de la dificultad humeana, debemos encontrar algo en cada caso individual, en cada instancia que pueda justificar la creencia. La clave del misterio no se encuentra en la acumulación de casos, sino en el carácter intrínseco de cada uno. Cuando lo encontremos, habremos atinado al corazón del argumento de Hume...Este *algo* extra será conocido por la relación derivada del conocimiento de cada caso como si fuese un adjetivo. Ya hemos encontrado que la importancia espacio-temporal de cada caso es un presupuesto necesario a lo largo de toda la filosofía de la naturaleza de Hume. Ahora tenemos que preguntar si no hay alguna otra relación relevante...Cada caso es una instancia del ingreso de los objetos sensibles en medio de los eventos. Pero ¿todo ser sensible pasa inmediatamente hacia los objetos preceptuales? La respuesta es que el ingreso significa los objetos mismos. No bastaría decir que la acumulación de casos de "olor y una palmada" hace recordar a un perro a su amo a través de una asociación de ideas."¹⁰²

El concepto de *ingreso* para Whitehead es una relación conceptual que define a los objetos sensoriales antes de su aprehensión total; y al estar consciente de este *ingreso* de objetos sensoriales dentro de un flujo de eventos que se encuentran dentro de un continuo espaciotemporal, se llega a una aprehensión de la naturaleza (Whitehead, 1968: 139).

Whitehead retoma también algo de la caracterización de Aristóteles de la comprensión de un objeto perceptual, en donde dicho objeto mantiene una propiedad de duración y presencia en un lapso de tiempo. Whitehead utiliza el ejemplo del objeto perceptual *silla*, el cual permanece durante un determinado tiempo dentro de un cuarto y el cual puede durar un minuto, una hora o un día, etc. Whitehead toma esta propiedad aristotélica de duración tanto espacial como temporal pero no la basa sobre la percepción individual de eventos espaciotemporales sino sobre el *ingreso* de la naturaleza, cuando esta es entendida

¹⁰² Texto original de Whitehead: "Hume's philosophy found nothing in any single instance to justify the mind's expectation. Accordingly he was reduced to explaining the origin of the mind's expectation otherwise than by its rational justification. It follows, that, if we are to get out of Hume's difficulty, we must find something in each single instance, which would justify the belief. The key to the mystery is not to be found in the accumulation of instances, but in the intrinsic character of each instance. When we have found that, we will have struck at the heart of Hume's argument...This extra something will thus be known by relatedness, arising from the knowledge of the single instance by adjective. We have already found, that the spatio-temporal significance of each single instance is a necessary presupposition of Hume's whole philosophy of nature. We have now to ask, whether there is not some further significance... For a single instance is an instance of the ingression of sense-objects amid events. But every sentient being passes at once to the perceptual objects? The answer is that the ingression signifies the objects. It is no good saying, that the accumulation of instances of "smell and a pat" reminds a dog of his master by the association of ideas (Whitehead, 1968: 144).

como un conjunto de procesos; es decir, una relación irreducible de una infinidad de conceptos, eventos, cualidades, etc. (Whitehead, 1968: 145).

Las formas de *ingreso* de los objetos sensoriales en la naturaleza son las formas como los objetos preceptuales se muestran. Por ejemplo, el pasto, dice Whitehead, se muestra verde, la piedra se muestra tocable, etc. No obstante, no hay que olvidar que estos modos de *ingreso* contienen una propiedad de permanencia (Whitehead, 1968: 146-147). La adjetivación de los objetos sensibles exhibe el *ingreso* de los objetos sensibles en la naturaleza, y por lo tanto, muestra una comprensión de la naturaleza y de sus cualidades como procesos invariables, por lo menos durante el tiempo que tiene lugar dicha comprensión.

Si la comprensión de la naturaleza es a través de su *ingreso* -a través de eventos o procesos-, la causalidad en el tiempo se hace uniforme. El *ingreso* de la naturaleza implica una visión holística y relacional entre el pasado, el presente y el futuro de los eventos de la naturaleza unidos a través del *ingreso* de los objetos sensoriales. Esta relación solamente es posible, dice Whitehead, cuando existe un continuo y una uniformidad espaciotemporal (Whitehead, 1968: 139).

Es importantísimo recalcar que esta continuidad en los procesos no es la base única de la uniformidad de la naturaleza. También es el *ingreso* en la conciencia de los objetos sensoriales y de los hechos lo que logra que exista una duración espaciotemporal y una congruencia causal a lo largo de la naturaleza. También es importante mencionar que esto no significa que todas las conexiones causales sean necesarias sino más bien, que son encapsuladas por un *ingreso* que las clasifica como procesos uniformes (Whitehead, 1968: 147).

La predicción de los procesos se sustenta en una proyección justificada por una serie de controles determinados por la adaptación entre los hechos fácticos y la forma de entender

tales hechos (Whitehead, 1968: 138). Whitehead plantea una separación entre la aprehensión del proceso y el proceso de aprehensión con lo que diferencia la necesidad de la causalidad en la naturaleza -sin la cual no habría dicha aprehensión- y la justificación de la causalidad necesaria para la aprehensión de ciertos procesos en la naturaleza. Whitehead no requiere justificar la causalidad necesaria como procesos fenoménicos ya que sitúa a la necesidad de la causalidad en la posibilidad de la adquisición cognoscitiva de procesos necesarios, tanto necesarios como contingentes.

Para Whitehead, el requisito epistemológico humeano solamente es conflictivo cuando se busca la reducción epistemológica de la causalidad de un proceso fenoménico, mas no una epistemología holística del proceso, el cual, implica en ocasiones una causalidad necesaria. El conflicto humeano, responde Whitehead, se soluciona cuando se entiende que el entendimiento de procesos es tan irreducible como lo es la irreductibilidad de los objetos sensoriales.

Las ideas de Whitehead no fueron las únicas que buscaron que el entendimiento de la naturaleza se consiguiese a partir de conceptos como *proceso* o *evento*. Bergson tenía una idea similar con la que fue posible explicar los procesos causales como devenires de la naturaleza: si se consideraban los procesos que ocurren en la materia física de manera similar a los procesos de la materia viva o de la consciencia, estos adquieren entonces una concepción de causalidad eficiente; y por lo tanto, en la explicación de su devenir, la causalidad se puede presentar como necesaria. La causalidad eficiente, para Bergson toma forma de causalidad dinámica, en la que, como sucede en la consciencia y en la intuición, se infiere una duración. En la intuición de la duración y en el entendimiento del devenir de los procesos fenoménicos, la causalidad eficiente se hace necesaria. Sin ella no podría haber tal explicación o ni siquiera tal devenir.

- *Nagel*. Dentro de esta misma categoría -en la que la ciencia retoma una caracterización explicativa más que una descriptiva-, se encuentra Ernest Nagel y su libro *La estructura de la ciencia*. Nagel argumenta en contra de la idea positivista de que la ciencia no puede responder a las preguntas del por qué se producen ciertos sucesos sino únicamente a las preguntas del cómo se producen ciertos sucesos. El argumento positivista dice que ciencias pueden llegar únicamente a ser sistemas amplios y exactos de *descripciones* pero no a ser sistemas explicativos (Nagel, 2006: 49). A esto responde Nagel:

“Sería ir contra lo evidente negar que importantes avances en la historia de la ciencia han sido el fruto del deseo de explicar nuevos dominios de la realidad en términos de algo ya familiar. Basta recordar el persistente uso de modelos mecánicos familiares con el fin de elaborar explicaciones de los fenómenos térmicos, luminosos, eléctricos y hasta de la conducta humana, para reconocer la influencia que ha tenido esta concepción de las explicaciones. Cuando el hecho de que los materiales de colores se destiñan por efecto de la luz solar se explica en términos de suposiciones físicas o químicas acerca de la composición de la luz y de las sustancias coloreadas, la explicaciones no es considerada insatisfactoria, aunque explica lo familiar en términos de lo que, para la mayoría de los hombres, es desconocido”.¹⁰³

Ya en Nagel se puede identificar un poco del pragmatismo del Realismo científico. Para Nagel, las leyes científicas desempeñan exitosamente el trabajo para el que son encomendados. Es gratuito, dice Nagel, decir que las leyes no cumplen el trabajo que debería de cumplir si no logran ser lógicamente necesarias (Nagel, 2006: 84). Ejemplifica Nagel:

“El enunciado conocido como principio o ley de Arquímedes, por ejemplo, nos permite explicar y predecir una amplia clase de fenómenos, aunque haya excelentes razones para creer que esta ley no es lógicamente necesaria. Sin embargo, la suposición de que tal ley debe ser realmente necesaria no se desprende del hecho de que se la use exitosamente para explicar y predecir. Por consiguiente, dicha suposición postula una característica que no desempeña ningún papel en el uso real que se hace de la ley”.¹⁰⁴

¹⁰³ E. Nagel, *La estructura de la ciencia, Problemas de la lógica de la investigación científica* (Paidós: Barcelona, 2006), págs. 72-73

¹⁰⁴ Nagel [2006], op. cit., pág. 84

La misma justificación que requiere el establecimiento de las leyes científicas proviene, según Nagel, directamente de las funciones inferenciales que están asignados a las leyes. Debido a que esta función es primordialmente la de explicar y predecir, las leyes están justificadas si cumplen su objetivo; en el momento de asignar el nombre de leyes a los enunciados inferenciales se les asigna su función predictiva y/o explicativa (Nagel, 2006: 96).

No obstante, es importante añadir que Nagel no descarta la existencia de un principio causal a pesar de que sustenta la justificación causal de las leyes en sus funciones. Nagel, al igual que Hume, observa que es imposible acceder a un principio de causalidad a partir de la evidencia empírica. Por ende, Nagel propone que este principio de causalidad sea más bien una máxima de la investigación; es decir, una norma que estimula al investigador a buscar leyes deterministas (Nagel, 2006: 421-422).

Uno de los objetivos de Nagel para incluir un principio de causalidad en su estructura es para establecer que las explicaciones y predicciones no son únicamente referentes a puntos aislados en el universo causalmente independientes sino para que al tener una máxima como guía, las explicaciones científicas puedan ser generales y determinísticamente causales. ¿Es suficiente esto para reinstalar la concepción la causalidad en las leyes científicas?

La respuesta no es nada fácil de responder debido a que Nagel propone una diferenciación entre universales -nómicos, accidentales e irrestrictos- y otras herramientas para señalar el papel explicativo de las leyes científicas, pero siempre será posible retroceder la pregunta por la justificación epistemológica no acerca de las leyes acerca de la justificación de esta diferenciación así como de conceptualización única de lo que representa una explicación. Al mismo tiempo, se corre el riesgo de caer en una *petición de principio* o una falacia *ad hoc*; esto no es ajeno para Nagel. Por este motivo, Nagel cede un poco y concluye su

capítulo IV -El carácter lógico de las leyes científicas- diciendo que no todas las leyes científicas son explicativas y a veces la explicación científica es satisfactoria aun cuando las leyes que la estructuran no sean causales (Nagel, 2006: 115).

Es posible argumentar que el problema se resuelve al considerar que la misma existencia de una explicación científica, apoyada por un enunciado legal, demuestra que existe el requisito de una relación eficiente entre eventos *causas* y eventos *efectos*; y sobre todo, que la explicación final no podría tener lugar si no existiera una identificación precisa de los elementos necesarios dentro de uno o varios procesos causales, lo cual a su vez es lo que da pie a la legalidad científica. Es decir, una concepción en la que la ciencia solamente se base sobre una reducción funcional olvidando que la explicación científica contiene todo un bagaje epistemológico, es errónea.

- *Meyerson*. Adverso al positivismo de Comte y Mach, y sobre todo a la caracterización de la ciencia en la que el principal objetivo de esta última es únicamente el de la creación legal, Meyerson propuso, al igual que Whitehead y Bergson, que la ciencia debía de tener un objetivo explicativo que envuelva un principio causal.

Las leyes, al ser consideradas por los positivistas como descripciones, no podían satisfacer por sí solas el requerimiento explicativo que consideraba Meyerson que realizaba la ciencia. Para Meyerson, la ciencia debía de ser irreducible a una simplificación racional. Sin embargo, esto no quería decir que Meyerson descartara el papel legal de la ciencia sino que identificaba un principio racional con un principio de causalidad. Meyerson definió que en la tarea científica se unen dos principios: el principio de causalidad -usado en la búsqueda de explicaciones- y el principio de legalidad.

La ciencia para Meyerson no trata únicamente acerca del registro, análisis, descripción y control de fenómenos de la naturaleza -provistos en la legalidad- sino que busca algo más

profundo que explique la causa del fenómeno; algo que ayude a entender los procesos naturales, y que justifique epistemológicamente cada ley. Así, la creación legal y el fenomenismo para Meyerson son esenciales aunque solamente representen una etapa temporal en la tarea explicativa de la ciencia.

Para Meyerson, no sería preciso limitar la práctica científica al decir que su mera tarea es la predicción. La función de la ciencia debe de incluir la explicación de los fenómenos, lo cual se puede lograr mediante una identificación entre antecedente y consecuente. Esta identificación sería precisamente el Principio de la causalidad científica. Cuando se determinan los límites de la capacidad explicativa a través de la causalidad científica, se puede entender que inclusive algunas teorías no-mecanicistas entran dentro de una concepción causal ya que siguen siendo racionales. Esto quiere decir que la forma en la que se producen las teorías científicas es análoga a la comprensión de la conceptualización del mundo para el sentido común (Meyerson, 1930: 9-10). Ambas se basan en una racionalidad derivada de la causalidad, cuya tarea es consolidar la capacidad descriptiva de las leyes científicas.

¿Es posible decir, por fin, que el problema humeano y la supresión de la causalidad en las leyes por Russell esté resuelto? Existe principalmente un problema que evita que esta respuesta sea tan sencilla: esta concepción explicacionista de causalidad contiene las dificultades que originalmente intentó evadir la corriente empírica de Hume; es decir, la problemática con teorías explicativas que no sean causalmente determinadas, que sean contingentes, o que sean simplemente azarosas pero efectivas.

El Explicacionismo envuelve también otras posibilidades en las que la causalidad es solamente una de las explicaciones posibles. Las explicaciones no requieren necesariamente ser causales sino que pueden ser estadísticas. Y si se buscaba que la causalidad fuese indispensable en la ciencia debido a que esta es lo que sustenta la tarea

explicativa de la ciencia, entonces, es preciso preguntar, ¿qué requisito debe realmente tener una explicación? Cabe señalar que la respuesta no puede contener la palabra causa o causalidad ya que no toda explicación es causal.

La ciencia puede seguir siendo explicativa aunque no sea causal. La explicación puede entonces reemplazar a la causalidad eficiente en las leyes científicas mientras que sea constante. Ahora bien, ¿no es esta problemática la misma que la de la causalidad con una diferente máscara? La explicación científica no requiere determinar una relación necesaria entre dos eventos sino solamente requiere que esta relación sea eficaz y regular para poder llamarla *explicación*. Pero esta tarea ya la realizan las mismas leyes científicas.

Los filósofos últimamente mencionados responderían que si se piensa de esta forma es que no se ha entendido correctamente la tarea de la ciencia. Esto puede ser cierto pero no evita que haya problemas en las implicaciones de las herramientas de la ciencia.

Si bien es fácil de argumentar que la investigación sin causalidad y sin la búsqueda de la explicación es incongruente, también es fácil de argumentar que existe una diferencia entre las pretensiones de una explicación causal como puede suceder en la cotidianidad y una investigación científica de la cual surgen leyes mucho más amplias que las inferencias de la cotidianidad.

El problema para la investigación científica se debe a que la llegada de la explicación como máxima de la ciencia brinda nuevas formas de ampliar el debate y así el desacuerdo; sobre todo cuando la explicación no se limita a que esta sea necesariamente causal. En el momento en que se aceptan explicaciones efectivas y al mismo tiempo no-causales -las cuales indudablemente existen al igual que existen las leyes no-causales-, se transfiere el problema por la búsqueda de la causalidad necesaria hacia un problema de justificación de la explicación, es decir, ¿cómo saber que una explicación responde completamente? y

sobre todo, ¿cómo puede la tarea explicativa de la ciencia evitar caer en falacias *ad hoc* y en peticiones de principio?

La respuesta no se aleja mucho de la respuesta que se da cuando se pregunta a la ciencia el cómo se puede asegurar que exista la causalidad en las leyes científicas. La praxis de la ciencia es el punto que sostiene la justificación de la explicación pero de igual forma, este punto debería de ser explicado. El problema es que esta justificación de la explicación solamente se podría hacer a través de tres formas: 1) en una regresión circular entre la eficacia, la evidencia de la eficacia, y la explicación; 2) en la instauración de un principio metafísico, con lo cual también se corre el riesgo de un dogmatismo en la ciencia, de la misma angustura o más angosto que el positivismo de Comte y Mach; 3) en el requerimiento de una teoría que logre distinguir entre las explicaciones reales, esto es, entre las que expliquen una eficacia causal a nivel ontológico y las explicaciones aparentes que ontológicamente no son necesarias y/o causales pero sí eficientes; como lo son las inferencias *ad hoc*. Esta última distinción es especialmente difícil.

Duhem. Duhem prefirió basarse en la primordialidad de una teoría física completa -una red de leyes que forman en su conjunto una teoría física- sustentada en leyes experimentales y causales. Esto con el objetivo de evitar caer en la trampa epistemológica de la realidad. Duhem dirige su atención al requisito de tener toda una teoría física que envuelva a las leyes experimentales. Esta teoría física sería la que carga el peso de la justificación y deja relativamente libre a las leyes científicas individuales.

Las leyes científicas basadas en los experimentos científicos son, para Duhem, relaciones simbólicas cuyo significado es ininteligible para cualquier persona que esté familiarizado con las teorías físicas. Estas relaciones son, como los experimentos que las sustentan, aproximadas. Pero esta aproximación también es provisional; las relaciones serán reemplazadas por otras conforme avance el método de medición. No obstante, estas

relaciones también son provisionales al no estar relacionadas con realidades u objetos, sino con símbolos; los cuales son al mismo tiempo provisionales en muchas ocasiones. Los símbolos a veces dejan de corresponder con la realidad (Duhem, 1954: 178).

Duhem sitúa el peso de la justificación científica en la adecuación de la veracidad y falsedad de las teorías físicas siendo estas más complejas que las leyes individuales. La verdad o la falsedad se obtienen cuando se observa la adecuación y la correspondencia de la red con las leyes experimentales. Con esto Duhem evitó tener que hablar de verdad y certeza de las leyes experimentales individuales pero pudo mantener un referente de veracidad en la ciencia física cuando esta es adecuada con la experimentación (Duhem, 1954: 19).

El problema se presenta en que aun cuando la teoría física sea verdadera, no requiere ser causalmente necesaria sino que basta con que sea estadísticamente causal. Por ende, la causalidad y el determinismo estricto siguen siendo prescindibles. A continuación expondré brevemente otras formas de llegar a un acuerdo entre la epistemología de la eficacia causal y la legalidad científica. En esta ocasión, es a través de la causalidad probabilista.

b. Segundo contraargumento

La causalidad probabilista no debate a Hume pero evita el tratamiento tajante de Russell; igualmente mantiene a la causalidad como un principio inherente a la metodología de la ciencia. En este caso, la causalidad está evidenciada en la inducción por enumeración y el método hipotético y no solamente en un principio metafísico del quehacer científico. He reunido estas propuestas de la causalidad probabilista en las siguientes tres categorías: la causalidad probabilística y estadística, la causalidad en los contrafácticos, la causalidad en el Realismo científico.

La probabilidad en la causalidad es un tema tan amplio que lamentablemente por limitaciones, tanto personales como de espacio, no podré abarcar ni siquiera esquemáticamente en esta investigación. Hablaré brevemente de algunas de las ventajas de las limitaciones y de algunas de las características de los intentos por justificar una elevación del grado de creencia de las inferencias causales. Tomaré principalmente el tratamiento de Broad para hacer evidente la enorme envergadura de conceptos que se requieren cuando se trata con la causalidad probabilística.

La ventaja principal de la justificación probabilista de la causalidad es que disuelve el problema humeano al aceptar la inaccesibilidad epistemológica a la certeza causal habilitando que cada inferencia predictiva tenga de fondo una evidencia observacional y estadística para poder justificar su grado de creencia. De esta forma, la ciencia sigue siendo descriptiva basándose -a grandes rasgos- en la observación experimental. Al mismo tiempo, la ciencia le asigna a las inferencias observacionales un atributo de confiabilidad a través de la estadística, soportando así una teoría explicativa sin requerir de una causalidad necesaria.

Los problemas que surgen con el requerimiento de un principio de causalidad o de un principio de uniformidad de la naturaleza no recaen en este tipo de causalidad ya que es el acrecentamiento estadístico lo que guía a la confianza de las creencias en cada elaboración inferencial amparándose en el conocimiento *a posteriori*; lo cual no quiere decir que este tipo de conocimiento no requiera una justificación epistemológica sino que más bien la justificación tanto de la veracidad como de la falsedad de las inferencias tiene lugar con cada verificación -la cuál acepta implícitamente una posibilidad de falsedad- y no requiere que esta justificación sea *a priori* o que sea estrictamente determinista. El método inductivo-deductivo de la ciencia se muestra junto a la causalidad probabilista todas las ventajas de la inducción sin la limitación lógica de las generalidades provenientes de la experiencia.

Es importante señalar que el tratamiento de Russell no es incompatible con la causalidad probabilista. Russell, al no encontrar una forma de justificar la creencia que brinda la causalidad necesaria, pregunta:

¿Qué ley o leyes se pueden encontrar para reemplazar a la supuesta ley de la causalidad?...En primer lugar, sin recurrir a más uniformidades de secuencia que las que contempla la ley tradicional, podemos admitir que, si se ha observado cualquier secuencia así en gran número de casos, y nunca se ha visto que fallara, hay una probabilidad inductiva de que resulte válida en el futuro. Si se ha visto hasta ahora que las piedras rompen ventanas, es probable que lo sigan haciendo”.¹⁰⁵

Y continúa:

“...quiero decir, incluso cuando tenemos un caso de causa y efecto en este sentido, todo lo que se quiere decir es que en base a la observación es probable que cuando uno ocurra el otro también ocurrirá”.¹⁰⁶

Entre las propuestas más importantes que explican la causalidad y su lógica se encuentran las de Suppes, Mackie, Broad, Reichenbach, Salmon, Keynes, entre otros. Cada una se centra en una característica diferente de la causalidad y cada una intenta brindar un principio causal probabilístico que se adapte más a la lógica de la experimentación científica.

La mayoría de estas propuestas acepta la causación situando su investigación en el estudio de la lógica inductiva y en el uso de la causalidad probabilística para identificar la validez de los grados de creencia de inferencias causales particulares. Mientras la causalidad humeana es una búsqueda de una razón última con la que sea posible explicar por qué se debe de creer en la veracidad o en la certeza, la lógica inductiva basada en la causalidad probabilista acepta que es más importante identificar una metodología que justifique por qué ciertas inferencias, tanto causales o no-causales, son más o menos confiables que otras.

¹⁰⁵ Russell [2001], op. cit., pág. 263

¹⁰⁶ Russell [2001], op. cit., pág. 264

La diferencia es que al aceptar que la causación tiene más funciones que las del determinismo estricto, su justificación no requiere ser universal sino solamente eficiente mientras que en el determinismo estricto sí se debe de presumir una universalidad más allá de la eficiencia causal particular. La causación en un nivel meramente ontológico es entonces el único requisito de la causalidad probabilista para la creación inferencial. Por lo mismo, su justificación puede ser más amplia que la que requiere todo principio estricto de causalidad determinista.

¿Es suficiente con reemplazar el principio de causalidad por uno de probabilidad efectiva para reincorporar la causalidad en las leyes científicas? Para responder a esto, comienzo con la conceptualización de Broad.

- *Broad.* Broad parte de la imposibilidad de evitar una falacia formal cuando se elevan las inferencias inductivas a los terrenos deductivos. Estas, dice Broad, a menos que estén expresadas en términos de probabilidad mantendrán inherentemente una falacia formal mientras intenten introducir -y basarse sobre- una ley de causalidad o un principio de uniformidad de la naturaleza (Broad, 1968: 1).

Si estos principios también provienen de la constancia epistemológica de las inferencias inductivas y del método de hipótesis, entonces ninguna premisa adicional puede salvar a la inducción por enumeración de caer en una falacia formal si se sigue manteniendo que la conclusión sea “todo S es P” (Broad, 1968: 2).

La modificación que propone Broad tiende hacia la probabilidad. Sin embargo, Broad también estableció que la implantación de un principio de probabilidad no puede enteramente satisfacer sin ayuda de otros valores el grado de creencia que sí dan las conclusiones causales (Broad, 1968: 1). Broad entiende que a este principio se le debe sumar algunas otras premisas acerca del mundo, donde participe un conocimiento racional

que contenga una referencia a la argumentación lógica de un sistema de descripciones, de características y de definiciones acerca del mundo.

