

**LA TEORÍA METAFÍSICA DE LA PROPENSIÓN DE LA MECÁNICA CUÁNTICA
DE KARL POPPER**

DAVID COLORADO RODRÍGUEZ

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE HUMANIDADES Y FILOSOFÍA
SAN JUAN DE PASTO
2021

LA TEORÍA METAFÍSICA DE LA PROPENSIÓN DE LA MECÁNICA CUÁNTICA
DE KARL POPPER

DAVID COLORADO RODRÍGUEZ

Trabajo de Grado para optar el título de Licenciado en Filosofía y Letras

Asesor: Dr. IVAN ALEXANDER MUÑOZ

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS
LICENCIATURA EN FILOSOFÍA Y LETRAS
SAN JUAN DE PASTO
2021

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor. **Artículo 1ro del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966** emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

San Juan de Pasto, 11 de enero del 2021

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi asesor el Dr. Ivan Alexander Muñoz, por sus observaciones, preguntas y sugerencias.

Agradezco a los dos jurados evaluadores, el Dr. en filosofía Carlos Emilio García Duque y el Dr. en física Yithsbey Giraldo Úsuga, por el tiempo destinado a leer mi trabajo, por sus comentarios, debate y preguntas.

Agradezco al director del programa de Licenciatura de Filosofía y Letras de la Universidad de Nariño, el Mg. Manuel Enrique Martínez Riascos, por su diligencia y labor.

Agradezco a mi *alma mater* la Universidad de Nariño, por haberme permitido formarme académicamente en sus aulas.

Dedicado especialmente a mis
padres y hermanos.

RESUMEN

La presente monografía consiste en el estudio y descripción de una interpretación alternativa perteneciente al campo de la teoría de la mecánica cuántica, conocida como *teoría metafísica de la propensión de la mecánica cuántica*, y que fue propuesta por el autor austríaco Karl Raimund Popper. Esta interpretación se opone a la interpretación históricamente aceptada por la comunidad científica, y la cual conocemos como interpretación ortodoxa o interpretación de Copenhague. Empezaremos por identificar el trasfondo filosófico y metafísico que subyace en la propuesta propensivista de Popper, y el cual versa sobre la discusión y clarificación de los tres siguientes conceptos: el objetivismo, el realismo y el indeterminismo; bases indispensables de lo el autor denomina ‘programa metafísico de investigación propensivista’ que orienta y regula la interpretación propensivista de la mecánica cuántica. Posteriormente, nos introduciremos en algunos problemas de la teoría del cálculo de probabilidades, pues según Popper, los problemas de la interpretación de la mecánica cuántica proceden de los problemas de la interpretación de la teoría de la probabilidad. Finalmente, abordaremos los asuntos concernientes a la teoría de la mecánica cuántica, considerando que, según el autor, describir la teoría propensivista de la mecánica cuántica equivale a mostrar cómo aquella interpretación alternativa podría superar los problemas epistemológicos y ontológicos que subsisten en la *interpretación ortodoxa*; pues según indicó Popper, en la teoría de la mecánica cuántica la interpretación de Copenhague planteó postulados como el ‘principio de la complementariedad’ de Bohr, que en conjunción con la interpretación subjetiva de la probabilidad, ocasiona serios problemas de índole epistemológica y, principalmente, de índole ontológica, ya que dicho principio insistiría abiertamente en el supuesto carácter ininteligible del mundo subatómico (problema epistemológico), y como si fuese poco, también le estaría confiriendo una suerte de sometimiento o dependencia del estado y estructura de un objeto microfísico a un sujeto observador (problema ontológico).

Si bien la teoría que se expondrá pertenece al campo de la *metafísica* —entre otras cosas porque hasta la fecha, ésta no posee una formalización matemática (o estructura *axiomática*) completa que le permita ser contrastada empíricamente—, como veremos, aquello no representó para su autor un obstáculo insuperable, pues fue un arduo defensor de la metafísica, y esgrimió fuertes argumentos a favor de lo que sería una provisional formulación de las propensiones físicas en términos metafísicos, pues consideró absolutamente factible su posterior desarrollo y culminación como teoría de la ciencia física.