La propuesta de Broad es de gran importancia debido a que mantiene la idea clásica de la creación legal y deductiva de la ciencia y el papel necesario de la inducción para desarrollar tales deducciones. Por un lado, Broad observa que las leyes científicas utilizan mayormente la deducción, pero entiende que para llegar a estas deducciones, la ciencia comenzó usando la inducción y el método hipotético; por otro lado, explica Broad que si la inducción y el método hipotético fueran las únicas herramientas, no se podría llegar a un sistema científico predictivo pues estas herramientas solamente proveerían datos estadísticos, mientras que la predicción científica a través de las leyes causales sobrepasa las limitaciones de los análisis estadísticos (Broad, 1968: 15-17). En otras palabras, Broad propone que la predicción causal no es el resultado de una enumeración estadística sino que deben de existir algunos presupuestos más, para poder implantar una predicación confiable (Broad, 1968: 15-17).

La primera parte del problema que hay que solucionar, dice Broad, es la falacia formal de la inducción-deducción. Para ello, Broad encuentra una salida en la modificación del grado de certeza obtenida en la conclusión; es decir, una modificación en la pretensión de la capacidad de la inducción. Dice Broad:

“Con la modificación propuesta en nuestra conclusión, la dificultad lógica desaparece. Supongamos que la conclusión es: es altamente probable a partir de los datos observados que todos los S sean P. Entonces no existe ningún proceso ilícito. La argumentación surge desde una proposición acerca de *algunos S* hasta la proposición probable de *todos los S*. Esto es perfectamente legítimo. El tema de nuestra conclusión ya no es *todo S*, sino *todos los S son P*. El predicado ya no es P sino que este es un predicado complejo “muy probable con respecto a datos observados”...A menudo es cierto que todos los S observados son P.

Ahora lo que sigue de una premisa cierta, a través de un proceso válido de razonamiento, puede ser considerado también por sí mismo verdadero.”¹⁰⁷

Y añade:

"Una propuesta que es muy probable con respecto a ciertos datos pueden ser en realidad falsa, y viceversa...Se desprende de estos hechos que si yo he observado n de S y todos ellos fueron P , entonces puede ser altamente probable, en relación a estos datos, que todos los S sean P ; y aun así, puede ser falso que todos los S son P . Si observo un $n+1^o S$ y veo que este no es P , entonces puedo saber que la proposición *todos los S son P* es falsa. Pero esto no cambia la verdad de la proposición en la que según mis primeras n observaciones, es altamente probable que todo S sea P . La probabilidad de una proposición puede ser elevada con respecto a un conjunto de datos y puede ser cero con respecto a otro conjunto que incluya el primero. Nuestra conclusión inductiva original no deja de ser verdadera; solamente deja de ser prácticamente importante.”¹⁰⁸

Es importante ver que Broad comparte la idea de Russell en relación a lo abstracto de las leyes científicas pero que, en este caso Broad llama leyes causales. La causación, para Russell y Broad, es la que sustenta la constancia de las leyes naturales, mientras que una ley -o principio- de causalidad entre universales solamente es posible cuando se trata únicamente con universales, y estas generalidades o leyes de causalidad son verdaderas para Broad al igual que para Russell; para Broad, las leyes causales son verdaderas porque son deducciones generales que en un principio nacieron del método inductivo basado en la observación (Broad, 1968: 159).

¹⁰⁷ Texto original de Broad: “[w]ith the suggested modification of our conclusion the logical difficulty vanishes. Suppose the conclusion becomes: It is highly probable on the observed data that all S 's are P . There is then no illicit process. We argue from a *certain proposition* about *some* S 's to the *probability* of a proposition about *all* S 's. This is perfectly legitimate. The subject of our conclusion is no longer All S 's, but is the proposition All S 's are P . The predicate is no longer P , but is the complex predicate “highly probable with respect to the observed data”...It is often certain: that all the observed S 's are P . Now what follows from a certain premise by a valid process of reasoning can be asserted by itself as true” (Broad, 1968: 3).

¹⁰⁸ Original en Broad: “[a] proposition which is very probable with respect to certain data may be in fact false, and conversely... It follows from these facts that if I have observed n S 's and they were all P it may be highly probable relative to these data that all S 's are P , and yet it may be false that all S is P . If I observe an $n+1$ th S and it proves not to be P , I know that it is false that all S is P ; but this does not alter the truth of the proposition that, relative to my first n observations, it is highly probable that all S is P . For the probability of a proposition may be high with respect to one set of data and may be zero with respect to another set which includes the former. Our original inductive conclusion does not cease to be *true*, it only ceases to be practically important” (Broad, 1968: 4).

Para Broad, las leyes causales son verdaderas a pesar de que estas no se cumplan en todos los casos. La existencia de las excepciones para Broad, solamente demuestra que no se ha logrado todavía encasillar tal excepción dentro del comportamiento esperado de una ley o deducción. Estas deducciones se mantienen verdaderas siempre y cuando se cumpla el requisito de la alta probabilidad de creencia de las inferencias o conclusiones causales, las cuales al mismo tiempo fortalecen la determinación en la creencia de la causalidad. De esta manera, las inferencias derivadas de las leyes causales, evitan la injustificabilidad epistemológica de la causalidad necesaria en la inducción.

Para Broad es preponderante el papel que juega la inducción en la ciencia ya que es de ella de donde se sustrae la determinación causal en forma de sustancia lógica; esta mantiene unida la descripción de un particular y su consecución fenoménica.¹⁰⁹ Conforme se profundiza la experimentación, la misma experiencia sugiere formas en las que la determinación de la sustancia está mejor definida y tiene mayor rigor (Broad, 1968: 51).

La creencia del rigor causal determina la permanencia o el fijismo de la expectativa dentro de la probabilidad causal, lo cual, a su vez produce que la probabilidad tenga una mayor tendencia hacia una posibilidad específica. También es importante decir que esta inclinación proviene no solamente de la regularidad que contrae la suma de las experiencias entre casos particulares en donde se muestra la inducción, sino que proviene igualmente de la deducción en las leyes causales. Las leyes causales toman una forma de abstracción deductiva que las hace universales, y por lo tanto constantes. Las leyes causales conectan clases de eventos abstractos al presuponer una posibilidad de recurrencia

¹⁰⁹ Broad aclara su término de *substancia* diciendo que al llamar a un cisne una sustancia, esto significa que este persiste durante un cierto tiempo. La sustancia es aquello que hace al cisne diferenciable de otros y que al mismo tiempo hace que sea posible identificar al mismo cisne en diferentes instantes. Esta sustancia está conformada por una serie de estados relacionados entre sí y tienen unas propiedades en común (Broad, 1968: 26).

cuando se tienen unas mismas condiciones en diferentes lugares y diferencias tiempos (Broad, 1968: 46).

Estas leyes causales tienen la ventaja de que provienen de la causalidad experiencial a partir de la observación y de la enumeración; estas extienden el conocimiento inductivo al tornarse en deducciones afirmando una regularidad causal basada en un principio abstracto (Broad, 1968: 46). Pero la determinación entre eventos *causas* y eventos *efectos* para Broad no solamente está estipulada deductivamente sino que también proviene de un elemento racional que captura la tendencia estadística de la causalidad y elabora las inferencias predictivas.

Esta racionalidad es la que está capacitada para discernir entre la tendencia de alta y baja probabilidad en las predicciones. Es así que este conocimiento racional versa no solamente acerca de la relación de la causación entre particulares sino que además tiene la función de dirigir la tendencia predictiva de las leyes probabilísticas y/o causales. Esto lo hace de tres formas: una, abrigando una regularidad relacional -estadística- entre eventos *causa* y eventos *efecto*; resaltando y determinando los requisitos para fijar una sustancia ontológica causal en algunos procesos (Broad, 1968: 49); y tres, atribuyendo al conocimiento una función predictiva a través de la coherencia regular estipulada entre eventos particulares; basada en el fijismo de una sustancia ontológica de procesos y apoyada por una racionalidad que legitima el grado de creencia de cada inferencia.

Ahora bien, ¿la racionalidad basada en la observación de procesos causales es realmente causal? Es difícil responder a esta pregunta sin olvidar que los mismos requisitos de Broad pueden ser encaminados igualmente a la causalidad necesaria de Hume y de Russell: si toda ley sube al terreno de lo formal, entonces necesariamente se torna determinista pero esto no incluye que sea causalmente determinada. Por supuesto, la racionalidad que guía las inferencias probabilistas asume dos cosas: una, que existe una causación, y dos, que

esta es constante a lo largo de la evidencia estadística. Pero esto ya lo había establecido Russell en sus leyes científicas no-causales.

La diferencia es que de un lado, Broad propone una evidencia estadística y una racionalidad para proteger a una causalidad relacional entre abstracciones, mientras que Russell asume que las leyes abstractas son de por sí relaciones funcionales basadas en la experiencia; las cuales implican una causación eficiente mas no una causalidad generativa y/o necesaria. Las leyes causales de Broad pueden hablar de relaciones causales mientras partan de una convencionalidad racional que considere que los procesos sean causales mientras sean constantes, pero esta causalidad en la racionalidad no asegura completamente una causalidad en las leyes causales.

Lo que quiero dejar claro es que si uno parte de la idea de que un evento *efecto* sigue a un evento *causa*, la racionalidad determinará que existe una causalidad entre estos dos eventos. Pero sucede lo mismo cuando esta racionalidad garantiza, en vez de una relación causal, una contigüidad temporal u otro tipo de relación; la racionalidad que se imprime a la evidencia es de por sí causal cuando se entiende que esta es causal pero al mismo tiempo, no lo necesita ser cuando parte de diferentes preceptos como sucede en la contigüidad no-causal. Así, la creencia acerca de que la racionalidad imprime una causalidad a las leyes científicas si bien es útil en el soporte del grado de creencia de la expectativa causal, también es viciosa cuando es utilizada como justificación epistemológica.

El error se encuentra en que de la racionalidad de las leyes causales no se sigue que las leyes sean causales, sino únicamente que sean racionales. Y de la racionalidad y la evidencia estadística no se sigue lógicamente una causalidad, sino una alta probabilidad de contigüidad, lo cual ya estaba establecido en las leyes científicas de Russell. En este caso no existe diferencia más que de grado de la creencia entre decir paso lógico y paso racional

entre las deducciones de las leyes causales, pero ninguna de las dos puede demostrar por qué las leyes causales de Broad o leyes científicas de Russell deban de ser propiamente causales.

Entonces, ¿qué ventajas tiene el reemplazar una justificación de la causalidad necesaria por un principio o ley de probabilidad? La respuesta es que la presencia de una ley de probabilidad si bien no justifica la certeza epistemológica de la causalidad de las leyes científicas sí justifica que exista una diferenciación entre los grados de creencia. Igualmente, esta propuesta provee de múltiples instrumentos para la identificación de una causalidad estadística, que habiendo admitido sus limitaciones epistemológicas, logra revertir la problemática humeana y en vez de preguntar por la justificación epistemológica de la causalidad, se pregunta por la metodología para la identificación y distinción de los procesos causales de los que no lo son.

Así, en vez de preguntar por la existencia de la causalidad en las leyes científicas, la misma presencia de una evidencia estadística de procesos causales, una modularidad y la elevación del grado de creencia de las inferencias científicas, determina que exista un factor extra que dirige las inferencias y los eventos. Este factor evita entonces que las leyes científicas y las inferencias causales sean reducidas a términos no-causales y de contigüidad -solamente- temporal. En otras palabras, la causalidad probabilista y todas sus herramientas demuestran que debe de haber algo en las leyes allende a su descripción relacional, abstracta y universal; y esto puede ser precisamente la causalidad que descartó Russell.

Algunas de estas nuevas herramientas para identificar la existencia, ya no de relaciones causales, sino de dependencias entre posibles causas y efectos gracias a la evidencia estadística fueron la modulación, dirección causal, los contrafácticos de Lewis, las redes Bayesianas, las estrategias causales, y otros más. El análisis causal a través de la

probabilidad y de la evidencia estadística tuvo varios representantes; dentro de ellos se encuentran Reichenbach y Suppes, quienes propusieron que el peso predictivo de las inferencias causales podía ser reducido a una frecuencia relativa a la eficiencia de los procesos fenoménicos. Al mismo tiempo, la frecuencia relativa de acontecimientos ayudó a la identificación de la relevancia de las causas, en Suppes, entre *prima facie* y *espurias*. En Reichenbach, en cambio, la relevancia causal en su análisis reduccionista está sustentada por la dirección del tiempo.

Es preciso decir que Reichenbach determinó que la probabilidad en forma de frecuencia relativa es más fundamental que la propia causalidad cuando, por ejemplo, se trata de estudiar al universo microfísico; con lo que igualmente pone en tela de juicio la relevancia de la causalidad en las leyes científicas. No obstante, la frecuencia relativa de Reichenbach y Suppes hace visible una condición muy importante para la justificación de la causalidad en las leyes causales. Esta es la manipulación del efecto a través de la presencia o ausencia de su correspondiente -tanto eficaz como aparente- causa.

c. Causalidad contrafáctica

La frecuencia relativa hace manifiesta la capacidad manipulativa de la causalidad haciendo posible la identificación de qué procesos son realmente causales: si es posible identificar que la frecuencia de un evento *B* -efecto- es mayor cuando está presente un evento *A* que cuando no está presente el mismo evento *A*, entonces es posible intuir que la causa de *B* es *A*; únicamente se requiere mostrar que la frecuencia estadística es mayor en un caso que en otro. La diferencia entre las dos frecuencias haría implícita una conexión que va más allá de una contigüidad temporal y la cual se extiende hasta una relación eficiente; es decir, una relación causal.

La manipulación de la presencia de la causa y el análisis de la estadística hacen posible revertir la intensión universalista de la causalidad necesaria situándola en una pretensión

de justificación particular; y de esta forma, no sería necesario crear un principio causal que axiomatice todo proceso para mantener las mismas características efectivas, sino que sería suficiente con justificar solamente la creencia causal de una inferencia particular ulterior. Esta creencia estaría justificada con la evidencia de dos muestras estadísticas: una donde se encuentra la causa *A* y se produzca un efecto *B*, y otra en donde no se encuentre la causa *A* y se produzca, si es que se produce, el efecto *B*.

Esta forma de justificar, si bien está presente desde Hume, es con David Lewis y Goodman con la que llega a su clímax. Con ellos se muestra la gran utilidad de esta justificación contrafáctica como un instrumento que eleva las posibilidades efectivas de una causa. La principal base sobre la que se estructura la causalidad en los contrafácticos se refiere a que la presencia de un evento particular *A* produce un efecto diferente del que se podría producir en su ausencia; se puede intuir que si no se hubiera producido el evento *A*, entonces el evento *B* sería diferente o simplemente no se hubiese producido. Entonces, *A* causa *B*, si y sólo si, de no haber ocurrido *A*, tampoco hubiese ocurrido *B*. Esta es una relación de dependencia *a posteriori*; el conocimiento e identificación de la causa solamente es posible cuando se ha identificado una relación de dependencia con el origen del evento *B*. De esta forma es posible hablar justificadamente de una dependencia causal - epistemológica y ontológica- entre eventos fenoménicos.¹¹⁰ Esta es la causalidad contrafáctica en su concepción más sencilla, que es con la que trataré a continuación.

Una de las ventajas de considerar a los contrafácticos como evidencia de la existencia de la causalidad en las leyes es que son en su mayoría intuitivos (Eagle, 2007: 163). El análisis de la causalidad contrafáctica indica que si una alteración tiene lugar en el resultado o evento de salida -efecto- de un proceso cuando se ha manipulado el evento de entrada -causa-, es posible no solamente mantener que el proceso sea causal sino que además,

¹¹⁰ Es también posible argüir que el requisito contrafáctico también se puede imponer como condición suficiente; es decir, si *A* tiene lugar, entonces *B* también debería de ocurrir (Wilson, 2006: 99).

posibilita encontrar intuitivamente cuál o cuáles son los eventos que suscitan el efecto producido.

Otro punto a favor de este tipo de causalidad es que puede contener no solamente eventos representados en relaciones funcionales entre una *causa* y un *efecto* sino que también puede incluir procesos en los que es necesario tomar en cuenta un alto número de causas y/o efectos para poder hablar de que un proceso realmente sea causal: a) procesos provenientes de una causa primera, la cual produce otras series causales; b) procesos en los que una gran variedad de causas necesitan converger en un punto específico para la producción de un efecto específico.

Ejemplos de este tipo de causalidad son tan comunes como el desarrollo de una semilla en una fruta, la cual requiere una serie de elementos presentes para que pueda nutrirse la semilla y convertirse en un árbol que dará eventualmente frutas; de igual forma, pueden entrar en este tipo de procesos causales momentos históricos, programas sociales, modelos económicos de planeación estratégica, procesos virales en la medicina, etc. La gran utilidad del análisis contrafáctico es que puede ser aplicado a cualquier inferencia basada en la experiencia para determinar, justificadamente, la relación entre causas y efectos; la justificación se encuentra en la posibilidad y capacidad de manipulación causal dentro del proceso o del modelo.¹¹¹ Explica Wilson:

“Donde los contrafácticos pueden resultar más útiles es al proporcionar una base para la comprensión o la formalización de la función que desempeña la manipulabilidad dentro del concepto de causalidad. Visto de esta manera, los contrafácticos proporcionan la base de un tratamiento epistemológico de la causalidad, más que de uno metafísico.”¹¹²

¹¹¹ Al hablar de manipulación se entiende la capacidad de intervención de agentes en objetos o situaciones y en este caso, la manipulación causal adquiere una connotación también de predicción en el resultado de la intervención (Eagle, 2007: 170).

¹¹² Texto original: “[w]here counterfactual accounts may be most useful is in providing a basis for understanding or formalizing the role that manipulability plays in the concept of causation. One such

Los contrafácticos evitan el problema humeano e intentan encontrar una razón de fondo que explique el porqué de la creencia en la eficacia de la causalidad. Lewis, también humeano, entendió la imposibilidad de la justificación causal y pensó que debía de haber alguna forma de demostrar epistemológicamente que existían las relaciones causales en forma de dependencia, y no solamente reducirlas a términos de contigüidad temporal.

La solución tuvo lugar para Lewis en la manipulación y la intervención en los procesos fenoménicos. Si existía tal manipulación, debía de existir un nexo causal, es decir, de dependencia causal. No obstante, es importante recalcar que esta relación no requiere ser necesaria; los hombres y la ciencia en muchas ocasiones han encontrado que a pesar de encontrarse todas las causas requeridas, el efecto esperado no es producido. Por esta razón, Lewis evita hablar de la certeza epistemológica de una causalidad necesaria en los contrafácticos.

En cambio, al ser evidente la posibilidad de la eficacia en la manipulación, Lewis propuso un segundo caso contrafáctico más sutil en el que *c* causa *e* si y sólo si, la ausencia de *c* haría que *e* fuese menos probable de suceder. La presencia de *c* eleva la probabilidad del efecto esperado. Así, la causalidad contrafáctica se presenta como un potenciador de la probabilidad de que se dé un efecto; y no solamente como una guía pasiva.

Cabe preguntar si se resuelve con este tratamiento el problema de la causalidad en las leyes científicas de Russell. Precisamente una de las ventajas de las proposiciones contrafácticas es que resuelve la reducción causal y evita descartar a la causalidad: Russell no logró reducir la causalidad a términos de dependencia física sino que siguió a Hume en su reducción a términos no-causales (Eagle, 2007: 175).

approach sees counterfactuals as providing the basis for an epistemological, rather than a metaphysical, account of causation” (Wilson, 2006: 100).

Los contrafácticos reducen la causalidad precisamente a una dependencia eficiente, con lo que la predicción no depende de un principio de uniformidad de la naturaleza, sino de una relación experiencial entre causa y efecto. Por supuesto que la uniformidad está implícita pero esta está situada como consecuente a la relación de dependencia y no como una condición o requisito *a priori*; situación que ha sido siempre difícil de justificar. Entonces, si la causalidad está expresada en términos contrafácticos, ¿cuál es el problema, si es que hay alguno? ¿Satisface la causalidad contrafáctica los requisitos para implantar una evidencia de la causalidad en las leyes científicas?

La respuesta depende de la reducción final a la que se llegue cuando se habla de la causalidad contrafáctica. Si la causalidad es reducida a una dependencia eficaz de dos eventos, surge una problemática con la veracidad de las proposiciones contrafácticas; sin embargo, si la reducción se resuelve en un potenciador de probabilidades de la eficacia causal, entonces se evita el problema de la veracidad de las proposiciones aunque se pierde fuerza en la creencia de la dependencia efectiva.

- Las relaciones contrafácticas son tan complejas que se hacen en muchas ocasiones irreducibles para hablar propiamente de una dependencia eficaz y necesaria entre eventos *causa* y *efecto*. Si estas relaciones son reducidas a ser potenciadores de probabilidad, la causalidad también puede ser dispensada; y este es justamente el problema por el que Russell descartó la causalidad de las leyes científicas. Así que uno regresa a donde comenzó. A pesar de estas dificultades la causalidad contrafáctica es la que mejor resuelve el problema.

Es indiscutible que las ventajas de los contrafácticos son enormes. Sobre todo cuando es posible recapitular el evento y analizarlo *a posteriori*. Por ejemplo, si no hubiera un riego constante -y de manera muy específica- sobre una semilla, esta indudablemente no crecería. En cambio, si se riega la semilla -junto con una serie de indicaciones más-, esta

crece y se convierte en un árbol. Pero ¿puede un árbol crecer de una semilla sin haber sido regada? e incluso, ¿puede una semilla, aun siendo regada y aun habiendo seguido todas las indicaciones, no crecer hasta convertirse en un árbol? la respuesta a ambas preguntas es afirmativa. Sin embargo, esto no indica que los contrafácticos dejen de ser útiles.

Esto simplemente indica dos puntos: uno, que puede haber más variables desconocidas a considerar y que si fueran tomadas en cuenta, la regla permanecería verdadera; y dos, que puede ser el caso que exista un contrafáctico más sutil o de segundo grado en el que no todas las semillas deban de convertirse en un árbol al ser regadas, nutridas, etc. ¿Pero qué sucede si el contrafáctico no se cumple? Es decir, ¿qué sucede si el efecto no se produce aún después de encontrarse todas las variables conocidas y hasta las reglas más sutiles? Podría argumentarse entonces que no se conocen todos los fundamentos del universo todavía, pero que cuando se conozcan será indudable que el efecto tendrá lugar. La proposición contrafáctica sería falsa pero el futuro podría indicar que esta proposición es en realidad verdadera.

El problema con esta posición es que corre el riesgo de caer en una argumentación *ad hoc*. Entonces, ¿cómo solucionar este problema de veracidad? Por este motivo, Lewis propuso un segundo caso de contrafácticos en el que la causalidad es reducida, como está dicho anteriormente, a un potenciador de la posibilidad de que suceda un efecto. Si se considera así a la causalidad, uno se libra de requisito de una veracidad última pues la proposición no es falsada aun cuando el efecto no suceda. La causalidad hace que exista una diferencia entre la probabilidad de que se dé un efecto cuando su respectiva causa esté presente y la probabilidad de que el efecto se produzca cuando su causa no esté presente. La causalidad toma entonces el papel en las proposiciones contrafácticas de aquello que si está presente, incrementará la probabilidad de un efecto.

¿Justifica esto el hablar de una causalidad en las leyes científicas? Temo decir que no; sobre todo mientras sean consideradas las leyes científicas como proyecciones certeras y no solamente probables. Cuando las leyes son probabilistas, las proposiciones contrafácticas definitivamente justifican la creencia de que exista una causalidad en los procesos; la creencia de que los procesos son causales estaría justificada no solamente a través de la intuición sino también a través de la evidencia estadística.

Sin embargo, para hablar de las leyes mecanicistas no es posible hablar de una causalidad incluso cuando sea contrafáctica, sin regresar a la problemática russelliana si uno intenta totalmente evitar argumentaciones *ad hoc*, peticiones de principio y relaciones causales vagas y ambiguas. La reglamentación contrafáctica de lo que puede o no puede considerarse como una inferencia contrafáctica tendría que aceptar demasiadas variables para poder hablar de una dependencia causal. Esta dependencia es en algunas ocasiones efectiva pero en otras es, en realidad, solamente estadística e incluso solamente funcional. Si todas estas relaciones son consideradas causales, entonces la causalidad debe de aceptar una amplia gama de tipos de relaciones.

Otra dificultad es la de limitar el número de elementos que puedan ser considerados dentro de la serie causal. Estos elementos en ocasiones no pueden ser definidos en términos *A* y *B*, sino en forma de series causales. Y estas series causales pueden contener las causas de las causas y así sucesivamente. La pregunta por la dependencia se da en la identificación de la causa -si bien no última pero sí eficiente de los procesos fenoménicos-. Pero entonces, ¿en dónde se detiene la explicación causal?

Si Aristóteles habló de un motor inmóvil, Lewis se limitó a hablar de series causales aunque estas brindan las mismas dificultades epistemológicas aristotélicas, es decir ¿cómo identificar cuál es verdaderamente la causa eficiente? y ¿cuál es su relevancia en los eventos de una serie causal? Asimismo, ¿cómo evitar que la extensión de la explicación

causal no se alargue de tal manera que la explicación causal nunca se base sobre una causa espuria?, ¿cómo explicar una serie causal cuando dentro de la misma serie se encuentran simultáneamente relaciones funcionales, causalmente eficientes, estadísticas, y/o coincidentes, etc.? Y por último ¿cómo evitar circularidades explicativas entre *explicandum* y *explicans*? En resumen, se puede decir que si la reglamentación contrafáctica cede demasiado, será siempre posible explicar un efecto con causas escondidas pero si es muy estricta, puede incluir demasiado poco y terminar basándose en una dependencia circular entre la variable explicativa y la evidencia explicativa, todo con de no caer en la necesidad de variables ocultas.

Para terminar se le debe de añadir a esta problemática una dificultad más: si la causalidad es reducida a un potenciador de probabilidad, ¿cómo definir la probabilidad de que el efecto no tenga lugar en un mundo paralelo? el cual, acorde a Lewis, debe de aproximarse en lo máximo posible al mundo en el que espera que tenga lugar el efecto (Eagle, 2007: 165-172).

Todas estas preguntas contienen grandes problemas epistemológicos aunque también es importante decir que la causalidad contrafáctica hace evidente que tal vez el problema se encuentra en la reducción de la causalidad a términos no-causales. Tal vez la pregunta correcta de donde se deba comenzar es si la causalidad es realmente reducible o no. Puede ser que aquí se encuentre el verdadero problema. Tal vez el perseverante intento por un reduccionismo causal ha hecho que la filosofía sea escéptica a lo evidente e intuitivo. Puede ser el caso que la reducción causal ha producido el efecto contrario al deseado, dificultando más su comprensión. O tal vez la reducción se ha hecho de manera incorrecta al tratarse de reducir la causalidad a términos no-causales mientras que se ha dejado de lado, por influencia humeana, la posibilidad de una reducción de la contigüidad temporal en términos causales. Quizá ni si quiera se precise el distinguir entre causalidad y causación o entre leyes científicas y leyes causales.

Es también posible pensar que las leyes estadísticas sean causales y no se necesite hablar de una separación entre el conocimiento estadístico y el conocimiento causal. Tal vez toda causalidad sea estadística al ser observacional; y no exista razón por la que la causalidad probabilista deje de ser propiamente causal mientras sea predictiva. Entonces, en vez de realizar una reducción, se precisa realizar lo contrario, es decir, agrupar las condiciones, requisitos e implicaciones dentro de un único concepto de causalidad.

La causalidad así se convertiría en una amalgama de capacidades y requisitos que guía al Realismo científico para demostrar la eficacia de las leyes científicas. De esta forma, la eficacia de las leyes científicas llenaría el requisito de hablar de una causalidad tanto ontológica como epistemológica y metodológica. La aglomeración de variables propondría que la reducibilidad de la causalidad es imposible.

- *Plasticidad e irreductibilidad de la causalidad.* Si la causalidad es irreducible, tal vez esto quiere decir que es posible llegar a una conceptualización lo suficientemente amplia y elástica que pueda satisfacer tanto los requisitos del determinismo como las entregas de una causalidad experiencial. Esta conceptualización contrastaría con en el estudio de la causalidad necesaria de Hume: la causalidad en la naturaleza resultaba demasiado compleja para encasillarla en una reducción en términos no-causales; ya que si sí era posible de reducir, la implicación consecuente sería la que Russell estableció.

Existen muchas tareas que pueden ser logradas a través del entendimiento causal de las leyes científicas. Esta es una de las razones por las que la conceptualización de Russell debía de estar equivocada según Cartwright. No era posible, según ella, descartar tan fácilmente a la causalidad de las leyes científicas. La explicación es una de esas tareas; las estrategias efectivas son otras. La modulación causal es otra tarea de gran importancia. Esto, más que una pluralidad de conceptos aislados, representan un concepto de causalidad irreducible, o como dice Cartwright, un concepto ancho de la causalidad.

¿Es posible realizar esto? y sobre todo, es preciso preguntar si tiene realmente un resultado pragmático para la ciencia el aglomerar todo esto en un único término para poder contrarrestar la causalidad russelliana. ¿Sería científico hacer una aglomeración tan amplia? ¿Es posible aglomerar tantas tareas en un solo concepto, sin estar uno tentado a utilizar la navaja de Occam?

Para lograr un término irreducible de causalidad hay que tomar en cuenta todo aquello que tiene que ver no solamente con la epistemología de la causalidad experiencial y científica, sino además, con la metodología de la causalidad que trata con la identificación y modulación causal, sin mencionar a la metafísica de la causalidad. La irreductibilidad de la causalidad debe de responder, no solamente a preguntas como, ¿qué es la causalidad? sino que además debe responder a preguntas de tipo, ¿cómo acceder al conocimiento de la causalidad? y ¿por qué existe una creencia en la causalidad? Todo esto sin considerar tampoco una posible categorización en el concepto que diferencie las relaciones de causalidad en las leyes científicas: producir, guiar, ejercer, mover, etc.

Esta última problemática hace obvia la diversidad de tipos de relaciones que puede englobar el concepto de causalidad. Cartwright argumenta que la naturaleza está plagada de leyes de contenido causal representadas a través de diferentes verbos como atracción, compresión, etc.; si no se comprende el contenido causal de cada verbo, se pasa por alto, explica Cartwright, una información de gran utilidad para el diseño, control y modelación fenoménica.

Si se entiende la importancia del contenido causal de las relaciones que se establecen en las leyes científicas, se adquieren descripciones amplias de procesos causales aunque sean enteramente causales en el sentido clásico de efectividad necesaria; pueden también entrar en estas descripciones amplían las justificaciones de tipo funcional, estadístico y explicativas no-causales (Cartwright, 2007: 19-22). Explica Cartwright:

“Generalmente cuando abro los ojos y miro a mí alrededor, veo un mundo manchado, entrelazado y en pedazos; no veo ningún plano homogéneo. Esta tendencia ha sido reforzada por mis estudios de causalidad en los últimos años, los cuales me han llevado a la conclusión de que la causalidad no es un concepto monolítico. Tampoco existe una única cosa -una relación causal- que determina nuestros usos correctos de dicho concepto. Hay una variedad de diferentes tipos de relaciones seleccionadas para el término abstracto *causar* y una variedad de diferentes -correctos - usos del término para una variedad de diferentes propósitos, los cuales tienen poco contenido substancial en común... La variedad de las teorías de una ley de causalidad disponibles proporcionan una de las razones principales en favor de esta visión pluralista.”¹¹³

El problema es que esta aglomeración deberá de ser lo suficientemente plástica para poder contener dentro de un mismo término la diversidad de las capacidades ontológicas, epistemológicas y metodológicas de la causalidad; al igual que debe de ser lo suficiente amplia para sostener todos los tipos de relaciones explicativas, funcionales y eficaces que pueda realizar la causalidad en las leyes científicas.

La causalidad vista de esta forma deberá de comprender desde aquellas relaciones en que la eficacia causal está estrictamente determinada, hasta aquellos casos en los que el determinismo está oculto o en los que existe una indeterminación de principio; desde aquellos en los que la predicción causal explique una causalidad eficiente hasta aquellos en los que una evidencia estadística sea coincidente, aunque no explicativa de la eficiencia de una ley; desde la causalidad necesaria implícita en argumentos lógicos y analíticos hasta aquellos en los que la predicción sea necesariamente aproximada; desde las relaciones causales de Aristóteles hasta el escepticismo de la causalidad necesaria de Hume y Russell; y muchos más tipos de relaciones consideradas como causales por la praxis científica y por el sentido común.

¹¹³ Texto original de Cartwright: “[g]enerally when I open my eyes and look around me, I see a dappled world, plotted and pieced, not one homogeneous sweeping plain. This tendency has been reinforced by my studies of causality over the last few years, which lead me to the conclusion that causation is not one monolithic concept; nor is there one single thing - the 'causal relation' - that underpins our correct uses of that concept. There are a variety of different kinds of relations picked out by the abstract term 'causes' and a variety of different - correct - uses of the term for a variety of different purposes, with little of substantial content in common... The variety of theories of causal law on offer provides one of the major reasons in favour of this plurality view” (Cartwright, 2007: 44).

También deberá de incluirse en esta conceptualización ancha una diferenciación en la observación, en la predicción y en la verificación -desde la potenciales hasta la factuales-; y todavía más difícil, deberá de incluir no solamente una justificación sino también una estructura dialéctica de la creencia del porqué puede encontrarse cierto tipo de causalidad en las leyes científicas, sin mencionar, que deberá de incluir una categoría para las pretensiones de cada ley de cada tipo de ciencia; desde la Mecánica hasta la Economía pasando por la Medicina, la Biología, etc.

Esta última dificultad se hace más aguda con la llegada de la Física relativista y la Mecánica cuántica. Solamente después de ver los problemas epistemológicos que presentan estas dos ramas, será también visible la dificultad que presenta una encapsulación irreduccionista de la causalidad en la ciencia. Antes de profundizar en esta última caracterización de la causalidad, es necesario hablar de lo que he denominado el *Segundo rompimiento con la causalidad*; con este capítulo se entenderán los requisitos y las entregas del concepto de causalidad cuando se le presentan nuevas implicaciones epistemológicas en el siglo XX. Por ahora, doy por concluido este capítulo del *Primer rompimiento con la causalidad necesaria*.

PARTE 3

EI SEGUNDO ROMPIMIENTO CON LA CAUSALIDAD NECESARIA

CAPÍTULO 1

La Relatividad de Einstein

El objetivo de los siguientes capítulos es enfatizar el rompimiento entre la ilusión laplaciana y el determinismo científico por medio de la evidencia que encontró la ciencia a comienzos del siglo XX en el funcionamiento del universo. A causa de esta evidencia, la ciencia renovó sus pretensiones epistemológicas alejándose del mecanicismo determinista.

Los límites que trajo el cambio de siglo hicieron eco, de alguna forma, de la incapacidad en la filosofía por encontrar un acuerdo común para la justificación inductiva de las leyes científicas; si bien el cambio en el determinismo científico no se dio súbitamente, la Relatividad marcó el punto de no-retorno contra la creencia del determinismo estricto y la Mecánica cuántica fijó los límites del acceso epistemológico del determinismo científico.

a. El rechazo a la simultaneidad

La revolución que trajo la Relatividad no tuvo su origen sencillamente con la llegada de Einstein y con la implantación de la relación masa-energía; de la misma forma no sería enteramente correcto pensar que la llegada de Einstein destruyó completamente la pretensión del determinismo científico al relativizar las leyes; y mucho menos preciso sería decir que el cambio que provocó la Relatividad en la ciencia hizo que esta última dejara de ser el referente principal en el estudio de la estructura del universo. No obstante, lo que sí es válido decir es que la Relatividad cambió los límites de alcance en las implicaciones de la ciencia mecanicista de Newton y de su forma de entender al universo. La Relatividad implantó las nuevas herramientas para ver un universo que dejaba de ser laplaciano no por

incapacidad de medición sino por *principio*. Así, la Relatividad determinó que la ciencia no debía de ser laplaciana.

La llegada de la Relatividad se puede explicar a partir de dos fuentes: por un lado, la preocupación acerca de la medición de la velocidad de la luz por Galileo, Roemer, Fizeau y Michelson; y por otro lado, mas no independientemente, el análisis de las implicaciones de los marcos de referencia, inerciales o fijos, desde tiempos de Aristóteles pasando por Newton, Maxwell, Poincaré y otros. La relación entre la velocidad de la luz y los marcos de referencia tiene su clímax en Einstein. Estas dos preocupaciones convergieron también desde Galileo. Por este motivo, comenzaré la descripción de la Relatividad con Galileo.

La relación de Galileo con la Relatividad se da en dos formas: una, en su intento por medir la velocidad de la luz y dos, en la instauración de la importancia de la medición acorde a los marcos de referencia. El intento por medir la velocidad de la luz de Galileo no contaba con los instrumentos suficientemente precisos para lograr un resultado acertado; sin embargo, su principio de relatividad mostró una brillantez contra-intuitiva que tendría que esperar unos cientos de años hasta su completa implantación epistemológica.

- *Medición de la velocidad de la luz.* En un experimento, Galileo con la ayuda de dos linternas provistas de obturadores, intentó medir la velocidad con la que la luz recorría una distancia (Gamow, 2003: 212). La medición de la luz por Galileo es muy representativa, más que por su resultado, por la misma tentativa de medición. Si bien los medios no eran lo preciso que requería este tipo de medición, no tardaría más que unos años para que llegara otro intento de medición de la luz. Esta vez fue a través de la medición del retraso aparente en los eclipses de los satélites de Júpiter cuando este se encuentra a diferentes distancias de la Tierra (Gamow, 2003: 212). Esta vez fue un astrónomo danés llamado Roemer en 1670 el que hizo la medición. Explica Feynman:

“Cuando Júpiter está más cerca de nosotros la luz tarda menos tiempo en llegar, y tarda más cuando está más lejos, de manera que Roemer corrigió las observaciones eliminando la diferencia de tiempo y, teniendo en cuenta los adelantos y atrasos, pudo determinar la velocidad de la luz. Ésta fue la primera demostración de que la luz no era un material de propagación instantánea”.¹¹⁴

La medición que hizo Roemer daba como resultado que la velocidad de la luz era aproximadamente de 225, 000 kilómetros por segundo. (Gribbin, 1993: 29). Pero no fue hasta la experimentación del físico francés Fizeau en 1851 que la velocidad de la luz se definió en las cercanías de 300,000km por segundo.

- *Éter*. A la pregunta, ¿a qué velocidad se mueve la luz?, había que añadir: ¿en qué se mueve la luz?¹¹⁵ Era preciso preguntar acerca del medio en el que la luz se movía al ser la acción a distancia una de las posiciones que más rehuía la ciencia mecanicista; la luz requería de un medio a través del que se pudiese propagar, como lo hace análogamente el sonido a través del aire. Con este requisito, surgió la idea de un medio imperceptible llamado éter (Tavel, 2002: 48).

La ventaja del Éter cósmico es que no solamente brinda la cualidad de ser un medio en el que se transportan las ondas de la luz sino que al mismo tiempo, este justifica los atributos del espacio absoluto de las leyes cinéticas newtonianas. Así, el éter se convertía en un sistema referencial preferente -en reposo y homogéneo-. El éter representó al espacio absoluto cuya verificación finalmente mostraría la diferencia entre un movimiento relativo o aparente y uno absoluto o verdadero (Capek, 1961: 143-145).

¿Cómo saber efectivamente que existe este medio si es imperceptible? El experimento que tuvo más repercusión en la Relatividad de Einstein fue el que hizo en 1881 el físico

¹¹⁴ R. P. Feynman, *El carácter de la ley física* (Tusquets Editores: Barcelona, 2005), pág. 22

¹¹⁵ Comenta Poincaré: “[s]e sabe de dónde nos viene la creencia en el éter. Si la luz nos llega de una estrella alejada, durante muchos años, no está sobre la estrella ni tampoco sobre la Tierra; es realmente necesario entonces que esté en alguna parte y sostenida, por decirlo así, por algún soporte material” (Poincaré, 2002: 204).

americano Albert A. Michelson y que repitió junto a Edward Morley 6 años más tarde. El experimento de Michelson intentaba medir la velocidad de la Tierra en relación al éter midiendo los cambios que se producían en la medición de la luz, ocasionados por el movimiento de la Tierra (Tavel, 2002: 50).

- El experimento de Michelson se basaba en dos presupuestos: uno era que debido al movimiento de órbita de la Tierra alrededor del Sol de 30 kilómetros por segundo, la Tierra no podía ser un marco referencial en reposo como en cambio sí lo podía ser -se pensaba- el éter; el segundo presupuesto era que el movimiento de la Tierra debería producir algún efecto sobre la velocidad de la luz (Tavel, 2002: 50).

La suposición para Michelson era que si Fizeau había podido medir la influencia de una corriente de agua sobre la velocidad de la luz, también podría ser posible medir el efecto que produce el movimiento de la Tierra sobre la velocidad de la luz. Se pensaba que la velocidad del movimiento de la Tierra a través del éter podría influir sobre la velocidad de la luz ya que esta estaría en movimiento junto con la Tierra, pero viajaría a través del éter. Así, usando la velocidad de la luz, Michelson y Morley podrían medir la velocidad absoluta del movimiento de la Tierra.

El resultado que encontró Michelson fue que no existía una diferencia en la medición de la velocidad de luz aunque esta se moviera en diferente dirección que la de la Tierra.¹¹⁶ La velocidad de la luz permanecía constante e indiferente en relación a los distintos movimientos dentro del hipotético éter interplanetario. El experimento conllevó a la negación de la adición de velocidades cuando se medía la velocidad de la luz.

La Física clásica sostenía que las velocidades se sumaban o restaban con respecto a un espacio absoluto, pero no fue sino hasta la década del 1880 que se demostró que la

¹¹⁶ El experimento del interferómetro de Michelson y Morley en 1887 trataba de detectar cambios en la velocidad de la luz ocasionados por el movimiento de la Tierra al alrededor del Sol (Hacyan, 2004: 97).

velocidad no solamente era finita, sino que además era constante ya sea dentro de los marcos de referencia inerciales o en reposo; la medición de la velocidad de la luz permanecía constante e independiente de la velocidad del instrumento medidor. El instrumento medidor podía estar en reposo o en movimiento pero esto rompía con los principios de la Mecánica clásica de Newton. Ahora bien, para entender el por qué la velocidad de la luz no variaba, es necesario explicar las implicaciones de la Relatividad galileana.

- Había escrito anteriormente que el otro foco del que proviene la idea de la Relatividad también se encuentra en Galileo. Este se refiere a la relación entre los marcos de referencia inerciales y la evidencia del funcionamiento de las leyes cinéticas dentro de estos marcos. Estos dos puntos comparten su origen en lo que se conoce como el Principio de relatividad galileana. Este principio dice que no es posible determinar a partir del comportamiento de las leyes cinéticas si un marco referencial se está moviendo uniformemente en referencia a otro. Si se encuentra un observador dentro de un marco de referencia y no puede observar otros marcos de referencia, este no puede saber si él se está moviendo o no.
- *Relatividad galileana.* El Principio de relatividad de Galileo responde a por qué no era perceptible el movimiento de órbita de la Tierra alrededor del Sol. Este principio resolvía una de las inquietudes que hacían que el sistema de Ptolomeo persistiera aun cuando el sistema de Copérnico apoyado en Kepler resultaba más sencillo; se argumentaba contra el sistema de Copérnico que porqué si se soltaba un objeto desde lo alto de una torre o de un mástil -por ejemplo-, el objeto caería justo donde se esperaba si la Tierra se mantuviese fija; el objeto no caería desplazado como sucede cuando se deja caer algo desde un barco o carruaje: la evidencia hacía visible, siguiendo al sentido común, que la Tierra no se movía pues si esta se moviese, los objetos caerían alejados de donde fueron arrojados.

A esto respondió Galileo con su famoso ejemplo que dice que si en un camarote de un barco se llevan moscas, mosquitos, pequeños animales alados, y se analiza su movimiento, se encontrará que es imposible detectar si el barco se mueve o si está quieto basándose en la diferencia de comportamiento del movimiento de estos insectos y animales; el vuelo de los insectos, por ejemplo, se realizará sin ninguna otra dificultad que se si realizara en tierra firme.¹¹⁷

Más específicamente, lo que Galileo muestra es que las leyes se comportarían igual. El único cambio sería uno de coordenadas espaciales usando lo que es llamado *las transformaciones de Galileo*.¹¹⁸ La dificultad entonces radicaba mayormente en definir el estado absoluto de dos elementos en relación al espacio homogéneo; ya sea el movimiento absoluto o el reposo absoluto (Capek, 1961: 143).¹¹⁹ Un problema surge cuando convergen en el siglo XIX tres factores, que en un principio se pensaban complementarios y bajo un mismo rubro determinista: el Principio de relatividad de Galileo, la medición de una velocidad constante de la luz por Michelson y Morley, y las leyes del Electromagnetismo de Maxwell. Explica Penrose:

“Recuérdese que las ondas electromagnéticas de Maxwell se propagan a una velocidad fija c , la velocidad de la luz. El sentido común parece decirnos que si estuviéramos viajando

¹¹⁷ El movimiento rectilíneo e uniforme es indistinguible, localmente, al estado de reposo (Penrose, 2006: 249).

¹¹⁸ Explica Feynman: “[p]ero en la medida en que el observador se desplace a velocidad uniforme y rectilínea, las leyes de la física serán en apariencia las mismas tanto para él como para mí, y por lo tanto no puedo decir cuál de los dos se está moviendo....Lo interesante es que si agarro un aparato y lo cambio de sitio, entonces, teniendo en cuenta una serie de condiciones, puedo trasladar un pedazo del mundo en relación a la medida del resto de estrellas sin que se note la diferencia alguna. En el caso de la relatividad esto significa que un individuo avanzando a velocidad uniforme y rectilínea en relación a la medida del resto de galaxias no apreciará efecto algún de este movimiento. Dicho de otra manera, es imposible determinar experimentalmente desde el interior de un coche, sin mirar hacia el exterior, si uno se está moviendo en relación con las estrellas” (Feynman, 2005: 101).

¹¹⁹ Todo esto no quiere decir que no exista un estado de reposo o que todos sean inerciales. Como se vio en uno de los primeros capítulos de esta investigación, las implicaciones de las leyes newtonianas mantenían la existencia de un espacio en estado de reposo que sostiene una multiplicidad de estados inerciales y de observadores, y donde se permitieran teóricamente los movimientos y los cálculos que determinaban la mecánica. Este espacio era el que estaba lleno de éter.

muy rápidamente en una dirección, entonces la velocidad de la luz en dicha dirección debería aparecernos *reducida* por debajo de c (debido a que estamos moviéndonos para <alcanzar a la luz> en dicha dirección) y la aparente velocidad de la luz en la dirección contraria debería en consecuencia estar *incrementada* por encima de c (debido a que nos estamos alejando de la luz), que es diferente del valor *fijo* c de la teoría de Maxwell. De hecho, el sentido común tendría razón: las ecuaciones de Newton y Maxwell combinadas no *satisfacen* la relatividad galileana”.¹²⁰

- Se ha hablado mucho de las razones que hicieron a Einstein encontrar una solución a esta contrariedad y elaborar su Relatividad: su tendencia positiva, su creencia en la simetría, su pensamiento iconoclasta, etc. Estas razones son de gran importancia para el entendimiento de la creación científica y el rompimiento de paradigmas. Aquí centraré mi descripción en el seguimiento de los cambios que trajo la Relatividad en la concepción del universo y en las nuevas implicaciones que contrajo la estructura científica.

El mayor cambio que trajo la Relatividad de Einstein es la eliminación del marco de referencia único y preferencial, uniendo al universo con la observación. Einstein vio que la velocidad de la luz permanecía invariante al movimiento o al reposo del marco de referencia y entendió que debía de haber una relación entre el marco de referencia, la medición y los instrumentos de medición.¹²¹ Una de las explicaciones que se dieron al experimento de Michelson, anterior a la Relatividad einsteiniana, era que los cuerpos se contrarían cuando se movían a través del éter y por esta razón el cambio en la velocidad de la luz era indetectable; la luz viajaría entonces una menor distancia. Esta explicación estaba descrita por la *contracción de Lorentz-Fitzgerald*.¹²²

La idea de la contracción era correcta aunque es importante decir que no solamente los cuerpos o la materia se contraían, sino que era todo el marco de referencia el que se

¹²⁰ R. Penrose, *La nueva mente del emperador* (DeBOLS!LLO: Barcelona, 2006), pág. 289

¹²¹ En 1905 Einstein publica tres artículos en la revista *Annalen der Physik*. En ellos se hablaba del calor, de la electricidad y de la luz. Fue su artículo llamado *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* (Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento) con el que nace la Relatividad de Einstein.

¹²² Lorentz había, anteriormente a Poincaré y Einstein, abordado la relación entre Maxwell y Galileo-Newton (Penrose, 2006: 290).

contraía. Einstein confió en los resultados de la velocidad de la luz, y al mismo tiempo descartó una posible independencia en la observación de los instrumentos de medición con su marco de referencia. Por lo tanto, si la velocidad permanecía constante, debía de ser porque existía una contracción del tiempo, que es el medio con el que se mide la velocidad de la luz. Esto respondía al porqué de la constancia en la medición de la velocidad de la luz independientemente del movimiento del marco de referencia (Tavel, 2002: 60).

El problema se presenta cuando se ve la complicación que esto acarrea para las implicaciones de la ciencia newtoniana: si el tiempo era diferente dependiendo de la velocidad de los marcos de referencia, entonces se rompía la simultaneidad basada en la existencia de un espacio y tiempo absoluto de la Mecánica newtoniana (Hacyan, 2004: 99-100); rompía la idea del marco de referencia preferencial y por lo tanto, del éter. Sin un marco de referencia preferencial únicamente se puede hablar del movimiento de un cuerpo con respecto a otro o con respecto a otro sistema de referencia; consecuentemente, no es posible hablar de un estado de reposo absoluto. Este, aunque existiese, es imposible de detectar.¹²³ El hablar de un estado en reposo o el de movimiento absoluto es arbitrario y/o convencional; todos los sistemas son equivalentes y por ende relativos e indiferenciables a otros.