PALABRAS CLAVE: INTERPRETACIÓN DE COPENHAGUE, INTERPRETACIÓN PROPENSIVISTA, MECÁNICA CUÁNTICA, PROBABILIDAD, PROGRAMA METAFÍSICO DE INVESTIGACIÓN, PROPENSIÓN.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	7
I. INTRODUCCIÓN	15
OBJETIVOS.....	19
OBJETIVO GENERAL	20
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
EL CONTEXTO DEL PROBLEMA EN LA FÍSICA MODERNA.....	21
A) LA CONSTITUCIÓN DE LAS TEORÍAS CIENTÍFICAS: FORMALISMO E INTERPRETACIÓN	23
B) EL PAPEL DE LA TEORÍA DE LA PROBABILIDAD EN LOS PROBLEMAS INTERPRETATIVOS DE LA TEORÍA CUÁNTICA	24
C) PRELIMINARES DE LA PROPUESTA PROPENSIVISTA.....	25
D) EL INTERROGANTE EN TORNO A LA MECÁNICA CUÁNTICA	26
JUSTIFICACIÓN.....	28
PARTE I: EL TRASFONDO FILOSÓFICO DE LA FILOSOFÍA DE LA CIENCIA DE KARL POPPER	30
CAPÍTULO 1: EL OBJETIVISMO Y LOS PROGRAMAS METAFÍSICOS DE INVESTIGACIÓN.....	30
1.1. GENERALIDADES FILOSÓFICAS	30
1.2. LA EPISTEMOLOGÍA DEL RACIONALISMO CRÍTICO.....	31
1.3. LA PREGUNTA POR EL CRITERIO DE DEMARCACIÓN EN LAS CIENCIAS EMPÍRICAS	32
1.3.1. El positivismo lógico.....	34
1.3.1.1. La inviabilidad de un presunto <i>principio de inducción</i> del positivismo lógico.....	39
1.3.1.2. Algunas breves críticas de Popper al positivismo lógico	41
1.3.2. Criterios básicos del falsabilismo de Popper.....	49
1.3.2.1. La influencia de Einstein en el criterio de demarcación falsabilista.....	52
1.3.3. Problema de la inducción o problema de Hume	54

1.3.4.	La asimetría lógica entre el verificacionismo y el falsabilismo	60
1.3.5.	El falsabilismo y el carácter conjetural de la ciencia	62
1.4.	LA NOCIÓN DE VERDAD EN POPPER	64
1.4.1.	La teoría de la verdad como correspondencia con los hechos	66
1.4.2.	La concepción semántica de la verdad	67
1.4.3.	Verdad objetiva	68
1.5.	METODOLOGÍA FALSABILISTA DE LAS CIENCIAS EMPÍRICAS	72
1.5.1.	Las diferentes clases de teorías	77
1.6.	REQUISITOS PARA EL DESARROLLO DEL CONOCIMIENTO	78
1.7.	LA EXPLICACIÓN CIENTÍFICA	79
1.7.1.	Hipótesis auxiliares e hipótesis <i>ad hoc</i>	81
1.8.	LOS PROGRAMAS METAFÍSICOS DE INVESTIGACIÓN	86
1.8.1.	La teoría atomista a partir del problema del cambio	88
1.8.1.1.	El cambio como proceso constante según Heráclito	89
1.8.1.2.	Universo en bloque de Parménides	91
1.8.1.3.	El atomismo de Leucipo y Demócrito	93
1.9.	RELACIONES ENTRE LA CIENCIA Y LA METAFÍSICA, SEGÚN EL RACIONALISMO CRÍTICO DE POPPER	94
	CAPÍTULO 2: REALISMO E INDETERMINISMO EN LA CIENCIA	97
2.1.	EL REALISMO SEGÚN EL RACIONALISMO CRÍTICO DE POPPER	97
2.1.1.	El realismo crítico de Popper	100
2.1.2.	La crítica al esencialismo	102
2.2.	DETERMINISMO VS INDETERMINISMO	106
2.2.1.	Tipos de determinismos	107
2.2.2.	Aspectos generales sobre el determinismo	111
2.2.3.	Aproximación al determinismo laplaciano o determinismo «científico»	112
2.2.4.	El carácter indeterminista de la física clásica	114
2.2.4.1.	El determinismo y la causalidad	115
2.2.4.2.	El principio de poder dar razón	117