- Para Newton, por ejemplo, dos eventos distantes eran o podían ser simultáneos al ocurrir en un tiempo y un espacio absolutos. Si bien Newton no presupuso que la velocidad

¹²³ Dice Feynman: “[l]os fenómenos de la naturaleza no son fáciles de entender, y el resultado del experimento es tan contrario al sentido común que hay gente que todavía no se lo cree. Pero una y otra vez los experimentos realizados indican que la velocidad de la luz es de 300.000 km por segundo sea cual sea la velocidad del observador. ¿Cómo puede ser esto? Einstein advirtió, lo mismo que Poincaré, que la única forma de explicar que la velocidad de la luz sea la misma para una persona en reposo que para otra en movimiento es que su sentido del tiempo y del espacio difieran. Los relojes del interior de la nave espacial deben marchar más despacio que los relojes de la Tierra. Alguien dirá: <Ah, pero si el reloj de la nave va más lento me dará cuenta de ello>. Pues no, ¡porque su cerebro también irá más lento! De esta manera se consiguió construir un sistema tal que en el interior de la nave la velocidad de la luz sería de 300.000 km (de nave) por segundo (de nave), mientras que aquí abajo la velocidad sería de 300.000 km (de los míos) por segundo (de los míos). Hace falta mucho ingenio para idear algo así y, sorprendentemente, resulta que es posible y además funciona” (Feynman, 2005: 102-103).

de la luz era infinita, lo que podría hacer instantáneo al universo, sí supuso la posibilidad de conocer la velocidad de la luz en relación al reposo absoluto usando la adición de velocidades; lo que consecuentemente sí implicaba una simultaneidad de eventos. Dos o más eventos podían ser simultáneos en referencia al tiempo absoluto, aunque no lo fueran entre el evento y el observador, debido a la distancia entre él y el fenómeno y la velocidad de propagación de las ondas (Tavel, 2002: 70).

El marco de referencia absoluto contenía la idea de que a cada evento en la tierra le correspondería una serie infinita de eventos instantáneos en cualquier punto del universo. Pero el establecimiento de la medición constante de la velocidad de luz implicaba que debería de haber un universo para cada observador; y cada universo se encontraba dentro de los límites espacio-temporales de la velocidad de la luz. Ninguna observación podría superar los 300,000 kilómetros por segundo.

La velocidad de la luz se convertía en aquello que condicionaba la capacidad de observación de los universos particulares. Cabe mencionar rápidamente, que otro de los principios de la Relatividad de Einstein era que no había señal u objeto que viajara más rápido que la luz. Esta conclusión era una consecuencia de la relación masa-energía de la Relatividad; la cual era un resultado de la medición del aumento de la masa de los cuerpos conforme aumentan su velocidad. Este principio implicaba el por qué no podría haber ningún cuerpo más rápido que la luz. Stephen W. Hawking lo expone claramente:

“Cuando la velocidad de un objeto se aproxima a la velocidad de la luz, su masa aumenta cada vez más rápidamente, de forma que cuesta cada vez más y más energía acelerar un objeto. De hecho no puede alcanzar nunca la velocidad de la luz, porque entonces su masa habría llegado a ser infinita, y por la equivalencia entre masa y energía, habría costado una cantidad infinita de energía el poner al objeto en ese estado. Por esta razón, cualquier objeto normal está confinado por la relatividad a moverse siempre a velocidades menores que la

de la luz. Sólo la luz, u otras ondas que no posean masa intrínseca, puede moverse a la velocidad de la luz”.¹²⁴

El universo de Einstein no solamente es espacial sino también es temporal. El universo entonces se convierte en espacio-temporal y para cada observador su universo entonces estará dividido en cuatro: en pasado, en aquí-ahora, en futuro y en un otro espacio-tiempo; el cual se encuentra fuera de su *cono de luz* (Tavel, 2002: 70-71). Por supuesto es posible calcular el tiempo en el que, por ejemplo, estalló una estrella pero no es posible esperar que observadores moviéndose a diferentes velocidades del marco de referencia en el que el hombre se encuentra, encuentren un mismo resultado de lo que cada uno piensa es el *ahora* o el *en ese entonces* (Capek, 1961: 156).

La pérdida de la simultaneidad ocasiona que la ilusión laplaciana sustentada por un determinismo estricto, no solamente sea inalcanzable sino imposible. La Relatividad muestra que el determinismo al que puede acceder la ciencia se separa completamente del que implicaba la Mecánica newtoniana. La Relatividad muestra que la naturaleza no tiende al determinismo universal sino a uno local y dependiente de la medición.

- *La limitación a la mente laplaciana.* Siguiendo la terminología de Février, es posible decir que el determinismo dejó de ser estricto con la llegada de la termodinámica, y dejó de ser oculto con la llegada de la Relatividad. La idea de la medición exacta de todos los elementos de un proceso perdió sentido cuando la medición del comportamiento de los elementos en conjunto se presentó no solamente más accesible sino también más útil. Este fue el caso de la Termodinámica y de la Mecánica estadística. Sin embargo, en la Relatividad, es el proceso de medición el que pierde sentido cuando se habla de una medición única para todo observador.

¹²⁴ S. W. Hawking, *Historia del tiempo, Del Big Bang a los agujeros negros* (Alianza: Madrid, 2005), pág. 44

La medición de la diferencia entre un estado pasado y un estado futuro, si bien es válida, útil, exacta, etc., lo es únicamente relativa al observador que realiza la medición. Otro observador, en otro marco de referencia inercial, no solamente puede obtener diferentes resultados debido a la velocidad de su movimiento sino que el sentido de futuro y pasado que tenía el primer observador con el que diferenciaba dos estados, no tendrá el mismo sentido para el segundo observador.

El problema es que sin la simultaneidad de un espacio absoluto ya no se podía determinar un estado absoluto del pasado o del futuro. Los observadores pueden seguir hablando de estados futuros pero después de la Relatividad, siempre tendrán que hablar de estados futuros suyos y no de estados futuros para todos los observadores (Feynman, 2005: 104). Así, todos los estados se hacen relativos a sus marcos de referencia y cada observador está condenado a hacer mediciones solamente acorde al universo de su cono de luz.

Es importante resaltar que la diferencia que hace la Relatividad en el estudio de la causalidad no es de carácter ontológico sino epistemológico. La Relatividad en ningún sentido cambia el orden causal de las cosas. No se debe de entender a la teoría de Einstein como una relativización de la causalidad en el sentido que el observador pueda ver los efectos anteriores a sus causas. Lo que sí ocasiona la Relatividad en la concepción del orden causal es que hace explícita la dependencia epistémica entre evento y su observación.

La percepción de los eventos se hace relativa a sus observadores. Y esta relatividad es paradójicamente necesaria; no hay manera de evitarla. Empero, la Relatividad de Einstein encontraría otro límite contra la idea del determinismo mecánico de la era laplaciana; esta fue una consecuencia de la Teoría General de la Relatividad, escrita por Einstein unos años después.

Termino esta sección con un comentario de Tavel que expresa la nueva relación determinista entre la ciencia y la naturaleza a partir de la Relatividad. Dice Tavel:

“Por supuesto, uno podría muy inocente preguntar, “¿por qué las ecuaciones de Maxwell son la misma para todos los observadores inerciales?” A lo que yo volvería a responder: “¡la naturaleza se comporta simplemente de esa manera!” Einstein no se detiene en estos “porqués”; él simplemente aceptó la invariabilidad de la velocidad de la luz como un hecho fundamental de la naturaleza y llegó a demostrar sus consecuencias”.¹²⁵

b. La Teoría General de la Relatividad y los agujeros negros

En 1905 Einstein encontró que era posible arrancar electrones de la superficie de un metal al impactar sucesivas partículas de luz sobre ella. Lo que este comportamiento anunciaba era que la luz también se podría comportar en forma de partículas y no solamente en forma de ondas. Esta idea no era nueva: desde Newton y algunos de sus contemporáneos, se pensaba que la luz era compuesta por corpúsculos. Sin embargo, Maxwell -siguiendo a Laplace- había definido posteriormente que la luz se propaga en forma de ondas, y como prueba de esto, Maxwell tenía la eficacia de las ecuaciones acerca del comportamiento de la luz que él mismo había elaborado (Gribbin, 1993: 41).

Einstein pensó que debía de haber un problema en la relación entre las ecuaciones de Maxwell y la ley gravitacional debido a la evidencia encontrada en el comportamiento de la luz: las leyes de Maxwell definían que no existiría alteración en la velocidad de la luz a pesar de ser presa de un campo gravitatorio. La luz para Maxwell era una onda y por lo tanto no tenía masa. Por esto no sentiría los efectos de la gravitación. Sin embargo, es de llamar la atención que en tiempos de Newton se entendía claramente que la luz sí podría ser presa de la gravitación. Explica Gribbin:

¹²⁵ Original en Tavel: “[o]f course, one could innocently ask, “Why are Maxwell’s equations the same for all inertial observers?” To which I would once again respond, “Nature just behaves that way!” Einstein didn’t dwell on these “why” questions; he simply accepted the invariance of the speed of light as a fundamental fact of nature and went on to demonstrate its consequences” (Tavel, 2002: 61).

“...aunque Newton careciera de la comprobación experimental de que la gravitación era universal en este sentido, si estaba convencido de ello, desde luego, de que la ley había de ser aplicable en todas partes y a todos los cuerpos. Dado que el otro de sus grandes logros entrañaba el estudio de la luz y de su comportamiento al reflejarse en los espejos o refractarse en lentes y prismas y resulta verdaderamente notable que no pareciera Newton interesarse por la forma en la que la gravedad pudiera afectar a la luz”.¹²⁶

En el 1911, Einstein predijo que los rayos de luz se curvarían al pasar junto al Sol. Einstein ignoraba que un alemán, Johann von Soldner, en 1801 ya había elaborado una predicción similar bajo el supuesto newtoniano en el que la luz era un flujo de corpúsculos (Gribbin, 1993: 74). . En ambos casos, en Einstein y Soldner, los rayos de luz presentaban teóricamente una curvatura. No fue hasta la medición de Arthur Eddington en la isla del Príncipe en África ecuatorial en 1919 durante un eclipse solar que la predicción de Einstein de la curvatura de la luz, siendo más conocida que la de Soldner, fue verificada con datos empíricos (Ruiz de Elvira, 2003: 11).

En 1907, Einstein expuso que la aceleración y la gravedad provocaban efectos equivalentes, y por lo tanto, desarrolló el *Principio de equivalencia*: la aceleración equivaldría a la gravedad ya que ambas producen fuerzas idénticas. Así como la idea que originó la Teoría de la Relatividad Especial en Einstein fue la de estar sentado en un rayo de luz, explica Gribbin, la idea que originó la Teoría General de la Relatividad fue la de estar en un ascensor atraído por la gravedad en el que un rayo de luz cruza las paredes del ascensor (Gribbin, 1993: 71-73).

Einstein explicó en la Teoría General de la Relatividad la curvatura que sufre el espacio-tiempo y la relación que tiene la masa de un cuerpo con el campo gravitatorio que produce. También explicó que la masa es la que curva al espacio-tiempo donde se encuentra; lo que hace que la curvatura del espacio-tiempo sea relativa a la cantidad de masa que se encuentra en ese espacio-tiempo.

¹²⁶ J. Gribbin, *En Busca de la Frontera del Tiempo* (Celeste Ediciones: Madrid, 1993), pág. 28

El campo gravitatorio es la curvatura que sufre el espacio-tiempo al estar un cuerpo presente pero, ¿qué pasaría si hubiera cuerpos de masa tan grande que doblaran la luz de tal manera que estos fueran oscuros? La Teoría general de la Relatividad exigiría la existencia que si existiesen cuerpos así, la luz no sería capaz de escapar de ellos.

Es justo decir que estos cuerpos ya habían sido concebidos como consecuencias de las leyes newtonianas: John Michell, en 1783, supuso la existencia de estrellas tan grandes que la velocidad de escape de su superficie fuese mayor que la velocidad de la luz; igualmente Laplace habló de *des corps obscurs* en la primera edición de *Exposition du système du monde* publicada en 1796 y en la segunda en 1799, pero eliminó toda referencia de tales cuerpos a partir de las ediciones posteriores a 1808 (Gribbin, 1993: 38-40).

La ciencia clásica ya había calculado la velocidad de escape de los cuerpos celestes y la había comparado con la velocidad de la luz en caso de existir una estrella tan grande que no la dejase salir. Sin embargo, estos cálculos cayeron en el olvido debido a que no existía evidencia alguna que determinara la curvatura de la luz que provoca un campo gravitatorio. Lo que no se sabía en ese entonces era que estos cuerpos oscuros traerían consigo la existencia de singularidades y horizontes de sucesos; lo que traería problemas de verificación para la ciencia.

Hawking, Thorne, Wheeler, Landau y muchos más, encontraron que la predicción de eventos dentro de un agujero negro podría continuar tan sólida y precisa como siempre; pero no sucedía lo mismo con la verificación empírica. Esta se tornaba inalcanzable, no solamente para la mente humana sino para cualquier tipo de artefacto o instrumento científico.

- *Los agujeros negros y las singularidades.* Se piensa que los agujeros negros tienen su origen en la implosión de una estrella. La Relatividad predijo que las estrellas de una

masa suficientemente grande colapsarán por su propio campo gravitatorio cuando su combustible se agote. Estos cuerpos colapsarán en un cuerpo de una masa similar pero contenida en un espacio-tiempo mucho menor, haciendo que estos sean mucho más densos de lo que fueron cuando eran estrellas en combustión.¹²⁷ Hawking explica:

“Una estrella se forma cuando una gran cantidad de gas, principalmente hidrógeno, comienza a colapsar sobre sí misma debido a su atracción gravitatoria. Conforme se contrae, sus átomos empiezan a colisionar entre sí, cada vez con mayor frecuencia y a mayores velocidades: el gas se calienta....Las estrellas permanecerán estables en esta forma por un largo período, con el calor de las reacciones nucleares equilibrando la atracción gravitatoria. Finalmente, sin embargo, la estrella consumirá todo su hidrogeno y los otros combustibles nucleares”.¹²⁸

El cuerpo se contraerá hasta formar una distorsión en el espacio-tiempo de la que ni siquiera la luz pueda salir. Siendo que la velocidad de escape representa el esfuerzo que necesita un cuerpo para poder librarse de la fuerza de gravitación partiendo perpendicularmente de la superficie gravitatoria, y que para cada cuerpo existe una velocidad de escape, Michell calculó que un cuerpo de densidad similar al de la tierra tenía que ser 500 veces mayor que el Sol para que la luz esté obligada a regresar. Laplace en la primera edición de *Exposition du système du monde* sugirió al igual que Michell, que era posible que existieran una gran cantidad de cuerpos invisibles en el espacio. Sin embargo la única diferencia entre los dos argumentos era cualitativa, ya que los cuerpos invisibles de Laplace median 250 veces más que el tamaño del Sol y no 500 como proponía Michell (Gribbin, 1993: 33-39).¹²⁹

La diferencia entre los cuerpos oscuros del siglo XVII y los agujeros negros del siglo XX era que se tenía una mejor comprensión de las reacciones nucleares de los átomos y por lo

¹²⁷ No todas las estrellas colapsaran formando un agujero negro. Algunas otras colapsarán en enanas blancas y algunas otras estallarán en supernovas dependiendo de la masa de las estrellas.

¹²⁸ Hawking [2005], op. cit., págs.126-127

¹²⁹ John Michell sugirió el 1783 que si existiesen cuerpos para los que la velocidad de escape fuera superior a la velocidad de la luz, dichos objetos serían invisibles (Gribbin, 1993: 35).

tanto, de las estrellas. No fue hasta el siglo XX que se comprendió que las estrellas tienden a contraerse después de consumir su combustible.

Las estrellas con una masa similar a la del Sol, por ejemplo, se expandirán cuando tengan unos 10 mil u 11 mil millones de años de edad y se convertirán en gigantes rojas.¹³⁰ Estas gigantes rojas tendrán en su núcleo una concentración de materia muy densa que estará en continuo crecimiento. El núcleo consumirá a la gigante roja hasta convertirse la estrella finalmente en una enana blanca, la cual después de otros miles de millones de años se enfriará y se convertirá en una enana negra (Penrose, 2006: 474-475).

Este es el acontecer de una estrella que contenga una masa como la del Sol. Pero para las estrellas con mayor masa, su destino será diferente. Su destino estará determinado por el *límite de Chandrasekhar* de 1,4 masas solares.¹³¹ Este límite indica que cuando la estrella sea de una masa mayor a este límite, el principio de exclusión de Pauli será insuficiente para contrarrestar la presión gravitatoria del núcleo y continuará colapsando. La estrella, debido a las reacciones nucleares que se dan a causa de la temperatura y de la presión ocasionada por el colapso, liberará neutrinos del núcleo. Estos calentarán las regiones externas de la estrella y se producirá una enorme explosión, lo que hará que la estrella se convierta en una supernova.

Aun después de la explosión, el núcleo puede seguir colapsando hasta llegar un momento en que se estabilice debido a la presión de degeneración neutrónica y se convierta en una estrella de neutrones. Existe otro límite que determina que si la masa de una estrella de neutrones es mayor a 2.5 masas solares, la estrella seguirá colapsándose. Este es límite llamado *límite de Landau Oppenheimer-Volkov*, de función similar al *límite de Chandrasekhar*. Este límite responde a que existen estrellas de masas que van desde las 10

¹³⁰ Ejemplos de gigantes rojas son Aldebarán en Tauro y Betelgeuse en Orión (Penrose, 2006: 474).

¹³¹ El límite de Chandrasekhar es el máximo valor posible para la masa de una estrella enana blanca.

hasta las 100 masas solares para las cuales no sea posible, después de colapsar y liberar energía, quedar por debajo del límite de una estrella de neutrones. Lo que quedaría entonces, sería un agujero negro (Penrose, 2006: 476-477).

Penrose, Schwarzschild, Oppenheimer, Landau y Chandrasekhar entre otros, definieron matemáticamente la tendencia de una estrella masiva a contraerse hasta formar un agujero negro. Otras consecuencias de la contracción que produce un agujero negro, son el horizonte de sucesos y las singularidades. Por un lado, la contracción de la estrella hace que el campo gravitatorio de su superficie sea más intenso, provocando que provoca que sus conos de luz se inclinen cada vez más hacia el agujero negro hasta que se produce un límite llamado *horizonte de sucesos*; por otro lado, la contracción hace una distorsión en el espacio-tiempo en la que toman valores infinitos. Este límite será la singularidad.

En el momento en el que la estrella se ha reducido a un cierto radio crítico, el campo gravitatorio será tan fuerte que inclina tanto los conos de luz que no la deja salir más.¹³² Es tal la distorsión que hace en el espacio-tiempo el agujero negro que el campo gravitatorio crea un límite en el que la luz, si fuera disparada desde adentro del agujero negro, sería curvada y permanecería en el agujero negro (Hawking, 2005: 130-131). Este horizonte de sucesos es el límite que prohíbe la salida de cualquier cosa de un agujero negro (Thorne, 1995: 422). Ahora bien, aun sabiendo que nada puede escapar un agujero negro, ¿es válido preguntar qué hay dentro de un agujero negro? y ¿cómo es posible saberlo ya que ninguna señal puede salir nunca del agujero? Añade Thorne:

“Ningún intrépido explorador que pudiera entrar en el agujero negro para descubrirlo puede regresar y decírnoslo, ni siquiera transmitírnos la respuesta. Sea lo que sea lo que

¹³² El radio crítico es el radio de Schwarzschild, con el cual, se determina el mínimo en el que cualquier masa puede comprimirse para que la distorsión del espacio-tiempo de tal masa, no deje escapar nada de ella (Gribbin, 1993: 83).

pueda haber en el corazón del agujero nunca puede salir e influir en nuestro Universo en modo alguno”.¹³³

La respuesta a la primera pregunta es: una singularidad, creada por el colapso del núcleo de una estrella de neutrones. Una vez creado el horizonte del agujero negro, la estrella continuará implosionando hasta alcanzar una densidad infinita y un volumen cero, creando así una singularidad espacio-temporal. Es en la singularidad la región en donde la curvatura se hace infinita según dictaminan las leyes relativistas. Es tan fuerte la distorsión del espacio-tiempo que el propio tiempo fluye hacia la singularidad (Thorne, 1995: 416-427). Al hacerse la densidad de la masa infinita por su misma gravedad, el espacio-tiempo se hace infinito (Gribbin, 1993: 86).

Debido a que el espacio-tiempo se hace infinito, el estudio de lo que sucede dentro de un agujero negro se basa en especulaciones que implican términos infinitos. Asume Thorne una humilde posición frente a las conclusiones acerca del estudio de los agujeros negros y dice:

“...la gravedad cuántica entra en juego cuando la gravedad de marea oscilante (curvatura espacio-temporal) se hace tan grande que deforma completamente todos los objetos en aproximadamente 10^{-43} segundos o menos. En este momento la gravitación cuántica cambia radicalmente el carácter del espacio-tiempo: rompe la unificación del espacio y del tiempo en el espacio-tiempo. Despega el espacio del tiempo, y luego destruye el tiempo como concepto y destruye el carácter definido del espacio. El tiempo deja de existir; ya no podemos decir que <esto sucede antes que esto otro>, porque, sin tiempo, no existe el concepto <antes> o <después>. El espacio, el único residuo remanente de lo que una vez fue un espacio-tiempo unificado, se convierte en una espuma aleatoria y probabilística, como pompas de jabón...esta espuma aleatoria y probabilística es aquello de lo que está hecha la singularidad, y la espuma está gobernada por las leyes de la gravedad cuántica. En la espuma, el espacio no tiene ninguna forma definida...”¹³⁴

La existencia de los agujeros negros implica la existencia de dos obstáculos infranqueables para la concepción clásica de la ciencia. El primer límite es el horizonte de sucesos

¹³³ K. Thorne, *Agujeros negros y tiempo curvo, El escandaloso legado de Einstein* (Crítica: Barcelona, 1995), pág. 415

¹³⁴ Thorne [1995], op. cit., pág. 440

mientras que el segundo es el efecto que causa la singularidad sobre el espacio-tiempo. El horizonte de sucesos no permite escapar a nada que provenga desde adentro. El problema epistemológico de verificación se da cuando cualquier señal que se envíe, por ejemplo, desde el interior del horizonte no pueda salir. No puede verificarse nada de lo que sucede dentro de un agujero negro. Eso es un límite, no para la verificación sino para la comunicación de la verificación; es conocido el pasaje en el que un astronauta pasa por el horizonte de sucesos de un agujero negro y después de ver que es lo que sucede dentro de tal horizonte, se encuentra incapacitado, por más que se esfuercen sus propulsores, de escapar del agujero negro.¹³⁵

De igual manera, la ciencia ha encontrado en la singularidad un gigante del que lo que único que puede verificar, es que no puede verificar nada dentro de ella. La ciencia podría seguir siendo predictiva pero pierde la capacidad de confirmación de lo que se sucede en las cercanías de una singularidad. En una singularidad todos los valores se tornan infinitos

¹³⁵ Explica Penrose: “Imaginemos un valiente (¿o temerario?) astronauta **B** que decide viajar al interior de un agujero negro, mientras su compañero **A**, más tímido (¿o prudente?), permanece a salvo fuera del horizonte de sucesos. Supongamos que **A** se esfuerza por mantenerse a la vista de **B** el mayor tiempo posible. ¿Qué ve **A**? Puede pensarse...que la porción de la historia de **B** (esto es, la línea-de-universo de **B**) que está *en el interior* del horizonte nunca será vista por **A**, mientras que la porción *fuera* del horizonte se hará finalmente visible a **A**, aunque los momentos inmediatamente anteriores a que **B** se adentre a través del horizonte serán vistos por **A** solo tras períodos de espera cada vez mayores. Supongamos que **B** cruza el horizonte cuando su propio reloj marca las 12 en punto. El astronauta **A** nunca podrá ser testigo de este acontecer, pero las lecturas del reloj 11.30, 11.45, 11.53, 11.56, 11.58, 11.59, 11.591/2, 11.597/8, etc., serán vistas sucesivamente por **A** (a intervalos aproximadamente iguales según el punto de vista de **A**). En principio, **B** permanecerá siempre visible para **A**, y parecerá estar inmóvil para siempre justo en el borde del horizonte, con su reloj acercándose cada vez más lentamente a la hora fatídica de las 12.00 aunque sin alcanzarla nunca. Pero, en realidad, la imagen de **B** que es percibida por **A** se haría rápidamente demasiado tenue para ser discernible. Esto se debe a que la luz de la pequeñísima porción de la línea-de-universo de **B** que queda fuera del horizonte es toda la que percibirá **A** durante todo el resto del tiempo. De hecho, **B** habrá desaparecido de la vista de **A**, y lo mismo sería cierto de todo el cuerpo colapsante original. ¡Todo lo que **A** pueda ver será precisamente un <agujero negro>...¿Qué le sucede al pobre **B**? ¿Cuál será su experiencia? Debe señalarse en primero lugar que no ocurrirá para nada especial para **B** en el momento de su paso del horizonte. Él mira su reloj cuando va a marcar las 12 en punto y ve que los minutos pasan regularmente: 11.57, 11.58, 11.59, 12.00, 12.01, 12.02, 12.03...Nada resulta especial en torno a las 12.00. Puede volverse a mirar a **A** y encontrará que **A** permanece continuamente a la vista durante todo el tiempo. Puede mirar el propio reloj de **A**, que a **B** le parecerá estar avanzando de forma ordenada y uniforme. A menos que **B** haya *calculado* que debe haber cruzado el horizonte, él no tendrá medio de saberlo. El horizonte ha sido extremadamente perverso. Una vez cruzado ya no hay escape para **B**...” (Penrose, 2006: 480-481).

convirtiéndose en una espuma cuántica, y como explica Thorne, el tiempo y el espacio dejan de existir.

La Física no ha parado de avanzar en el estudio de los agujeros negros: una vez que sean comprendidas con total confianza las leyes de la gravedad cuántica -las cuales prohíben los infinitos- se conseguirá una mejor clarificación de lo que sucede en un agujero negro (Thorne, 1995: 438-440). Explica Thorne que, por el momento, las mejores conjeturas de lo que sucede en un agujero negro son:

1. “¿Será cualquier cosa que entra en el agujero necesariamente engullida por la singularidad? Así lo creemos, pero no estamos seguros.
2. ¿Hay algún camino desde el interior del agujero a otro universo, o a otra parte de nuestro universo propio Universo? Muy probablemente no lo hay, pero no estamos absolutamente seguros.
3. ¿Cuál es el destino de las cosas que caen en la singularidad? Pensamos que las cosas que caen cuando el agujero es bastante joven son destrozadas por la gravedad de marea de una forma violenta y caótica, antes de que la gravedad cuántica se haga importante. Sin embargo, las cosas que caen en un agujero viejo podrían sobrevivir sin ser destruidas hasta que lleguen a enfrentarse con las leyes de la gravedad cuántica”.¹³⁶

- La mente laplaciana, primero, no podría conocer qué es lo que sucede detrás del horizonte de sucesos y peor aún, si esta mente laplaciana atravesara dicho umbral, se encontraría con una espuma cuántica de la que no podría determinar ni su futuro ni su pasado. Lo que quiero enfatizar con esto es sobre todo el cambio que se dio en la concepción del determinismo científico. La llegada de la Relatividad cambió la forma en el que el determinismo se relacionaba con la observación del universo, pero manteniendo un determinismo inherente.

¹³⁶ Thorne [1995], op. cit., pág. 437

En la ciencia newtoniana, el determinismo era un instrumento que implicaba la objetivización del fenómeno bajo la percepción de una infinidad de observadores, todos capaces de entender los mismos atributos fenoménicos; esto se hacía para poder encontrar un entendimiento compartido acerca de un mismo proceso y así lograr una predicción que escapara de la casualidad y de la coincidencia. Las leyes de la ciencia newtoniana indicaban un requisito de necesidad que conjuntaba toda observación en una sola. Lo mismo ocurría con las predicciones; ambas requerían ser objetivas.

En cambio, el determinismo de la Relatividad descartó la posibilidad de compartir una misma percepción para una infinidad de observadores de un mismo evento. Más bien, la Relatividad une a cada observación con su fenómeno. Es importante decir que esto no subjetiviza al conocimiento científico; la Relatividad no hace subjetiva a la ciencia. Más bien, lo que plantea la Relatividad es: uno, el entendimiento de un evento a partir de su observación única; dos, el entendimiento de la relación de las características del marco de referencia con la observación del evento; y tres, el entendimiento de la relación que existe entre los marcos de referencia del evento y del observador. Todo esto bajo una constante empírica: la velocidad de la luz. Las leyes de la Relatividad describen la relación entre la observación y el marco de referencia, y la relación entre los marcos de referencia. Por todo esto, la Relatividad sigue siendo determinista aunque este determinismo adquiere nuevos valores y nuevos límites que le requieren la inclusión de las especificaciones de cada observación.

El observador laplaciano encuentra, entonces, que su observación no es la misma que la de otro observador en otro espacio-tiempo. El observador de tipo laplaciano deja de ser, en última instancia, laplaciano; por ejemplo, si se encuentran tres o más mentes superpoderosas en el espacio, ninguna podría ser una mente laplaciana ya que ninguna pertenece a un espacio-tiempo absoluto; cada observador es incapaz de salir de su marco de referencia. Un observador laplaciano requeriría encontrarse en un marco de referencia

privilegiado; lo cual descartó la Relatividad. Esto no quiere decir que las tres mentes no podrían calcular el movimiento o comportamiento de las otras mentes, pero este cálculo solamente podría ser de acuerdo a su propio marco de referencia y no de acuerdo a la experiencia o cono de luz de las otras mentes.

Es de esta que forma que la Relatividad cambió definitivamente la manera en la que se entendía la observación del universo. De la misma forma que la Mecánica estadística cambió la forma en la que la ciencia implicaba el determinismo en el universo, la Relatividad cambiaba la forma en que la ciencia hablaba de un determinismo natural y universalista, haciéndolo un determinismo artificial y localista.¹³⁷

Con la Mecánica estadística no era relevante hablar del movimiento de moléculas individuales en el estudio de los gases y del calor; ahora con la Relatividad, no era relevante hablar de un determinismo estricto ni uno oculto. El determinismo estricto dejaba de ser la meta de la ciencia para convertirse en un determinismo científico que funciona como timón -un timón falible, pragmático y relativista- con el que la ciencia puede validar sus predicciones. Termino este capítulo con una cita de Eddington que ilustra el cambio en el concepto del determinismo al separarse de la ilusión laplaciana:

“Llamaré a la meta de Laplace la meta *primaria*, y a la nueva meta que introdujo la termodinámica, la meta *secundaria*...Podemos, naturalmente, ocuparnos de la meta secundaria, desistir de la meta primaria como *fin máximo*; pero un examen del estado actual de las dos metas produce una revelación asombrosa...Cuando Laplace propuso su ideal del esquema totalmente determinista, creyó que tenía el núcleo de ese plan en las leyes de la mecánica y la astronomía. Ese núcleo ha pasado ahora al esquema secundario. Nada queda del antiguo esquema de la ley causal, y aún no hallamos el principio de uno nuevo...Medido por su avance hacia la meta secundaria, el progreso de la ciencia ha sido sorprendentemente

¹³⁷ Un punto importante acerca de la evolución del concepto de determinismo científico es ver que si bien la Mecánica newtoniana implicaba un determinismo mecanicista, aparte de la Mecánica celeste y del estudio de los sistemas simples, la praxis científica no seguía este principio propiamente; más bien, dice Penrose, la ciencia utilizaba un esquema newtoniano con el fin de hacer modelos con la función de inferir propiedades globales del comportamiento de los procesos fenoménicos (Penrose, 2006: 277)

rápido. Medido por su avance hacia la meta de Laplace, su progreso ha sido simplemente *cero*.¹³⁸

¹³⁸ Eddington [1998], op. cit., págs. 212-213

CAPÍTULO 2

La Mecánica cuántica

En el año 1900 la ciencia fijó su mirada en tratar de resolver algunas incongruencias entre la experimentación atómica y las teorías de comportamiento microfísico basadas en principios clásicos. No quiero decir con esto que anteriormente la ciencia no había puesto gran esfuerzo en el estudio de los componentes mínimos de la energía y de la materia sino más bien, que el comienzo del siglo XX fue un período de mayor comprensión al contarse con instrumentos de medición más precisos, tanto físicos como matemáticos.

Fue al resolver una incongruencia en el comportamiento de la radiación de los cuerpos negros que se logró la discretización de la energía. Esta fue la base de lo que eventualmente se convirtió en la Mecánica cuántica. Fue precisamente aquí, en el estudio del universo microfísico, que la ciencia encontró otro límite epistemológico para el determinismo (Février, 1957: 101-102). Este límite fue el Principio de Incertidumbre de Heisenberg, y su principal implicación fue la de reformar la conceptualización de la observación y de la predicción para la ciencia.¹³⁹

¹³⁹ Comenta de la siguiente manera Sánchez acerca de esta reforma en el determinismo científico, : “[e]l electromagnetismo maxwelliano, la termodinámica, la física estadística (salvo, si acaso, en lo que se refiere a la interpretación de la ley del crecimiento de la entropía), los rayos catódicos o los rayos X no planteaban prácticamente problemas de principio, al menos no inicialmente, para intentar enmarcarlos en los antiguos, tradicionales, venerables esquemas de la física newtoniana (sí, desde luego a radioactividad). Por el contrario, las dos grandes síntesis desarrolladas durante el primer tercio del siglo XX, la física cuántica y la relativista, sí que alteraron dramáticamente las bases explicativas y cognitivas hasta entonces aceptadas tanto en la ciencia como en la epistemología (teoría del conocimiento)” (Sánchez, 2007: 560-561).

Con la Mecánica cuántica, el determinismo implícito en la producción de leyes científicas debía de ser remodelado para poder acoplar la incertidumbre de las leyes del universo microfísico.¹⁴⁰ Análogamente a la transformación que produjo la Relatividad en el determinismo científico, la Mecánica cuántica obligó a una modificación epistemológica en el determinismo cuando se estudia el estado en el que se encontraba un electrón.

Si para la ciencia newtoniana el determinismo completo de los estados se constituía como la meta primaria en la predicción y legalización del universo, para la Mecánica cuántica este tipo de determinismo se convirtió en una forma paradigmática de entendimiento del comportamiento atómico. El determinismo científico se alejó todavía más del determinismo laplaciano. Explica Eddington:

“La teoría cuántica, por tanto, contribuye a la meta secundaria, pero nada agrega a la meta primaria de Laplace, a la que concierne la certidumbre causal. Incluso se reconoce hoy que las leyes clásicas de la mecánica y el electromagnetismo (incluidas las modificaciones que introdujo la teoría de la relatividad) son sólo las formas restrictivas que las fórmulas que la teoría cuántica asume cuando el número de *cuanta* individuales o partículas es muy grande...Las leyes clásicas no son un conjunto nuevo de leyes, sino una adaptación particular de las leyes cuánticas”.¹⁴¹

El origen de la Mecánica cuántica tuvo lugar gracias a las interpretaciones del comportamiento de la energía de Planck y de Einstein; pero no fue hasta la interpretación de la Mecánica cuántica por medio de Bohr, Born, Heisenberg, Schrödinger, entre otros, que se presentó la renovación del determinismo científico. Fue con la unión entre la medición y la observación que hizo la interpretación de Copenhague lo que provocó este cambio.

¹⁴⁰ Fue tan radical el cambio de la mecánica cuántica en las implicaciones del comportamiento del universo que hasta el mismo Richard P. Feynman aceptó que nadie entendía a la mecánica cuántica, diciendo irónicamente: “[h]ubo una época en que los periódicos decían que sólo doce hombres en el mundo entendían la teoría de la relatividad. No creo que esto ocurriera nunca. Es posible que en algún momento sólo hubiera un hombre que la entendiera, porque fue el primero en concebir la idea. Pero, una vez publicada, mucha gente entendió la teoría de la relatividad de una y otra forma, sin duda mucho más que una docena. En cambio, creo que puedo decir con toda tranquilidad que nadie entiende la mecánica cuántica” (Feynman, 2005: 143).

¹⁴¹ Eddington [1998], op. cit., págs. 212-213

- La principal implicación de la interpretación de Copenhague de la Mecánica cuántica fue la limitante de no poder predecir exacta y completamente lo que sucederá en todas las circunstancias. Esto tendrá la consecuencia necesaria de que la ciencia haga un viraje hacia el determinismo probabilista. Más precisamente, lo que implica la Mecánica cuántica es que este límite epistemológico, no se encuentra solamente en la incapacidad técnica de conocer qué es lo que hará un cuerpo atómico sino que es un límite impuesto por la naturaleza, y es ella misma la que se comporta sin saber qué camino tomará siempre una partícula atómica; esta partícula a veces se comporta de una forma y a veces de otra.

Por supuesto que las alternativas del comportamiento de los átomos están legalmente determinadas, pero aunque se prevea la probabilidad de comportamiento, no es posible predecir con certeza absoluta el comportamiento individual de las partículas atómicas. La forma de predecir este comportamiento se basaría entonces en leyes probabilistas, y únicamente probabilistas. Aquí es donde surge el cambio en el determinismo: la diferencia es que si bien la ciencia ya utilizaba leyes estadísticas en el estudio de la termodinámica y el estudio molecular, en la Mecánica cuántica estas leyes serán principios últimos y no leyes derivadas de otras que idealmente puedan estar determinadas en sentido laplaciano (Russell, 2006: 105-110). Explica Feynman:

“...no es posible predecir *exactamente* lo que va a suceder en cualquier circunstancia. Por ejemplo, es posible preparar un átomo que esté a punto de emitir luz, y podemos medir cuándo ha emitido la luz si registramos un fotón...[s]in embargo, no podemos predecir *cuándo* va a emitir la luz, o en el caso de que haya varios átomos, *cuál de ellos* es el que va a hacerlo. Ustedes podrán decir que esto se debe a algunos <engranajes> internos que no hemos mirado suficientemente de cerca. No, no *hay* engranajes internos; la naturaleza, tal como la entendemos hoy, se comporta de tal modo que es *fundamentalmente imposible* hacer una predicción precisa de *qué sucederá exactamente* en un experimento dado. Esto es algo horrible; de hecho lo filósofos habían dicho antes que uno de los requisitos fundamentas de la ciencia es que siempre que ustedes fijen las mismas condiciones debe suceder lo mismo. Esto sencillamente *no es cierto*, no es una condición esencial de la ciencia. El hecho es que no suceden las mismas cosas, que sólo podemos encontrar un

promedio estadístico de lo que va a suceder. De todas formas, la ciencia no ha colapsado por completo.”¹⁴²

El determinismo científico se desprendió de la independencia newtoniana entre objeto y medición entrelazándolos en una realidad interdependiente. A continuación describiré a grandes rasgos el camino que recorrió la Mecánica cuántica para llegar a esta interdependencia, deteniéndome en el Principio de Incertidumbre -también llamado de Principio de indeterminismo- de Heisenberg. El determinismo newtoniano colapsó cuando se impusieron limitaciones en la independencia en la observación.

A continuación describiré a grandes rasgos el camino que recorrió la Mecánica cuántica para llegar a esta interdependencia, deteniéndome en el Principio de incertidumbre - también llamado Principio de indeterminismo- de Heisenberg y en el Principio de complementariedad de Bohr.

1. Discretización de la energía por Planck

A comienzos del siglo XX, Max Planck explicó el crecimiento de la entropía total de la energía partiendo de la irreversibilidad de otras leyes fundamentales tales como las de la Termodinámica y las del Electromagnetismo.¹⁴³ Así como Einstein mantuvo su creencia en la independencia de la velocidad de la luz no importándole sacrificar principios newtonianos acerca de los marcos de referencia, Planck estuvo dispuesto a sacrificar la creencia de la continuidad de la energía mientras se conservasen las leyes de termodinámica.

¹⁴² R. P. Feynman, *Seis piezas fáciles, La física explicada por un genio* (Crítica Drakontos: Barcelona, 2007), pág. 67

¹⁴³ Comenta Sánchez: “[e]n concreto pretendía desarrollar una teoría macroscópica basada en la termodinámica y el electromagnetismo, esperando obtener el principio de irreversibilidad [crecimiento de entropía] como parte de esa teoría” (Sánchez, 2001: 130) y (Sánchez, 2007: 562)

Planck intuía que la dependencia de la intensidad de radiación debía de encontrarse en relación a la entropía con respecto a la energía, mientras que otros científicos atribuían la dependencia de la radiación en relación a la temperatura del cuerpo radiante (Planck, 2000: 41). ¿Qué tiene que ver la radiación de un cuerpo, su temperatura y la Mecánica cuántica? La respuesta reside en que todo esto converge en el comportamiento atómico.

Fue a partir de la segunda mitad del siglo XIX que el estudio de la composición de la materia en forma de unidades elementales adquirió mayor atención al igual que mayor vigor en su investigación. Principalmente fueron tres factores los que hicieron notar una incongruencia en algunos de los principios clásicos de la ciencia: la radiación de las partículas atómicas estudiadas por Rutherford, la teoría de Maxwell acerca de la radiación de las cargas aceleradas y por último, la observación de la radiación del átomo.

- La teoría de Maxwell había predicho que las cargas aceleradas producen radiación electromagnética; lo cual si se suma a la concepción atómica de Rutherford que decía que en el átomo giraban electrones acelerados con carga negativa alrededor de un núcleo con carga positiva, cuyo modelo apareció finalmente en 1911, todo parecía indicar que el átomo no podría ser estable (Sánchez, 2001: 253).¹⁴⁴

La aceleración de los electrones al rotar alrededor del núcleo produciría según la teoría de Maxwell que el electrón radie energía electromagnética, provocando una disminución de la energía cinética del electrón, lo que a su vez haría que este cayera en espiral hacia el núcleo. Todo esto haría que eventualmente el átomo dejara de existir. Sin embargo, esto no sucedía. Los átomos subsistían y no se desintegraban aun cuando radiaban. Entonces, ¿por qué no desaparecían los átomos? La respuesta a esta incongruencia nació del estudio de

¹⁴⁴ Algunos ejemplos de los modelos que se propusieron en el estudio de la configuración mínima de la energía/materia durante este tiempo son: los centros de fuerza de Boscovitch -que sirvieron para la teoría de campos de Faraday-, los vórtices de lord Kelvin y el modelo del pastel de pasas de J.J. Thomson (Sánchez, 2001: 243).

Planck acerca de la radiación de los cuerpos negros. En él, Planck establecía que si bien los átomos emiten radiación, no lo hacen de manera continua sino en saltos o a través de paquetes de energía.

- Durante este período, la radiación de los cuerpos negros estaba siendo estudiada ampliamente. Balmer había demostrado que al excitar las moléculas -en este caso las del hidrogeno- se conseguía que la radiación obtenida esté representada en un conjunto de frecuencias y amplitudes de onda llamado *espectro discreto*, y fueron Otto Lummer y Ernst Pringsheim los que estudiaron y determinaron el espectro de radiación de los cuerpos negros. La radiación de los cuerpos negros contenía en su espectro todo un conjunto de frecuencias en las que vibran las moléculas que componen el cuerpo (Tavel, 2002: 171-172).

Un aspecto importante de este espectro es que contiene un gran número de frecuencias y de amplitudes de las cuales, no todas son captadas por el ojo humano; el sol, por ejemplo, es un cuerpo negro radiando ya que emite, según su espectro, radiación visible amarilla pero al mismo tiempo emite rayos X, rayos ultravioleta, radiación infrarroja y ondas de radio que son ignorados por el ojo humano (Tavel, 2002: 168-170). El nombre de cuerpo negro viene de la idea de que para estudiar objetos que eran calentados, estos eran pintados de negro para poder eliminar efectos de la luz que pudiesen interferir en la experimentación y poder estudiar esta radiación invisible para el ojo humano.

Todas las frecuencias del espectro, siguiendo la predicción de la teoría clásica, deberían de estar en función de la temperatura del material de los cuerpos, independientemente de su composición. Esto es lo que decía la ley establecida por Wilhelm Wien conocida precisamente como la ley de Wien o ley de desplazamiento de Wien. Esta determina que la longitud de onda correspondiente al máximo de intensidad en el espectro es inversamente

proporcional a la temperatura (absoluta) del cuerpo caliente emisor (Gamow, 2003: 159).¹⁴⁵

Esta ley establece que si se aumenta la temperatura, la energía se desplaza hacia longitudes de onda más cortas tendiendo hacia la parte violeta del espectro (Sánchez, 2001: 127). El problema entre la teoría clásica y los datos observados es que sencillamente, de acuerdo la Física clásica, debería haber en la radiación de los cuerpos negros más radiación de alta frecuencia de la que había en realidad. Pero de hecho, había demasiado poca (Tavel, 2002: 170).

La ley de Wien determinaba que dependiendo de donde este el tope en el espectro, que es donde es más intensa la radiación, los cuerpos negros radiarían energía en forma de luz ultravioleta y rayos X, y que entre más caliente sea el cuerpo, la energía se localizará más y más hacia la radiación ultravioleta. Una consecuencia de esta tendencia se dio en la idea caricaturizada de la catástrofe ultravioleta. No obstante, allende a estas predicciones, estos efectos no se daban en la experimentación.

Lo que en realidad sucedía era que había un descenso tanto de las frecuencias altas como de las bajas, concentrándose la intensidad de las frecuencias y por ende de energía, en donde se encuentre el tope del espectro acorde a su temperatura. La incongruencia se daba

¹⁴⁵ Explica Gamow: “[e]s muy conocido que todos los cuerpos materiales se hacen luminosos cuando se les calienta a una temperatura suficientemente alta. Así era producida la luz por la llama de los antiguos mecheros de gas; así es como la luz es producida por los filamentos calientes de las modernas bombillas eléctricas; en la escala cósmica, el Sol y las estrellas emiten luz a causa de que sus superficies están muy calientes. Es una experiencia vulgar que a temperaturas relativamente bajas, como en el caso de las unidades de calefacción domestica, se tiene calor radiante pero no luz visible. Las placas de una cocina, a la temperatura de 600° a 700°, están al <rojo> y brillan con una luz débilmente rojiza. El filamento de una bombilla eléctrica, calentado a una temperatura superior a los 2.000°, emite una luz brillante que, sin embargo, parece amarillenta comparada con la luz de un brillante arco voltaico que está a una temperatura entre 3.000° y 4.000°. La superficie del Sol a una temperatura de unos 6.000° emite luz que es más rica en rayos azules que la luz emitida por todas las fuentes citadas. Así, cuando *la temperatura aumenta, la radiación emitida se hace rápidamente más intensa y más rica en longitudes cortas de onda.*” (Gamow, 2003: 157-158).

en que el tope del espectro dependía de la temperatura del cuerpo, justo como indicaba la ley de desplazamiento de Wien pero se localizaba acorde a la experimentación de Lummer y Pringsheim, siempre en la parte visible del espectro.

Para Planck este fenómeno indicaba que la energía se distribuía por todo el sistema justo como lo determinaba la entropía para el comportamiento de los gases en la termodinámica, haciendo que la energía no tendiera solamente hacia la parte ultravioleta del espectro; se llegaba a través de la entropía a un equilibrio térmico en vez de un aumento constante de la radiación en forma de frecuencias altas. Pero faltaba un factor más para lograr este equilibrio térmico. Este factor fue el establecer una limitación entre emisión, aceptación y uso de energía entre materia y radiación.

Después de las diferencias encontradas por Lummer y Pringsheim, se aunaron los estudios de Heinrich Rubens y Ferdinand Kurlbaum presentados en la Academia de Ciencias de Berlín en 1900 (Sánchez, 2007: 562). En estos se corroboraron las desviaciones en la ley de Wien que habían indicado Lummer y Pringsheim. Sin embargo, antes de ser publicadas, Rubens envió sus mediciones a Max Planck, catedrático de la Universidad de Berlín (Sánchez, 2001: 128), y fue entonces cuando Planck construyó una nueva ley de distribución de la densidad de la energía de radiación de los cuerpos negros bajo un principio diferente de los que implicaba la ley de Wien; es decir, Planck descartó que la energía se transfiriera de forma continua. Esta ley presentaba un equilibrio entre la radiación y la materia a través de la absorción y emisión de una misma cantidad de energía para cualquier longitud de onda (Sánchez, 2007: 561). Esta fue la discretización de la energía.

- Planck notó que en el espectro de radiación de estos cuerpos oscuros no se encontraba energía en forma de altas frecuencias, y realizó la hipótesis en la que la energía emitida por la materia del cuerpo negro no siempre era aceptada en la transferencia de

energía por la radiación electromagnética, sino que debería de haber un límite mínimo de energía que la radiación acepte y pueda usar (Tavel, 2002: 175); es decir, un límite que evite la constante transferencia de energía y la tendencia a la ultravioleta, lo que evitaría dos situaciones a la vez: el decaimiento del electrón y la catástrofe ultravioleta.

Planck, después de recibir las mediciones de Rubens y Kurlbaum, calculó que una vibración electromagnética de frecuencia f podría aceptar energía solamente en forma de paquetes, los cuales eran múltiplos enteros de un tamaño base de hf , donde h representaba la constante que Planck calculó en 6.626×10^{-34} joule-seg. Esta constante determinaba que se ofrecía energía mayor a hf pero menos a $2hf$, entonces únicamente se aceptaría hf . Si no se ofrecía la suficiente energía de hf , entonces no se aceptaría nada (Tavel, 2002: 175).¹⁴⁶

Las modificaciones que hace Planck fueron corroboradas por Rubens y Kurlbaum al ver que las modificaciones se ajustaban a sus resultados experimentales (Sánchez, 2007: 562).

¹⁴⁶ Explica Planck: “[c]onseguí excluir estos peculiares procesos...introduciendo una condición especial: la hipótesis de la radiación natural, la cual, en tanto que garantiza la irreversibilidad de los procesos de radiación, desempeña en la teoría de la radiación el mismo papel que la hipótesis del desorden molecular en la teoría cinética de los gases. Pero los cálculos mostraban de manera cada vez más clara que, para comprender el punto clave de toda la cuestión, todavía faltaba un eslabón esencial....Así, no me quedaba más opción que abordar el problema desde el lado contrario: desde la termodinámica, un terreno en el que de todos modos siempre me había sentido más seguro. De hecho, mis anteriores estudios sobre el segundo principio de la teoría del calor vinieron aquí en mi ayuda, pues ya desde el primer momento se me ocurrió relacionar la energía del oscilador con su entropía y no con la temperatura. El destino dispuso que una circunstancia que anteriormente me había resultado molesta -la falta de interés de mis colegas por la línea de investigación que yo seguía- se convirtiera entonces, al afrontar mi trabajo, justamente en lo contrario, en un hecho que hasta cierto punto facilitó mi trabajo. Por aquel entonces, un número considerable de destacados físicos mostraba interés, tanto teórico como experimental, por el problema de la distribución de la energía en el espectro normal. Pero todos ellos buscaban en una única dirección, intentando demostrar que la intensidad de la radiación dependía de la temperatura, mientras que yo intuía con respecto de la energía. Puesto que la importancia del concepto de entropía no contaba por entonces con el reconocimiento que le correspondía, a nadie le interesaba el método que yo utilizaba, y pude llevar a cabo mis cálculos con toda tranquilidad y esmero, libre del temor de que alguien, desde el lado que fuera, interfiriera o se me anticipara” (Planck, 2000:41). Y sigue: “[d]ado que la derivada segunda de la entropía de un oscilador con respecto a su energía contribuye de manera característica a la irreversibilidad del intercambio de energía entre ese oscilador y la radiación que lo excita, procedí a calcular el valor de esa magnitud para el caso en que rige la ley de la distribución de la energía de Wien -a la sazón, tema de máximo interés- y halle el notable resultado de que, para este supuesto, el recíproco de aquella cantidad, al que aquí designaré R , era proporcional a la energía.” (Planck, 2000:42).

La nueva ley de radiación de Planck se ajustaba a los resultados experimentales.¹⁴⁷ Planck se encontró con que había elaborado una nueva ley de distribución de radiación, a lo que solamente faltaba definir una explicación teórica. Esta fue la ecuación $E = h \cdot \nu$, donde h es una constante universal, llamada *constante de Planck*, y donde ν es la frecuencia de vibración (Sánchez, 2001: 134).

Planck había cambiado completamente con esta interpretación la forma de entender y de estudiar a la naturaleza del microuniverso.¹⁴⁸ Si bien es cierto que el merito de la discontinuidad de la energía no recae únicamente en Planck, sí fue Planck el primero en determinar el comportamiento discreto de la energía al establecer su constante. Empero, después de esta interpretación tuvieron que llegar otras interpretaciones que confirmaron el comportamiento discreto de la energía. Con la interpretación de Einstein del descubrimiento del efecto fotoeléctrico por Hertz en 1887 y posteriormente con el descubrimiento del efecto Compton en 1923, se confirmó la hipótesis de los cuantos (Février, 1957: 95). Hablaré a continuación de esta interpretación.

2. La interpretación de Einstein

Cabe recordar brevemente que fue el propio Einstein el que equiparó la materia con la energía y por lo tanto, la discretización de una afectaba a la otra. Dicho esto, en un escrito llamado *Sobre un punto de vista heurístico relativo a la creación y transformación de la luz* publicado en 1905 en el *Annalen der Physik*, Einstein amplió la discontinuidad cuántica

¹⁴⁷ Dice Planck: <la noche anterior, tras levantarse la reunión, había cotejado rigurosamente mi fórmula con los datos de sus mediciones, encontrando en todo momento una satisfactoria concordancia. También Lummer y Pringsheim, quienes al principio creían haber detectado discrepancias, retiraron poco después sus objeciones, pues, como me confesó el propio Pringsheim, se demostró que las desviaciones encontradas se debían a un error de cálculo. Mediciones posteriores confirmaron una y otra la fórmula de la radiación, y, por cierto, son tanta mayor exactitud cuanto más precisos fueron los métodos de medición empleados>” (Planck 2000: 43-44).

¹⁴⁸ La discretización que hizo Planck de la energía, define Russell, hizo posible concebir la estructura última del mundo físico no como un flujo continuo sino de un modo más pitagórico, en el que los modelos derivan de la analogía con un montón de perdigones (Russell, 2002: 326).

introducida por Planck cinco años antes (Sánchez, 2007: 564-565).¹⁴⁹ Relata Antonio Ruiz de Elvira en su introducción del libro *Cien años de relatividad*:

“Einstein se pregunta cómo se genera la luz, y cómo se absorbe, por ejemplo, en nuestros ojos o en las células fotoeléctricas que controlan multitud de aparatos de los que usamos cotidianamente. ¿Puede generarse y absorberse la luz de manera continua, o se hace a saltos?”¹⁵⁰

Para responder a esta interrogante, Einstein introdujo el *cuanto* de luz, siendo este una unidad discreta de energía; es decir, un *paquete* de energía (Ruiz de Elvira, 2003: 32). La diferencia entre la teoría de Planck y la de Einstein es la amplitud que abarcaban explicar los fenómenos del universo: mientras Planck había introducido la discontinuidad en el *intercambio de* energía entre osciladores y radiación, esta podría seguir siendo descrita por ondas continuas; en cambio, Einstein sostenía que era la radiación electromagnética la que debía estar formada por paquetes independientes de energía que obedecían a la fórmula de Planck.¹⁵¹

Einstein encontró que los fenómenos como la radiación de los cuerpos negros y la fluorescencia y producción de los rayos catódicos eran más fáciles de entender si se suponía que la radiación estaba distribuida en forma discontinua; es decir, en partículas independientes que transportasen una cantidad de energía determinada. Einstein analizó la regla de Stokes, la generación de rayos catódico iluminando cuerpos sólidos y la ionización de fases por luz ultravioleta para explicar sus características a través de su interpretación de los cuantos de energía. El fenómeno que le llamó más la atención fue el de la generación de rayos catódicos iluminando cuerpos sólidos, también conocido como el efecto fotoeléctrico. Fue tanta la relevancia que se le dio a esta interpretación que fue por

¹⁴⁹ Originalmente, *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt*.

¹⁵⁰ A. Ruiz de Elvira, *Introducción* en *Cien años de relatividad, Los artículos clave de Albert Einstein de 1905 y 1906* (Nivola; Madrid, 2003), pág. 12

¹⁵¹ Es por este motivo que, como dice Sánchez, se puede hablar de una segunda y más radical discontinuidad cuántica de la radiación (Sánchez, 2001: 170).

ella por la que Einstein recibió el premio Nobel, a pesar de tener en su haber las teorías de Relatividad tanto especial como general (Sánchez, 2001: 169-170).

- El efecto fotoeléctrico, descubierto por Heinrich Hertz en 1887, trataba acerca de que cuando la luz, y en particular la luz ultravioleta, incide sobre superficies metálicas, estas expelen electrones de la superficie que está siendo iluminada. De este efecto, Einstein determinó dos principios: uno, en el que para cierta frecuencia de luz incidente, la energía de los fotoelectrones emitidos no varía (la velocidad de los electrones expulsados) siendo que lo que sí varía es su número en proporción a la intensidad de la luz incidente; y el segundo, un principio de dependencia entre la energía de los fotoelectrones y la frecuencia de la luz incidente (Gamow, 2003: 304-306).

El problema de estas mediciones es que, como en el caso de la radiación de los cuerpos negros, las observaciones no se adecuaban a la predicción del Electromagnetismo clásico. La energía de los electrones expulsados no dependía de la intensidad de la radiación sino de la frecuencia de la radiación, y había un desprendimiento de electrones mientras se encontrara la frecuencia de esta radiación arriba de un valor determinado, aunque la radiación no fuera lo suficientemente brillante. Si la frecuencia no se encontrara arriba de este valor, los electrones no serían expulsados sin importar cuánto tiempo estuviera la radiación incidente al material (Gamow, 2003: 305).

La solución que dio Einstein fue la explicar que la luz está compuesta de partículas finitas; lo que quería decir que estas tenían una cantidad finita de energía. Estas partículas terminarían siendo los fotones. La cantidad de energía sería determinada por la ley de Planck, $E = h \cdot \nu$ (Sánchez, 2007: 564-565).

La explicación del fenómeno es que cuando una frecuencia f golpea a un electrón, una cantidad de energía hf será transferida, h siendo la constante de Planck. Pero en esta

transferencia no existe una relación entre la amplitud de de la luz y la cantidad de energía que absorbe el electrón, sino que, esta amplitud lo que hace es que determina cuántos cuantos por segundo lleva la radiación. Esto tiene como resultado que exista una relación entre la intensidad de la luz incidente y el número de electrones expulsados, pero no una relación entre la intensidad de la luz y la velocidad de expulsión de los electrones; hay que recordar que la energía de los electrones es constante.

Tanto Einstein como Planck, ambos precursores de la Mecánica cuántica, fueron capaces de desechar antiguas concepciones de la Física clásica, sobre todo, del continuo en la energía y del éter. Ambos mantuvieron una esperanza implícita en el acceso final a un determinismo amplio. Y de la misma manera que Planck y Einstein desecharon el éter y la continuidad de la energía, Niels Bohr se deshizo finalmente de la pretensión estricta del determinismo en el estudio del microuniverso.

Así como Einstein y Planck se basaron en la contrastación de la teoría clásica con los resultados experimentales, dando una preponderancia a los datos observacionales, Niels Bohr basó su interpretación sobre los datos observados, y con ella estableció una nueva interpretación epistemológica de la naturaleza del átomo. Una de las implicaciones de esta nueva interpretación es la del Principio de Incertidumbre, con la que cerraré este capítulo. Pero por el momento, regreso a Einstein y su interpretación del efecto fotoeléctrico.

3. El átomo de Niels Bohr

Al comienzo de este capítulo hablé del problema de la estabilidad del átomo de Rutherford y que la solución vendría con el estudio de la radiación de los cuerpos negros. La respuesta a la estabilidad atómica la dio Niels Bohr al tener en cuenta los estudios de la radiación de Planck (Sánchez, 2007: 567). De esta forma, el modelo del átomo de Bohr dio lugar, primeramente a la Mecánica cuántica y posteriormente a la interpretación de Copenhague.

Bohr analizó la energía que pierde un átomo cuando sus electrones cambian de órbita, y de esto, supuso que la radiación que emitían los electrones al cambiar de órbita debía de ser discreta y no gradual (Sánchez, 2007: 568). Esta radiación solamente sería emitida cuando los electrones cambiaban de órbita, con lo que evitaría la desintegración del átomo con el decaimiento de electrón ya que habría una órbita mínima de donde el electrón no pudiese bajar ya que estaría limitado por la constante de Planck. El cambio de órbitas y la emisión de radiación estarían relacionados bajo la fórmula de la constante de Planck; es este número el que determina los saltos cuánticos de los electrones (Sánchez, 2007: 568-569).

Los saltos entre diferentes órbitas producen radiación de diferentes frecuencias, lo que respondía a los datos observacionales en que la vibración o excitación de los átomos emitía frecuencias discretas dentro del espectro. Con todo esto, Bohr estableció que los electrones no radiaban cuando estaban en sus órbitas pero lo hacían cuando eran excitados y cambiaban de órbitas, lo que solamente podían hacer de manera discreta; lo cual hacía que el electrón no emitiera radiación constantemente cómo se esperaba en el modelo de Rutherford (Tavel, 2002: 177).

El problema de la Mecánica cuántica es que aunque había algunos rompimientos entre las predicciones clásicas y los datos observacionales, hasta este momento todavía podía distinguirse una distinción clara entre la observación y el instrumento medidor. Antes de la Mecánica cuántica, existía una independencia entre el objeto estudiado y el objeto medidor; la objetivización de la experimentación no había sido desafiada en gran medida.

Fue con la llegada de nuevos descubrimientos y nuevas interpretaciones de la Mecánica cuántica que se instauró una nueva forma de acceso al conocimiento de la materia y/o energía; esta forma traía consigo una serie de limitaciones. Pronto llegó la Mecánica de matrices de Heisenberg y la Mecánica ondulatoria de Schrödinger, instaurando conjuntamente nuevos principios, los cuales traerían nuevas reglas para el determinismo de

la ciencia; por un lado, funcionamiento atómico se entendía por medio de matrices y por otro lado, por medio de la función de onda.

Eventualmente se vio que los dos formalismos, tanto el de Heisenberg como el de Schrödinger, fueron equivalentes desde un punto de vista formal. Era posible a través de transformaciones matemáticas pasar de una descripción en términos de matrices a una descripción en términos de funciones de onda. La distinción se basaba en la conveniencia de usar una o la otra dependiendo del problema que se trataba (Hacyan, 2004: 126). A este nuevo conjunto de reglas en el entendimiento de la naturaleza se le condensó en la llamada interpretación de Copenhague, refiriendo a la ciudad de residencia de Bohr, y a la influencia que tenía Niels Bohr sobre la Mecánica cuántica.

La Mecánica cuántica, a través de la interpretación de Copenhague, puso en duda la independencia entre la observación y el observador. Esta fue la contribución que hizo el Principio de incertidumbre junto con el Principio de complementariedad en la interpretación de Copenhague. De esta manera surgiría de nueva cuenta una readaptación del determinismo científico.

4. Principio de Heisenberg

Heisenberg desarrolló lo que posteriormente se conocería como la Mecánica matricial, la cual presentaba un método para el cálculo de las amplitudes de transición entre diferentes niveles energéticos (Sánchez, 2007: 570). El artículo que contenía este método se llamó *Reinterpretación teórico-cuántico de relaciones mecánicas cinemáticas*¹⁵² y fue publicado en la revista *Zeitschrift für Physik* en 1925 (Sánchez, 2007: 571). Pero más allá de la Mecánica matricial, quisiera centrarme en la preocupación que tuvo Heisenberg hacia la capacidad de medición del microuniverso; Heisenberg se preguntó si era posible medir el

¹⁵² El nombre original *Über quantentheoretische Umbeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen*.

estado de un corpúsculo atómico. En caso que la respuesta fuera afirmativa, Heisenberg quería conocer qué resultados podrían obtenerse y en caso negativo, si esta limitación en la medición era realmente imposible o no (Février, 1957: 103).

Heisenberg entendió que surgía un problema cuando se intentaba medir algo tan pequeño como lo es, por ejemplo, un electrón. El problema radicaba en la interferencia que causa la medición en el sistema que se intentaba medir. El principio que propuso Heisenberg indicaba que no era posible medir todas las características del estado de un electrón ya que cuando se hace la medición, existe una interferencia causada por la luz que es utilizada por el instrumento medidor. El problema es que el indicador de medición, entre más pequeño sea para lograr una medición más precisa, debe de tomar más y más energía de la partícula transeúnte (Gamow, 2003: 335). A mayor precisión de una magnitud, se produce simultáneamente mayor interferencia de otra magnitud relacionada.¹⁵³ Esta interferencia estará presente en cualquier medición por *principio*, y esta, cuando se llega a los límites mínimos de energía, es imposible de erradicar. La observación estará influida por la observación. La luz interferirá la medición del estado de un electrón, necesariamente.

El Principio de Heisenberg determina entonces que si intentan medir simultáneamente dos magnitudes conexas como lo son la velocidad y la posición, todo incremento de la exactitud en la medición de una supondrá una disminución de la exactitud en la medición de la otra. Si una de las mediciones pudiese ser totalmente exacta, el error de la otra medición sería infinito.

¹⁵³ Dice Gamow: “[a]sí, con ondas verdaderamente cortas podemos definir las posiciones de una partícula en movimiento, pero interferimos en gran medida su velocidad, mientras que con ondas muy largas podemos determinar su velocidad imperturbada, pero estaremos muy inciertos acerca de sus posiciones. Ahora bien, podemos escoger un camino medio entre estas incertidumbres. Si empleamos una longitud de onda intermedia de onda luminosa perturbaremos la trayectoria de la partícula nada más que moderadamente y todavía podremos determinarla con bastante precisión...” (Gamow, 2003: 333).

Es imposible entonces medir la velocidad y la posición de un electrón en un momento determinado ya que al aproximarse lo suficiente a una medición exacta de uno de las magnitudes, se presentará un error muy grande en la posición y viceversa (Février, 1957: 103 y Russell, 2002: 37-38). La implicación inmediata de este Principio es que la medición de tipo laplaciana no solamente es inaccesible sino que además las características del resultado de la medición atómica estarán determinadas por la intención o por los requisitos del observador. El Principio de incertidumbre crea un límite teórico en la exacta y simultanea medición de ciertas magnitudes relacionadas entre sí. Se descarta por lo tanto el acceso laplaciano al conocimiento exacto y completo de un estado. Comenta Gamow:

“...en el diminuto mundo de los electrones de un átomo, los movimientos y sucesos individuales no están tan firmemente determinados. Las pequeñas partículas materiales, tales como electrones y protones, se mueven, bajo la guía de las ondas, entre márgenes que serían como las trayectorias de la mecánica clásica pero ensanchada. Pero lo importante es que esa guía se realiza en una manera estocástica más bien que rigurosamente *determinista*. Únicamente podemos calcular la *probabilidad* de que un electrón choque contra un punto dado de una pantalla o que otra partícula material pueda ser encontrada en un determinado lugar de un instrumento dado, pero no podemos decir con seguridad qué camino seguirá en un campo de fuerzas dado”.¹⁵⁴

Es preciso decir que de este principio hubieron dos interpretaciones: en una de ellas, se intentó sostener un determinismo oculto a manos de Planck y Einstein, mientras que la otra, posterior y con el asentamiento de la interpretación de Copenhague, aceptó un indeterminismo a nivel atómico. Cabe decir rápidamente, que al hablar de indeterminismo atómico me refiero a una nueva forma de determinismo científico en el que la medición estricta de los estados en los que se encuentra un electrón es reemplazada por un determinismo probabilista basado en la Mecánica ondulatoria.

En la primera interpretación del indeterminismo, se pensaba que el determinismo clásico - oculto- podía permanecer a salvo al mantener que la indeterminación es ocasionada por una interferencia técnica del observador, que aunque necesaria, no significaría que hubiera

¹⁵⁴ G. Gamow, *Biografía de la física* (Alianza: Madrid, 2003), pág. 335

un indeterminismo objetivo. Février comenta acerca de la diferencia entre las dos interpretaciones:

“Ahora bien, el punto esencial de la concepción que consideramos aquí es la imposibilidad de objetivar las propiedades de los sistemas físicos, ya sean consideradas como características de los objetos observados o como representaciones del sujeto que las observa”.¹⁵⁵

A lo que añade:

“Habitualmente las relaciones de incertidumbre de Heisenberg se interpretan diciendo que la medición perturba el estado de sistema observado. Esta interpretación es lícita en la antigua teoría de los cuantos, pero ya no lo es en la mecánica ondulatoria”.¹⁵⁶

La segunda interpretación del Principio de Incertidumbre, basada en la Mecánica ondulatoria, en el Principio de complementariedad de Bohr y en la dependencia entre instrumento observador y observación, determinó que la incapacidad de medición exacta de un estado se debía a que dicho estado de características macroscópicas no existía en realidad. Este estado debía ser reemplazado por la función de onda donde se encuentra una superposición de todos los estados de un electrón, o en otras palabras, de todas las trayectorias en donde está un electrón mientras que no se observe, pero que cuando intenta observársele, la observación misma situará al electrón en un estado determinado por una probabilidad dada por la función de onda. Esta probabilidad dada en la función de onda es la probabilidad de encontrar a un electrón en un estado (Hacyan, 2004: 125-126).

La ciencia no solamente no puede determinar simultáneamente la posición y el movimiento de un corpúsculo -electrón- sino que además acorde a la Mecánica ondulatoria, esta está imposibilitada por que el estado no existe mientras no se observe al corpúsculo (Février, 1957: 129). A este conjunto de principios, se le llamó la *interpretación de Copenhague*; esta interpretación pone énfasis en la inseparabilidad del

¹⁵⁵ P. Février, *Determinismo e Indeterminismo* (UNAM: México, 1957), pág. 166

¹⁵⁶ Février, [1957], op. cit., pág. 166

sujeto y el objeto. Para entender las implicaciones de esta interpretación, es necesario explicar que la indeterminación de la que se habla depende de dos principios empíricos: uno, el Principio de incertidumbre; y el segundo es el Principio de complementariedad de Bohr del cual trataré a continuación.

5. Principio de complementariedad de Bohr

Los descubrimientos de los cuantos de energía y del comportamiento en forma de partículas de la energía contrastaban con la vasta compilación de observaciones en los que la energía se comportaba en forma de ondas. Estos descubrimientos no resolvían de manera concluyente la discrepancia, ya desde la ciencia clásica, entre si la energía estaba compuesta por corpúsculos o por ondas.

Si bien los cuantos podían determinar el tamaño mínimo de transferencia de energía necesitada para dar saltos entre las órbitas atómicas, también se encontraban trabajos que determinaban que la materia podía ser descrita en términos de ondas; y que las ondas de radiación y energía podían comportarse como si fueran partículas a través de saltos definidos, ¿podrían comportarse las partículas como si fuesen ondas? O más precisamente, ¿por qué no se podrían estudiar las partículas a partir de sus comportamientos en forma de onda?

Esta fue la contribución de Louis de Broglie y sus ondas piloto, las cuales acompañan/guían a toda partícula y determinan los estados de ella. Esta idea fue extendida por Schrödinger creando así la Mecánica ondulatoria. Esto definía que el debate acerca del comportamiento de la materia/energía no estaba resuelto aún. Era posible todavía entender el comportamiento de la energía/materia tanto como si se comportase como ondas o como partículas.

Por esta razón Bohr, en vez de desechar alguna de las dos interpretaciones, decidió elaborar el Principio de complementariedad con el que determinó la dualidad onda-partícula. Esta dualidad contiene una interpretación ondulatoria en la que la materia está compuesta por ondas, y una interpretación corpuscular en la que materia está controlada por ondas de probabilidad (Reichenbach, 1946: 22).

Esta dualidad no representaba solamente una posibilidad de entendimiento a través de dos interpretaciones sino que además, expresaba dos restricciones: por un lado, definía que era imposible el verificar una interpretación y falsar la otra, lo que hacía a estas dos interpretaciones complementarias en vez de contradictorias (Reichenbach, 1946: 22); y por otro lado, determinaba que podían usarse cualquiera de las dos concepciones, pero no podían usarse simultáneamente; es decir, es posible pensar en un electrón en algunas ocasiones como una partícula y en otras como una onda pero no como una partícula y una onda a la vez; son mutuamente excluyentes para una misma observación ocasionando que exista otra dependencia entre la observación y su observador. Cuando se quieren medir los electrones como partículas, estos se comportarán como partículas y cuando se quieren observar como ondas, estos se comportarán como ondas (Wallace, 1974: 192).

El Principio de complementariedad de Bohr y el Principio de incertidumbre de Heisenberg determinarían finalmente que la realidad del electrón es diferente de lo que la Mecánica clásica interpretaba. La naturaleza se comporta en el fondo, dice la interpretación de Copenhague, de una manera indeterminista. La naturaleza, después de la interpretación de Copenhague parece estar gobernada por dos factores: por leyes probabilistas y por restricciones. Por este motivo, el determinismo científico debía formularse de nueva cuenta en un determinismo con algunos tintes indeterministas.

La interpretación de Copenhague ejemplifica el cambio más importante para el concepto del determinismo científico; es importantísimo entender que este cambio no fue gratuito

sino que tuvo un gran costo para las pretensiones de la ciencia; el costo fue el rompimiento con la ilusión laplaciana. Es justo decir que el cambio en el determinismo científico no se dio precisamente en la ciencia *per se* sino más bien, en el determinismo inherente a la ciencia. La ciencia podría mantener su estatus determinista, aunque su determinismo produzca leyes indeterministas y probabilistas. La pregunta no recaería más sobre si la ciencia debía de ser determinista o no, sino se debería de enfocar a las implicaciones de los principios indeterministas de una ciencia inherentemente determinista. Por ahora, es menester hablar de las implicaciones indeterministas del determinismo científico.

CAPÍTULO 3

Predicción, causalidad y observación

En la primera forma de indeterminismo -determinismo oculto-, el conocimiento del estado individual de cada electrón era reemplazado por un comportamiento en conjunto al estudiar los gases; otros ejemplos de la dificultad o imposibilidad de predicción exacta posterior a sus momentos iniciales son las condiciones atmosféricas, el movimiento de las arenas y el flujo de un líquido (Hacyan, 2004: 187). La ciencia mantenía aquí un determinismo oculto atribuyendo que los estados de las moléculas existían en realidad, a pesar de estar aislados por una dificultad técnica de acceso, o una preferencia pragmática de la ciencia.

La interpretación de Copenhague, en cambio, establecía dos restricciones a la posibilidad de una medición exacta: una, hablar de un estado único y preciso en el que se podría encontrar un electrón no es propiamente adecuado ya que este realmente no existe como tal; la segunda restricción es que el instrumento de medición no podía ser erradicado de la pregunta que investigaba. Estas dos restricciones delimitaban las nuevas capacidades de predicción de un estado futuro al instaurar límites para la observación de un estado inicial (Reichenbach, 1956: 212).

Lo que diferenciaba a estas restricciones era que si bien la ciencia había ya tratado con incertidumbre en la medición exacta, o con la incertidumbre lógica de las inferencias de probabilidad, o hasta con la incertidumbre cartesiana, estas restricciones hacían que la predicción fuera posible solamente dentro de ciertos límites, y fuera de ellos sería

imposible hacer una predicción (Wilson, 2006: 52). La predicción de un estado futuro dejaba de ser solamente dependiente de sus condiciones iniciales. Ahora se debían de tomar en cuenta otras relaciones de dependencia. Y lo más importante de todo era que estos límites eran consecuencias lógicas de los principios de la Mecánica cuántica. Si la Mecánica cuántica era correcta, lo cual parecía serlo, también lo sería el Principio de incertidumbre (Reichenbach, 1946: 13).

En la Mecánica ondulatoria se propone que la función de onda representa la probabilidad en la que, por ejemplo, un electrón se puede encontrar teniendo en cuenta todas sus posibles trayectorias. Para establecer la probabilidad de encontrar en un estado al electrón, era preciso realizar una observación primera de los estados. La observación de los estados en que está un cuerpo atómico se hace por medio de las probabilidades en las que el electrón puede o no encontrarse dicho estado, a lo que se le debe de añadir que el electrón viaje a alguna velocidad específica. No es posible conocer ni la posición ni velocidad exactamente. Este estado no existe y por ende no puede ser observado cómo se es observado un misil o un coche. Si la observación de las condiciones iniciales era inaccesible, entonces sería imposible completamente determinar la predicción de la trayectoria de un electrón. La predicción es indeterminada si la observación es restringida. La observación restringida crea el indeterminismo cuántico.

- *Predicción y causalidad.* El problema en la predicción altera la conceptualización de la causalidad y ni qué decir del determinismo; si la predicción se basaba en el determinismo, y el determinismo en la causalidad, era válido preguntar cuánto afectaría el límite en la predicción al concepto de causalidad. La respuesta es de alguna forma fácil de ver si se entiende que la predicción es un elemento necesario de la causalidad en la ciencia.

Una de las funciones de la predicción es mostrar la existencia de procesos causales, o por lo menos mostrar la posibilidad de la existencia de procesos causales en las inferencias

predictivas. La predicción es una función eficiente de la causalidad científica. Es posible decir que para la ciencia, si la predicción sin causalidad es indeterminista, la causalidad sin predicción es infructuosa. De esta forma, el establecimiento de un límite en la predicción científica, ocasiona inmediatamente una revaloración de la causalidad. Aunque las leyes científicas no sean estrictamente causales, deben de ser al menos predictivas ya que las trayectorias de los movimientos o procesos de los fenómenos estarían determinados por leyes predictivas. Pero el indeterminismo cuántico, restringe el conocimiento inicial de estas trayectorias, y por lo tanto, restringe la predicción y a su vez, la causalidad.

El principio de causalidad como se conocía anteriormente deja de ser compatible con la Física cuántica debido a que este nuevo tipo de causalidad implica un determinismo que no es verificable (Reichenbach, 1946: 5). También es cierto, las leyes indeterministas seguían prediciendo, aunque estadísticamente, el comportamiento atómico. Entonces, ¿cómo hacer compatible la restricción en la predicción y el determinismo científico?

Una solución sería, dice Reichenbach, la de incluir, justo como lo hizo la interpretación de Copenhague, el instrumento medidor en la determinación de la medición (Reichenbach, 1956: 223). De esta forma la limitación de Heisenberg se convierte en un requisito de una observación más completa. En vez de marcar una línea de interferencia entre el observador y el objeto, se debe incluir el instrumento medidor en la observación. Pero cabe decir, existe un costo al hacer esto: la observación pierde entonces su caracterización clásica; dentro del sentido epistemológico clásico de la observación, ninguno de los fenómenos cuánticos es observable (Reichenbach, 1946: 20-21). Esto no quiere decir que los movimientos cuánticos no estén determinados; estos están determinados con una gran aproximación, al igual que son observados a través de la función de onda.

No obstante, la conceptualización de la observación, al igual que la de la predicción, adquieren un factor de dependencia relacional además de valores probabilísticos, con lo

que la interferencia en la observación no se decantaría en una limitación sino en un requisito. Este requisito especificaría la inseparabilidad del instrumento y del fenómeno al ser ambos necesarios para formar un sistema más completo.

De esta forma, el indeterminismo cuántico evita el indeterminismo metodológico causado por la interferencia pero acepta un indeterminismo en la epistemología de los estados; si bien es posible evitar la interferencia que pueda causar la incertidumbre, no es posible evitar un indeterminismo ocasionado por límites, restricciones y requisitos en la observación. Y siendo que la Mecánica cuántica es el estudio mejor capacitado para entender a la naturaleza, esta mostraría la imagen más aproximada de la naturaleza misma: una naturaleza probabilista y con restricciones epistemológicas, donde ni siquiera la naturaleza puede conocer el estado completo de un electrón, y no sabe siempre qué camino va a tomar un electrón (Feynman, 2005: 160-161).

El determinismo científico, visto después de la interpretación de Copenhague, rompió completamente con la certeza y la exactitud en las mediciones y en las predicciones. La Mecánica cuántica demostró dos cosas: una, que este tipo de determinismo estricto no existe en la naturaleza, y dos, que este tipo de determinismo no fue más que un sueño y solamente eso.

La ciencia aceptó finalmente que el determinismo científico no era compatible con el determinismo mecanicista pero, al mismo tiempo, estableció que el indeterminismo del comportamiento de la naturaleza puede y debe estar determinado por leyes científicas; y es gracias a estas leyes que el indeterminismo cuántico no implica un indeterminismo absoluto. El indeterminismo cuántico solamente marcó el final de la pretensión de acceso a la ilusión laplaciana de un determinismo no solamente inalcanzable sino irreal.

- El final de la ilusión laplaciana representa el cambio entre la idealización de las implicaciones de la Mecánica newtoniana y el comportamiento natural del micro y macrouniverso. La mente súper poderosa ideada por Laplace se enfrentó a que la naturaleza se comportaba de tal forma que rechazaba la posibilidad de que existiera o que se pudiese crear tal mente. La teoría cuántica y la Relatividad han demostrado que el comportamiento del universo no solamente descarta una separación entre observación y observador sino que la restringe a través de ciertas reglas y principios. La naturaleza juega de tal manera que fue necesario desechar la idealización del cómo debería de comportarse la naturaleza y reemplazarla por una determinación científica adecuada al comportamiento mismo de la naturaleza. La ciencia chocó contra un universo que era empíricamente diferente del que determinaban sus leyes universalistas.

La ciencia regresó a la causalidad encontrando en ella lo que ya sabía desde Hume; la certeza en las inferencias causales seguía siendo una ilusión. La certeza basada en la experiencia seguía siendo epistemológicamente injustificable y la única forma de justificarla era a través de principios metafísicos y a través de leyes ideales que regulaban a un universo que resultaba no ser tan ideal. El segundo rompimiento con la causalidad necesaria es precisamente la comprensión de este cambio en el determinismo científico.

CONCLUSIÓN

Esta investigación trató acerca de la estructura del determinismo científico y de cómo ha dejado atrás las implicaciones epistemológicas del determinismo estricto como la causalidad necesaria, la observación independiente al observador, y la predicción exacta. La causalidad necesaria del determinismo estricto encontró dos rompimientos que hicieron que no sólo fuera epistemológicamente insostenible o impráctica, sino que tampoco posible. El determinismo científico no fue capaz de mantener el anhelo de una observación y una predicción completa de estados, rompiendo así la posibilidad del universalismo que las leyes científicas clásicas pretendían en un principio.

A causa de esto, la causalidad necesaria en el determinismo científico puede ser solamente mantenida de dos formas: a) como una conjetura ideal o, b) como una sombra realista. Pero en ninguno de los dos casos podría estar justificada empíricamente. Por un lado, si la causalidad necesaria tomaba forma de una herramienta deductiva, esta podía ser verdadera pero de poca adecuación en la experimentación del mundo, y aunque las leyes implican semánticamente una causalidad necesaria, no significa que ella sea accesible o que exista necesariamente. Por otro lado, la ciencia podría confiar en la existencia de la causalidad necesaria pero sólo como una esperanza de uniformidad basada sobre evidencia estadística.

Si bien es cierto que es imposible argumentar que la causalidad no existe, también es cierto que ni la filosofía ni la ciencia la han podido conceptualizar de una manera única que logre satisfacer todos los requisitos ontológicos, metodológicos y epistemológicos que se le atribuyen. Es importante decir que en la experimentación, la causalidad es pragmáticamente uniforme, es decir, la causalidad ha sido siempre constante y se espera que lo siga siendo hasta el fin del universo. Pero esta comprensión aunque es confiable, también es ciega cuando se le cuestiona por qué la causalidad debe de ser siempre

uniforme. Ni el Dios de Descartes, ni el de Berkeley, ni el de Newton, ni la categoría kantiana de la causalidad, entre otros intentos, pudieron responder a esta pregunta de una manera satisfactoria para la ciencia. Sin embargo, se esperaba que la misma ciencia pudiera eventualmente encontrar la respuesta. En cambio, lo que encontró fue que el acercamiento a la certeza epistemológica de la uniformidad causal es, y sólo puede ser, asintótico.

- La crítica humeana y los avances científicos coincidieron casualmente en el siglo XX. Pero esta coincidencia muestra algo más que un encuentro casual o una predicción profética del escepticismo. Esta coincidencia muestra lo erróneo de la concepción de la causalidad necesaria cuando es utilizada como justificante epistemológico de una legalidad científica basada en la inducción. Las leyes científicas pretendían tener lo mejor del conocimiento analítico y del sintético: validarse en la experiencia y al mismo tiempo, sustentarse sobre una causalidad necesaria y determinista, con lo que el método científico prometía alcanzar deducciones universales partiendo de inferencias experienciales.

No obstante, con la llegada de Hume se vislumbraron las primeras señales que indicaban la insostenibilidad del determinismo laplaciano de certeza epistemológica al romper con la causalidad necesaria.

- *Hume*. La posición de Hume parte de la *tabula rasa* sobre la que se plasman las experiencias. No obstante, para Hume estas experiencias solamente pueden asegurar una evidencia estadística de la causalidad. Cuando se habla de eventos futuros, la causalidad necesaria inferida en las generalizaciones inductivas no puede asegurar, según Hume, que las causas tengan necesariamente los mismos efectos. La suma de la evidencia fáctica no logra justificar la creencia de la causalidad necesaria y por ende, del determinismo en las leyes científicas.

Una de las consecuencias de la limitación humeana es que hace que las leyes científicas sean concebidas como descripciones en vez de explicaciones, siendo reducidas a relaciones funcionales entre eventos temporalmente contiguos. Cabe decir que las leyes científicas en ningún momento pierden su capacidad predictiva, y por este motivo, la ciencia nunca se detuvo ante la problemática humeana permaneciendo eficaz en sus predicciones a pesar de que estas no podían avalarse epistemológicamente en la causalidad necesaria.

Se realizaron diversos intentos para contraargumentar a Hume, siempre tratando de no caer en una metafísica dogmática alejada de los preceptos científicos. En esta investigación me centré en algunos de los intentos filosóficos del siglo XX, que aceptan la problemática humeana pero proponen una salida para evitar el obstáculo epistemológico de la justificación inductiva. Los intentos que esboqué aquí fueron las corrientes filosóficas del Naturalismo, Verificacionismo, Falsacionismo y del Pragmatismo. Comencé explicando el Naturalismo ya que he preferido dar mayor preponderancia al orden temático que al orden cronológico.

- *Naturalismo*. El Naturalismo propone que la justificación de la causalidad se encuentra en la misma capacidad natural de realizar inferencias, generar creencias y tener expectativas de efectos determinados. El comprender justifica necesariamente tanto la creencia de la causalidad como la confianza que se tiene en su eficacia. La creencia de la expectativa causal está justificada desde el momento que se tiene tal creencia causal, es decir, la justificación epistemológica de la confianza en la certeza causal está implícita en cada inferencia, así que el problema humeano se disuelve siempre y cuando el conflicto se localice en la causalidad experiencial.

No obstante, no sucede lo mismo en la causalidad necesaria implícita en la metodológica científica y en el determinismo de las leyes científicas. El Naturalismo no puede evitar esta problemática sin tener que retroceder a un principio axiomático o a un principio metafísico

que establezca la uniformidad formal de la causalidad necesaria, y en este momento la causalidad necesaria, aunque estuviese justificada, no requiere ser siempre verdadera. La creencia causal requeriría ser verificada para que pudiese ser verdadera, y este es el mismo requisito que presentó la problemática humeana. Por este motivo, proseguí con otra corriente filosófica, la cual se centró en la importancia de la verificación de las predicciones causales.

- *Verificacionismo*. En este caso, la justificación de la causalidad necesaria sucede cuando cada inferencia es verificada con la experiencia. Si la adecuación entre predicción y experiencia es conseguida, entonces, se consigue justificar, acorde al Verificacionismo, la presencia de la causalidad necesaria en las leyes. Con cada verificación es posible establecer si la causalidad eficiente en las predicciones está implicada necesariamente.

Para el Verificacionismo, la justificación de la causalidad necesaria *a priori* no solamente es inaccesible sino también superflua. Sin embargo, la eficacia causal implícita en las predicciones particulares sí es accesible por la sencilla razón de que las predicciones son verificables; para el Círculo de Viena, las predicciones particulares no solamente podían ser ciertas sino que además podían ser confiables a través tanto de un sistema complejo de convenciones o de frases protocolarias.

Aun así, el requisito de la justificación de la universalidad de las leyes fue reticente a desaparecer ya que permanecía inherente en las implicaciones del determinismo mecanicista. Las leyes seguían siendo consideradas universales, y por lo tanto seguían requiriendo una justificación epistemológica. De igual forma, en el Verificacionismo surgían conflictos metodológicos cuando se trataba de definir qué es lo que se entendía por verificación y por adecuación.

También fue común el rechazo a la concepción verificacionista-positivista de la ciencia ya que, se argumentaba, las leyes de la ciencia tenían también una tarea explicativa y no solamente una tarea descriptiva de la naturaleza. Otra forma de satisfacer dicho requisito determinista para que la generalidad de la legalidad esté justificada, fue la propuesta de Popper. Con ella, la forma de buscar la justificación de la causalidad necesaria cambió radicalmente.

- *Falsacionismo*. Popper propuso que la lógica de la investigación científica determinaba que todas las inferencias con contenido sintético son en realidad falsables, pero que algunas permanecen por un tiempo verdaderas o útiles, hasta que llegan teorías mejores, herramientas más exactas, y/o verificaciones más profundas. Si se parte de este principio, el requisito por la causalidad necesaria se disuelve dando paso a una ciencia pragmática, realista y a la vez crítica.

La eficacia causal, a través de la historia de la ciencia, mostraba un proceso de renovación continua en la mayoría de las teorías y leyes conforme avanzaba la investigación. Esto mostraba, según Popper, que no había realmente un conflicto entre Hume y la praxis científica ya que la misma práctica científica es implícitamente falsacionista. Por lo tanto, la lógica de la investigación científica indicaba que la justificación de la causalidad necesaria no es realmente un requisito para las leyes ya que estas son en realidad temporales y renovables.

No obstante, la solución popperiana también contrajo una serie de dificultades. Surgieron preguntas metodológicas acerca de la forma en la que la ciencia pudiese determinar de manera concisa si una teoría o ley fuese falsable, y preguntas epistemológicas acerca de cómo evitar falacias *ad hoc* o peticiones de principio. Las respuestas a estas preguntas no pudieron dar la suficiente luz al problema.

Un punto de gran importancia que hizo notar el Falsacionismo fue el énfasis en la constancia de la eficacia predictiva de las leyes científicas con contenido causal a través de la historia de la ciencia; tal vez esto quería decir que el peso de la justificación no debería de recaer sobre las implicaciones epistemológicas de las leyes científicas sino sobre la misma capacidad productora de leyes. Esta constante en la investigación científica mostraba que la misma eficacia investigativa/predictiva de la ciencia bastaba para justificar la causalidad necesaria en las leyes científicas.

- *Pragmatismo.* El Pragmatismo de Peirce, al igual que el de James, consiguieron justificar epistemológicamente el determinismo de las leyes científicas a través del método inductivo-abductivo-deductivo, del método pragmático y de la implantación de reglas eficientes. Pero también vino un problema: las reglas de Peirce, si bien se ajustan al carácter inductivo de la ciencia y proveen una forma en la que la generalización inductiva no es necesariamente falsa, tampoco requieren ser causales.

Si bien las reglas definen procesos, estos pueden ser reducidos a relaciones no-causales, lo que quiere decir que las leyes científicas no necesitan ser propiamente causales sino que basta con que sean uniformes. Las leyes podían seguir siendo deterministas y generales, pero no necesariamente causales ya que los procesos fenoménicos pueden estar funcionalmente representados de manera completa en las reglas de Peirce, sin requerir de un carácter explicativo o de una reducción causal.

No tardó mucho tiempo en que otro filósofo encontrara las implicaciones de tener relaciones funcionales entre variables en la metodología científica en vez de relaciones de dependencia causal.

- *Russell.* Russell propuso, siguiendo a Mach, que la descripción funcional entre las variables de las leyes deterministas era suficiente para hablar de un proceso fenoménico

uniforme, por lo que debía de ser un error sostener que las leyes científicas siempre implican una causalidad necesaria. La causalidad necesaria podía ser descartada de la praxis científica sin afectarla de sobremanera. Cabe decir que no faltaron filósofos como Nagel, Meyerson, Broad, entre otros, que respondieron a esta concepción russelliana de la causalidad.

Al mismo tiempo también existieron propuestas que se asemejaban a la concepción russelliana de la causalidad. Una de ellas es la convencionalidad de Poincaré. Otra fue la causalidad probabilista/frecuentista basada sobre evidencia estadística propuesta por Reichenbach. La ventaja de seguir este camino probabilista es que se logran proteger dos aspectos: a) una causalidad eficiente en las inferencias predictivas y con ella, b) la capacidad de explicar procesos fenoménicos a partir de esta causalidad eficiente. El problema con esta concepción radica en que ya no podía hablarse más de una certeza absoluta sino sólo de una aproximación asintótica a la certeza causal.

- *Contrafácticos*. La siguiente propuesta en esta investigación fue la de David Lewis, en donde la justificación de la creencia de la efectividad de un proceso proviene de una interdependencia constante entre efecto y causa. Los contrafácticos son enunciados que determinan qué es lo que pasaría si, y sólo si, existiese una modulación causal. La causalidad adquiere así un carácter metodológico al convertirse en una herramienta que determina qué es lo que produce un efecto; todo esto gracias a una evidencia fáctica y estadística. Los contrafácticos tienen la ventaja de que muestran una dependencia a través de una manipulación causal que la hace irreducible a términos no-causales.

Sin embargo, los contrafácticos tampoco están libres de preguntas conflictivas como: ¿en dónde establecer un límite para la serie causal que demarque la dependencia entre una causa y un efecto? o ¿cómo evitar explicaciones *ad hoc* y/o peticiones de principio? Y aun con el segundo tipo de contrafácticos de Lewis, en el que la causalidad realiza la función

de ser un instrumento que eleva la creencia de una expectativa, también sería necesario preguntar: ¿cómo evitar las complicaciones que contrae el establecimiento de mundos paralelos similares, lo cual es un requisito para la comparación de efectos esperados?

- *Plasticidad e irreductibilidad de la causalidad.* Otro intento para resolver la dificultad de la justificación inductiva es establecer de una vez por todas que es imposible realizar una reducción a un principio único de causalidad. La respuesta se encuentra, entonces, en un concepto ancho de causalidad lo suficientemente plástico para que pueda abarcar la ontología, la metodología y la epistemológica, no solamente de la causalidad necesaria sino de todo tipo de relación causal y de toda relación que contenga cualquier significado causal, tanto para la ciencia como en la cotidianidad. Con una conceptualización ancha, la ciencia lograría conservar en sus leyes y en su determinismo una significación causal. Sin embargo, lo problemático es lograr hacer una conceptualización de tal plasticidad y amplitud.

Así como la reducción de Russell encuentra contraejemplos en donde las leyes científicas sí requieren ser causales, un concepto ancho de causalidad encontraría un gran número de ejemplos en los que la amplitud y la elasticidad que debe abarcar el concepto crean problemas de ambigüedad en la definición y diferenciación de las relaciones entre eventos *causa* y eventos *efecto*.

Tal concepto plástico de la causalidad requiere agrupar diferentes tipos de relaciones de contenido causal como: influir, girar, atraer, etc. De igual forma, el concepto plástico de la causalidad requiere mostrar que en ocasiones el determinismo causal no implica una entera observación, una efectividad necesaria, una verificación real y/o una predicción exacta; la plasticidad podría llegar a ser tan grande que en algunos momentos se pierdan de vista algunos requisitos primordiales de la causalidad necesaria.

El concepto requiere ser tan elástico para que incluso en el indeterminismo de la Mecánica cuántica, se pueda seguir hablando de una causalidad en las leyes científicas. El mismo caso se da en la Mecánica relativista, en la que la determinación del fenómeno depende no solamente de la exacta observación de los estados de un fenómeno sino que también depende de la relación entre los estados del fenómeno y los estados del observador.

- Una de las implicaciones de la Mecánica clásica es la capacidad de determinación estricta de estados futuros, si y sólo si, se conjuntaban dos situaciones: un conocimiento completo del estado inicial de un proceso y la comprensión del funcionamiento del universo. Laplace hizo explícita la implicación de una observación completa ideando lo que se conocería como mente laplaciana o la ilusión laplaciana.

La ciencia no siempre se mostró capaz de llegar a la posibilidad de igualar este ideal laplaciano. La mente laplaciana se mostraba, mejor dicho, como un ideal dentro de un mundo no tan ideal. Por este motivo, el ideal laplaciano servía como guía o referencia, y a él debían de dirigirse los esfuerzos de la ciencia. La ciencia debía de ser la encargada de elevar cada vez más la capacidad de la observación y de la experimentación fenoménica. Y en efecto, esto es lo que sucedía.

La ciencia avanzaba inexorablemente; los instrumentos, tanto materiales en forma de máquinas, como ideales en forma de teorías, se hacían más exactos conforme pasaba el tiempo. La verificación se hacía más precisa, lo que mostraba que se iba por buen camino para llegar a una predicción cuasi-necesaria acercándose cada vez más a la determinación estricta de estados. Sin embargo, la realidad del universo comenzó poco a poco a mostrar que la determinación estricta debía de ser solamente una mera pretensión. Ni la medición estricta de los estados era posible ni tampoco era requerida para el funcionar científico. La determinación estricta era reemplazada por una determinación oculta.

En un principio no cabía duda de que el determinismo, aunque oculto, debía de existir a pesar de ser inaccesible. Pero con la llegada de la Mecánica cuántica y de la Relatividad, argumenté en esta investigación, surgió un segundo rompimiento con el determinismo estricto y/u oculto basado en la causalidad necesaria.

- En la Relatividad, si la observación solamente puede determinarse en relación a su marco de referencia, la determinación de estados es relativa. Esto quiere decir que no es posible una determinación estricta en relación a un marco de referencia absoluto sino que siempre se debe de tomar en cuenta el marco de referencia preferencial y arbitrario. No existe un marco que dirija la pauta del ideal laplaciano.

El tiempo y el espacio absolutos fueron el marco de referencia arbitrario implícito en la segunda ley de movimiento de Newton; este marco de referencia implicaba la posibilidad de una completa determinación de estados y la independencia entre el observador y el objeto observado. El problema, sin embargo, era demostrar que existía.

Lo que la ciencia demostró en cambio, fue que el marco de referencia absoluto es inverificable. Y la consecuencia inmediata fue la eliminación de la creencia del marco de referencia absoluto y por lo mismo, del espacio y del tiempo absolutos, relativizando así todas las mediciones a sus respectivos marcos de referencia. Estos descubrimientos contrajeron dos nuevas implicaciones sobre la posibilidad de un observador de tipo laplaciano:

1. Sin marco de referencia preferencial, se anulaba la simultaneidad del universo, y por lo tanto el tiempo absoluto desaparecía; con él, igualmente desaparecía la capacidad de hablar de un determinismo estricto de la ilusión laplaciana.
2. Se encontró que si existiese una fuerza mayor que la fuerza de escape de la velocidad de la luz, toda información de la observación dentro de un agujero negro

no podría escapar; y con esto, todo fenómeno observado dentro de un agujero negro sería inobservable para un observador fuera del campo de gravedad del agujero negro.

Entonces una cosa quedaba clara: en estas dos implicaciones, el determinismo estricto no solamente era pragmáticamente descartado sino que además era rechazado por *principio*. Si el acceso a una observación y una determinación estrictas de estados es tanto inaccesible como imposible, entonces es un sinsentido hablar de la determinación universal y absoluto de la legalidad científica.

No obstante, esto no significa que la ciencia deje de ser determinista. En realidad, lo que significa es que el determinismo científico es y ha sido siempre elástico. De esta manera, el determinismo científico en la Mecánica relativista se permite perder en unos puntos límite la posibilidad de la observación experiencial o una observación estricta y única.

- La elasticidad de la concepción del determinismo científico también se hace visible con la llegada de la Mecánica cuántica. La determinación estricta de los estados del electrón de un átomo hizo también evidente la imposibilidad por *principio* de una observación laplaciana. La Mecánica cuántica encontró, a partir del Principio de indeterminismo, que el conocimiento exacto y simultáneo de la velocidad y de la posición de un electrón era inaccesible. El observador interfiere directamente con el resultado de la medición estricta, lo que provoca que no pueda existir una medición del estado de un electrón, en la que el observador sea independiente de la observación. El observador debía considerarse como parte de la medición y no fuera de ella.

La Relatividad y la Mecánica cuántica hicieron evidente que la naturaleza en algunos puntos es indeterminista. El determinismo científico cambió, mas no desapareció. No obstante, el determinismo científico, al perder la completa independencia en la observación

y la posibilidad de un acceso total del conocimiento de un estado, evidenciaba la previsión humeana acerca de la imposibilidad de hablar de una causalidad necesaria ajena al observador. Casualmente, las implicaciones de estas limitaciones tanto científicas como epistemológicas convergen en la observación estricta de los procesos fenoménicos. La causalidad necesaria, la cual justifica al paso inductivo-deductivo, y el determinismo estricto, que sostiene la legalidad mecánica de la ciencia, no eran solamente inaccesibles empíricamente sino que también inverificables. Es aquí donde coinciden los dos rompimientos con la causalidad necesaria.

Ahora bien, ¿es posible decir que estos rompimientos en el determinismo implican un peligro real para la investigación científica? Opino que ni la metodología ni la ontología científica sufren mayor percance. La ciencia y las leyes son por definición deterministas. Aun si se considera que las leyes científicas no son causales, no se alteraría el orden metodológico de la ciencia: las leyes se mantendrán universales y los procesos fenoménicos continuarán siendo eficazmente predichos. La causación fenoménica en las leyes seguirá siendo tan uniforme como hasta ahora lo ha sido. La ciencia pragmática no sufre al perder al observador laplaciano, ya que lo reemplaza con mayor y más exacto conocimiento. Sin embargo, esta no fue la intención del ataque de Hume, ni la de Russell, y tampoco fue el objeto de estudio de esta investigación.

La experiencialidad del universo es ontológicamente causal; no obstante, cuando se habla de las leyes científicas, estas no podrán ser herramientas epistemológicas. Estas serán solamente herramientas epistémicas y/o metodológicas mientras se les siga considerando generalidades inductivas necesarias. Las leyes no logran justificar su paso inductivo-deductivo sin evitar caer en una metafísica. Las leyes no logran por la vía de la experiencia ampliarse universalmente, tanto temporal como espacialmente, y justificar su certeza. Las leyes implican un universalismo pero no lo pueden sostener empíricamente. Y lo más

interesante es que en cuanto más se intente reducir estas leyes, se alejará uno cada vez más de una posible justificación empírica.

Por todo esto, hablé de la causalidad como una sombra en la ciencia, aunque esta implicación solamente es visible cuando se sitúa una distinción entre la metodología, la ontología y la epistemología de la causalidad. La ciencia afirma en su mismo método la realidad óptica y experiencial de la causalidad necesaria. Sin embargo, la causalidad para la ciencia solamente es inferida a través de su forma ideal, es decir, a través de la forma con la que debería de generalizarse la experiencia cotidiana de la causación, pero cuando se le intenta requerir una justificación del universalismo, la ciencia y la filosofía descubren que la causalidad no puede llegar a ser necesaria debido a que este es un requisito epistemológico y no uno ontológico ni uno metodológico. Lo que se ve en realidad es solamente una sombra del ideal de una causación experiencial.

Un buen ejemplo de tipo platónico con el que concluyo esta investigación es el de imaginar a un empirista científico, que al ver la sombra de una casa estando de espaldas a ella, afirma que esta tiene tal forma, tiene tal número de ventanas y puertas, etc., pero cada vez que intenta mirar directamente a la casa para asegurarse de la existencia de ella y de su adecuación con la sombra proyectada, el empirista se encuentra de nueva cuenta con la sombra del objeto reflejado a sus espaldas. El científico no puede más que inferir que la casa que siempre está a sus espaldas debe de tener tal forma en caso que exista, pero no puede asegurar estrictamente que esta exista siempre y necesariamente.

Lo mismo sucede cuando la ciencia habla de la necesidad de la causalidad implícita en la metodología científica. Se sabe cómo debe de verse la causalidad necesaria, también se sabe porqué se espera que esta exista, sin embargo, cada vez que se intenta justificar su existencia empíricamente, la ciencia encuentra su mera sombra. Este fue, después de todo, el fin de la ilusión laplaciana. Esta ha sido la tesis central de esta investigación y es con

ella con concluyo la misma, no sin antes incluir un pequeño texto de Poincaré que explica de alguna forma la relevancia de realizar esta investigación. Dice Poincaré:

“Para un observador superficial, la verdad científica está fuera de toda duda; la lógica de la ciencia es infalible, y si los sabios se equivocan algunas veces, es por haber desconocido sus reglas...De cada experiencia se podrán saber una multitud de consecuencias por una serie de deducciones matemáticas, y de este modo cada una de ellas nos hará conocer un rincón del Universo...He aquí cuál es, para muchas personas, para los estudiantes que reciben las primeras lecciones de física, el origen de la certeza científica. He aquí cómo comprenden el papel de la experimentación y el de las matemáticas...Cuando se reflexiona un poco más se advierte cuál es el lugar ocupado por la hipótesis; se ve que el matemático no sabría pasarse sin ella, y menos el experimentador. Y entonces, uno se pregunta si todas estas construcciones eran realmente sólidas y cree que un soplo va a derribarlas. Ser escéptico de esta manera es ser superficial. Dudar de todo o creerlo todo son dos soluciones igualmente cómodas, pues tanto una como otra nos eximen de reflexionar.”¹⁵⁷

¹⁵⁷ H. Poincaré, *Ciencia e hipótesis* (Espasa: Madrid, 2002), págs. 51-52

BIBLIOGRAFÍA

Nota: Debido a que la bibliografía relacionada con el tema de causalidad y determinismo es muy amplia, sólo incluyo aquí aquellos textos sobre los que se basó esta investigación.

AYER, A. J. (1956). *The Problem of Knowledge*. Londres: Macmillan, pp.1-34

AYER, A. J. (1960). *Logical Positivism* (ed. A.J. Ayer). 3ra reimpr. Glencoe: Free Press.

AYER, A. J. (1968). *The Origins of Pragmatism, Studies in the Philosophy of Charles Sanders Peirce and William James*. Londres: Macmillan.

AYER, A. J. (2001). *Language, Truth and Logic*. Londres: Penguin Books.

BAKER, L. R. (2003). "First-Person Knowledge". En *The Nature and Limits of Human Understanding: The 2001 Grifford Lectures at the University of Glasgow* (ed. A. Sanford). Londres: T&T Clark-Continuum, pp.165-185

BEEBEE, H. (2007). "Hume on Causation: The Projectivist Interpretation". En *Causation, Physics, and the Constitution of Reality, Russell's Republic Revisited* (ed. H. Price y R. Corry). Oxford: Oxford University Press, p. 224-249

BERGMANN, P. G. (1971). "Foundations Problems in General Relativity". En *Problems in the Foundations of Physics* (ed. M. Bunge). Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 49-55

BERKELEY, G. (1988). *Principles of Human Knowledge/Three Dialogues* (ed. R. Woolhouse). Londres: Penguin Books

BROAD, C. D. (1968). *Induction, Probability, and Causation, Selected Papers*. Dordrecht: D. Reidel Publishing.

BUNGE, M. (2007). *A la caza de la realidad, La controversia sobre el realismo* (trad. R. González del Solar). Barcelona: Gedisa editorial.

CAPEK, M. (1961). *The Philosophical Impact of Contemporary Physics*. Princeton: D. Van. Nostrand.

CARNAP, R. (1996). "On the Character of Philosophic Problems" (trad. W. M. Malisoff). En *Logical Empiricism at its Peak: Schlick, Carnap and Neurath* (ed. e introd. S. Sarkar). De <Science and philosophy in the twentieth century, Basic Works in Logical Empiricism, vol.2>. Nueva York: Garland Publishing, pp.59-73

CARNAP, R. (1996). "The Elimination of Metaphysics through Logical Analysis of Language" (trad. A. Pap). En *Logical Empiricism at its Peak: Schlick, Carnap and Neurath* (ed. e introd. S. Sarkar). De <Science and philosophy in the twentieth century, Basic Works in Logical Empiricism, vol.2>. Nueva York: Garland Publishing, pp.10-31.

CARTWRIGHT, N. (2007). "Counterfactual in Economics: A commentary". En *Causation and Explanation* (ed. J. K. Campbell, M. O'Rourke y H. Silverstein). Cambridge: MIT Press, pp. 191-216

CARTWRIGHT, N. (2007). *Hunting Causes and Using Them, Approaches in Philosophy and Economics*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 1-56.

CHALMERS, A. F. (2005). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* (trad. J. A. Padilla, P. López y E. Pérez.), 3a. ed. Madrid: Siglo XXI.

CICERO, R. (2005). "Capítulo 8, El positivismo lógico". En *El legado filosófico y científico del siglo XX* (coord. M. Garrido, L. M. Valdés y L. Arenas). Ediciones Cátedra 2005, pp. 195-204.

DOWE, P. y NOORDHOF, P. (2004). "Introduction". En *Causation and Chance, Causation in an Indeterministic World* (ed. P. Dowe y P. Noordhof). Londres: Routledge, pp. 1-11.

DUHEM, P. (1954). *The Aim and Structure of Physical Theory* (trad. P. P. Wiener). Princeton: University Press.

EAGLE, A. (2007). "Pragmatic Causation". En *Causation, Physics, and the Constitution of Reality, Russell's Republic Revisited* (ed. H. Price y R. Corry). Oxford: Oxford University Press, pp. 156-190.

EDDINGTON, A. S. (1998). "La decadencia del determinismo". En *Los grandes ensayos de la ciencia* (coord. Martin Gardner y trad. A. Ruvalcaba). México D.F.: Editorial Patria-Nueva Imagen, pp. 205 - 224.

EDGINGTON, D. (2004). "Counterfactuals and the benefit of hindsight". En *Causation and Chance, Causation in an Indeterministic World* (ed. P. Dowe y P. Noordhof). Londres: Routledge, pp. 12-27.

EHRING, D., (2004). "Counterfactual theories, preemption and persistence". En *Causation and Chance, Causation in an Indeterministic World* (ed. P. Dowe y P. Noordhof). Londres: Routledge, pp. 59-76.

EINSTEIN, A, (2003). *Cien años de relatividad, Los artículos clave de Albert Einstein de 1905 y 1906* (trad. e introd. A. Ruiz de Elvira). Madrid: Nivola.

ESPINOZA, M. (2006). *Théorie du déterminisme causal*. París: L'Harmattan.

FEIGL, H. (1996), "The Logical Character of the Principle of induction". En *Logical Empiricism at its Peak: Schlick, Carnap and Neurath* (ed. e introd. S. Sarkar). De <Science and philosophy in the twentieth century, Basic Works in Logical Empiricism, vol.2>. Nueva York: Garland Publishing, pp.190-199.

FEYNMAN, R. P. (2005). *El carácter de la ley física* (trad. A. Bosch). Barcelona: Tusquets Editores.

FEYNMAN, R. P. (2007), *Seis piezas fáciles, La física explicada por un genio* (trad. J. G. Sanz). Barcelona: Crítica.

FÉVRIER, P. (1957). *Determinismo e Indeterminismo* (trad. R. Rabiela de Gortari). México D.F.: UNAM.

FRANK, P. (1957). *Philosophy of science: The Link Between Science and Philosophy*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.

FRANK, P. (1998). *The law of causality and its limits* (ed. R. Cohen, trad. M. Neurath y R. S. Cohen). Londres: Kluwer Academic Publishers.

FRIEDMAN, M. (2007). "The Aufbau and the rejection of metaphysics". En *The Cambridge Companion to Carnap* (ed. M. Friedman y R. Creath). Nueva York: Cambridge University Press, pp. 129-152.

GAMOW, G. (2003). *Biografía de la física* (trad. F. Vela). Madrid: Alianza editorial.

GRIBBIN, J. (1993). *En Busca de la Frontera del Tiempo* (trad. L. Bou). Madrid: Celeste Ediciones.

HACYAN, S. (2004). *Física y metafísica del espacio y el tiempo, La filosofía en el laboratorio*. México D.F.: Fondo de Cultura Económica.

HARRIS, E. E. (1965). *The Foundations of Metaphysics in Science* (ed. H.D. Lewis). Londres: George Allen & Unwin, pp. 17-33 y 469-482.

HAWKING, S. W. (2005). *Historia del tiempo, Del Big Bang a los agujeros negros* (trad. M. Ortuño). Madrid: Alianza.

HEMPEL, C. G. (1996). "On the Logical Positivists' Theory of Truth", En *Logical Empiricism at its Peak: Schlick, Carnap and Neurath* (ed. e introd. S. Sarkar). De <Science and philosophy in the twentieth century, Basic Works in Logical Empiricism, vol.2>. Nueva York: Garland Publishing, pp.179-189.

HITCHCOCK, C. (2007). "What Russell Got Right". En *Causation, Physics, and the Constitution of Reality, Russell's Republic Revisited* (ed. H. Price y R. Corry). Oxford: Oxford University Press, pp. 45-65.

HITCHCOCK, C. (2008). "Causation". En *The Routledge Companion to Philosophy of Science* (ed. S. Psillos y M. Curd). Londres: Routledge, pp.317-326.

HOCKWAY, C. (1997). "Logical principles and philosophical attitudes: Peirce's response to James's pragmatism". En *The Cambridge Companion to William James* (ed. R. A. Putnam). Nueva York, Cambridge University Press, pp. 145-165.

HUME, D. (2004). *Investigación sobre el conocimiento humano* (trad. J. de Salas). Madrid: Alianza.

HUME, D. (2005). *Tratado de la naturaleza humana* (trad. y ed. F. Duque) 4a. ed. Madrid: Tecnos.

JAMES, W. (1912). *Essays in Radical Empiricism*. Londres: Longmans, Green, & Co.

JAMES, W. (2003). *Pragmatism, A New Name for Some Old Ways of Thinking*. Nueva York: Banes & Noble Publishing.

KANT, I. (2005). *Crítica de la razón pura* (trad. P. Ribas). Madrid: Taurus, Madrid, pp. 63-120.

KOYRÉ, A. (1994). *Pensar la Ciencia* (trad. A. Beltrán, introd. de C. Solís). Barcelona: Ediciones Paidós-I.C.E U.A.B.

LAPLACE, P. S. (1985), *Ensayo filosófico sobre las probabilidades* (trad. P. Castrillo). Madrid: Alianza.

LEWIS, D. (1979). "Counterfactuals Dependence and Time's Arrow". En *Noûs* 13, pp. 455-476

LEWIS, D. (1973), "Causation". En *Journal of Philosophy* 70, pp. 556-567.

LORENZO, J. de (2002). "Introducción". En H. Poincaré. *Ciencia e hipótesis* (trad. A. B. Besio y J. Hanfi, introd. J. de Lorenzo). Madrid: Espasa, pp. 9-48

LOEWER, B. (2008). "Determinism". En *The Routledge Companion to Philosophy of Science* (ed. S. Psillos y M. Curd). Londres: Routledge, pp.327-336.

MACH. E. (1960). *The Science of Mechanics: A Critical and Historical Account of its Development* (trad. T.J. McCormack), 6a. ed. La Salle: Open Court.

MEYERSON, É. (1930). *Identity and Reality* (trad. K. Loewenberg). Nueva York: Macmillan.

NAGEL, E. (2006). *La estructura de la ciencia, Problemas de la lógica de la investigación científica* (trad. N. Míguez). Barcelona: Paidós.

NEURATH, O. (1959). "Protocol Sentences" (trad. G. Schick). En *Logical Positivism* (ed. A.J. Ayer). Glencoe: Free Press, pp. 199-208.

NORTON, J. D. (2007). "Causation as Folk Science". En *Causation, Physics, and the Constitution of Reality, Russell's Republic Revisited* (ed. H. Price y R. Corry). Oxford: Oxford University Press, pp. 11-44

PEIRCE, C. S (1940). *The Philosophy of Peirce, Selected Writings* (ed. J. Buchler). Londres: Harcourt, Brace and Company.

PEIRCE, C. S. (1957), *Charles S. Peirce, Essays in the Philosophy of Science* (ed. e introd. V. Thomas). Nueva York: Liberal Arts Press.

PEIRCE, C. S. (1998). “La doctrina de la necesidad, examinada” (trad. G. Delacre). En *Problemas de la Filosofía, Textos filosóficos clásicos y contemporáneos* (ed. L. O. Gómez y R. Torretti), 2a. ed. San Juan: Editorial de la Universidad de Puerto Rico, pp. 219-233.

PENROSE, R. (2006). *La nueva mente del emperador* (trad. J. García). Barcelona: DeBOLS!LLO.

PLANCK, M. (1961). *¿Adónde va la ciencia?* (trad. F. Jiménez). Buenos Aires: Editorial Losada.

PLANCK, M. (2000). *Autobiografía científica y últimos escritos*. Madrid: Nivola.

POINCARÉ, H. (1946). *Últimos pensamientos*, Buenos Aires: Espasa Calpe.

POINCARÉ, H. (1964). *Filosofía de la ciencia* (sel. e introd. Eli de Gortari. México D.F.: UNAM.

POINCARÉ, H. (2002). *Ciencia e hipótesis* (trad. A. B. Besio y J. Hanfi, introd. J. de Lorenzo). Madrid: Espasa

POPPER, K. R. (1990). *A World of Propensities*. Bristol: Thoemmes Antiquarian Books.

POPPER, K. R. (2004). *La lógica de la investigación científica* (trad. V. Sánchez). Madrid: Tecnos.

PRICE, H. y CORRY, R. (ed.) (2007). *Causation, Physics, and the Constitution of Reality, Russell's Republic Revisited*. Oxford: Oxford University Press.

PUTNAM, H. (1997). "James's theory of truth". En *The Cambridge Companion to William James* (ed. R. A. Putnam). Nueva York: Cambridge University Press, pp. 166-185

REICHENBACH, H. (1973). *La Filosofía Científica* (trad. H. Flores). México D. F.: Fondo de Cultura Economía.

REICHENBACH, H. (1938). *Experience and Prediction, An analysis of the Foundations and the Structure of Knowledge*. Chicago: University of Chicago Press, pp. 297-302 y 334-363.

REICHENBACH, H. (1946). *Philosophic Foundations of Quantum Mechanics*. Berkeley: University of California Press, pp.1-44.

REICHENBACH, H. (1956). *The direction of time* (ed. Maria Reichenbach), Berkeley: University of California Press.

ROBERTS. J. T. (2006). "Determinism". En *The Philosophy of Science, An Encyclopedia, Volume I A-M*, (ed. S. Sarkar y J. Pfeifer). Nueva York: Routledge, Taylor & Francis Group, pp. 197- 208

ROSENBLUETH, A. (2005). "El método científico". En *Mente y cerebro: una filosofía de la ciencia; seguido de, El método científico*, 3a. ed. México D. F.: Siglo XXI Editores, pp. 157-300.

RUIZ DE ELVIRA, A. (2003). "Introducción". En A. Einstein. *Cien años de relatividad, Los artículos clave de Albert Einstein de 1905 y 1906*. Madrid: Nivola, pp. 9-39.

RUSSELL, B. (1960). "Logical Atomism". En *Logical Positivism* (ed. Ayer). Glencoe: Free Press, pp.31-50.

RUSSELL, B. (1972). *Los problemas de la filosofía* (trad. J. Xirau). Barcelona: Editorial Labor.

RUSSELL, B. (2001). “Sobre la noción de la causa”. En *Misticismo y Lógica, y otros ensayos* (trad. S. Jordan). Barcelona: Edhasa, pp.247-285.

RUSSELL, B. (2002). *El conocimiento humano* (trad. N. Míguez). Barcelona: Ediciones Folio.

RUSSELL, B. (2006). *Religión y Ciencia* (trad. S. Ramos). México D. F.: Fondo de cultura económica.

SALMON, W. C. (1988). “Dynamic Rationality: Propensity, Probability, and Credence”. En *Probability and Causality, Essays in Honor of Wesley C. Salmon, With and Annotated Bibliography by Wesley C. Salmon* (ed. J. H. Fetzer). Dordrecht: D. Reidel Publishing, pp.3- 40

SALMON, W. C. (1998). “La Justificación de las reglas inductivas de inferencia” (trad. R. Torretti). En *Problemas de la Filosofía, Textos filosóficos clásicos y contemporáneos* (ed. L. O. Gómez y R. Torretti), 2a. ed. San Juan: Editorial de la Universidad de Puerto Rico, pp. 373-385.

SÁNCHEZ, J. M. (2001). *Historia de la física cuántica, I. El período fundacional (1860-1926)*. Barcelona: Crítica.

SÁNCHEZ, J. M. (2007). “Edad Contemporánea”. En *Historia de la Ciencia (col. J. Ordóñez, V. Navarro y J. M. Sánchez)*. Madrid: Espasa Calpe, pp.437-618

SARKAR, S. (2008). “Reduction”. En *The Routledge Companion to Philosophy of Science* (ed. S. Psillos y M. Curd). Londres: Routledge, pp.425-434.

SCHLICK., M. (1960). “Positivism and Realism” (trad. D. Rynin). En *Logical Positivism* (ed. A. J. Ayer). Glencoe: Free Press, pp. 82-107.

SCHLICK., M. (1960). “The Foundation of Knowledge” (trad. D. Rynin). En *Logical Positivism* (ed. A. J. Ayer). Glencoe: Free Press, pp. 209-227.

SCHLICK., M. (1960). “The Turning Point in Philosophy” (trad. D. Rynin). En *Logical Positivism* (ed. A. J. Ayer). Glencoe: Free Press, pp.53-60.

SETTLE, T. (1971). “The Relevance of Philosophy to Physics”. En *Problems in the Foundations of Physics* (ed. M. Bunge). Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 145-162.

SPRIGGE, T. L. S. (1997). “James, aboutness, and his British critics”. En *The Cambridge Companion to William James* (ed. R. A. Putnam). Nueva York: Cambridge University Press, pp. 125-144.

STRAWSON, P. F. (1998), “La <justificación> de la inducción” (trad. G. Delacre). En *Problemas de la Filosofía, Textos filosóficos clásicos y contemporáneos* (ed. L. O. Gómez y R. Torretti), 2a. ed. San Juan: Editorial de la Universidad de Puerto Rico, pp. 359-372.

STRAWSON, P. F. (2003). *Escepticismo y naturalismo* (trad. S. Badiola). Madrid: Antonio Machado Ediciones.

SUPPES, P. (1970). *A probabilistic Theory of Causality*. Amsterdam: North-Holland.

TAVEL, M. (2002). *Contemporary Physics and Limits of Knowledge*. Nueva Jersey: Rutgers University Press.

THOMPSON, W. (1891). *Popular Lectures and Addresses, I*. Nueva York: Macmillan, pp.314-315.

THORNE, K. (1995). *Agujeros negros y tiempo curvo, El escandaloso legado de Einstein* (trad. J. García). Barcelona: Crítica.

TOOLEY, M. (2004). "Probability and causation", en *Cause and Chance, Causation in an Indeterministic World* (ed. P. Dowe y P. Noordhof). Londres: Routledge, pp 77-119.

UEBEL, T. (2007). "Carnap and the Vienna Circle: rational reconstructionism refined". En *The Cambridge Companion to Carnap* (ed. M. Friedman y R. Creath). Nueva York: Cambridge University Press, pp. 153-175.

WALLACE, W. A. (1974). *Causality and Scientific Explanation, Volume Two Classical and Contemporary Science*. Ann Arbor: The University of Michigan Press.

WEIL, S. (2006). *Sobre la Ciencia* (trad. S. Mattoni). Buenos Aires: El cuenco de plata.

WHITEHEAD, A. N. (1927). *Symbolism: Its Meaning and Effect, Barbour-Page Lecture, University of Virginia*. Nueva York: Macmillan.

WHITEHEAD, A. N. (1968). *Essays in Science and Philosophy*. Nueva York: Greenwood Press.

WILSON, J. (2006). "Causality". En *The Philosophy of Science, An Encyclopedia, Volume I A-M*, (ed. S. Sarkar y J. Pfeifer): Nueva York: Routledge, Taylor & Francis Group, pp. 90-101.

WISDOM, J. O. (1946). *Causation and the Foundations of Science*. Paris: Hermann et Cie Éditeurs.

WRIGHT, G. H. von, (1957). *The Logical Problem of Induction*. Oxford: Basil Blackwell, pp-1-53.

WRIGHT. G. H. von, (1968). "Broad on induction and probability". En C. D. BROAD. *Induction, Probability, and Causation, Selected Papers*, Dordrecht: Reidel Publishing, pp. 229-271.