2.2.4.3.	El determinismo <i>prima facie</i> de la mecánica clásica	119
2.2.4.4.	Características del determinismo «científico»	121
2.2.4.5.	Hadamard y la teoría del caos.....	124
2.2.4.6.	Las teorías como redes.....	128
2.2.4.7.	El pasado y futuro en las concepciones de la ciencia.....	129
2.3.	EL INDETERMINISMO Y LAS PROPENSIONES	139
2.4.	OBJETIVISMO, REALISMO E INDETERMINACIÓN	141
	PARTE II: PROBABILIDAD Y MECÁNICA CUÁNTICA.....	144
	CAPÍTULO 3: PROBABILIDAD	144
3.1.	USOS O SENTIDOS DE LA PALABRA 'PROBABILIDAD'	144
3.1.1.	Los tipos de 'probabilidad' según Carnap	144
3.1.2.	La «probabilidad» de una hipótesis	147
3.1.3.	Probabilidad de un evento (o una hipótesis) en relación con sus oportunidades para ocurrir	154
3.1.4.	Probabilidad inferencial.....	155
3.2.	ASPECTOS GENERALES SOBRE LA PROBABILIDAD	158
3.2.1.	Breves preliminares sobre la probabilidad objetiva según Karl Popper	160
3.2.2.	La probabilidad objetiva en la propuesta propensivista del cálculo de probabilidades.....	161
3.2.3.	Acercamiento parcial a la probabilidad objetiva	161
3.2.4.	Las interpretaciones del cálculo de probabilidad	162
3.3.	LA DEFINICIÓN CLÁSICA DE LA PROBABILIDAD	165
3.3.1.	Los problemas de la probabilidad clásica	166
3.4.	LA INTERPRETACIÓN FRECUENCIAL DE LA PROBABILIDAD	169
3.4.1.	Algunos problemas de la interpretación frecuencial de la probabilidad	171
3.4.2.	Las primeras consideraciones de Popper sobre la probabilidad frecuencial	173
3.5.	LA INTERPRETACIÓN SUBJETIVA DE LA PROBABILIDAD	177
3.5.1.	Las críticas de Popper a la interpretación subjetiva de la probabilidad.....	179
3.6.	LA INTERPRETACIÓN DE LA PROBABILIDAD COMO PROPENSIÓN DE KARL POPPER.....	184

3.6.1. Algunos aspectos problemáticos de la interpretación propensivista de Popper	191
CAPÍTULO 4: MECÁNICA CUÁNTICA Y LAS PROPENSIONES FÍSICAS	200
4.1. MECÁNICA CUÁNTICA	200
4.1.1. Consideraciones preliminares de Popper sobre la teoría cuántica	201
4.1.2. Breves aspectos sobre la teoría cuántica	202
4.1.3. El experimento de las dos ranuras.....	204
4.1.3.1. El carácter de la probabilidad en el experimento de la doble rendija.....	210
4.1.4. La noción de orbital.....	220
4.2. LA INTERPRETACIÓN DE COPENHAGUE	221
4.3. CRÍTICAS DE POPPER A LA INTERPRETACIÓN DE COPENHAGUE.....	225
4.3.1. El realismo en la mecánica cuántica	227
4.3.2. El instrumentalismo en la ciencia.....	230
4.3.3. Las tesis de Popper en el <i>Post Scriptum</i> que controvierten la interpretación de Copenhague.....	233
4.3.4. La probabilidad en la teoría cuántica no es nesciencia.....	261
4.4. LA INTERPRETACIÓN DE POPPER DEL EXPERIMENTO DE LA DOBLE RENDIJA	263
4.5. EL PAPEL DE LA MEDICIÓN EN LA MECÁNICA CUÁNTICA SEGÚN POPPER.....	266
4.6. LAS ‘RELACIONES DE INCERTIDUMBRE’ A PARTIR DE LA INTERPRETACIÓN PROPENSIVISTA DE LA MECÁNICA CUÁNTICA	269
4.7. EL ‘PRINCIPIO DE COMPLEMENTARIEDAD’ Y EL FALSO DUALISMO PARTÍCULA Y ONDA; PLANTEAMIENTOS DESDE LA INTERPRETACIÓN PROPENSIVISTA DE LA MECÁNICA CUÁNTICA.....	274
4.8. LA TEORÍA PROPENSIVISTA DE LA MECÁNICA CUÁNTICA DE KARL POPPER.....	282
4.9. BREVE BALANCE SOBRE LA INFLUENCIA DE LAS IDEAS DE KARL POPPER, EN LA REFLEXIÓN DE LA TEORÍA DE LA MECÁNICA CUÁNTICA.	290
4.9.1. Repaso histórico sobre algunos aspectos significativos que conciernen a las ideas de Popper en la mecánica cuántica	291

4.9.2. Conclusiones sobre el balance de las ideas de Popper en la mecánica cuántica.	304
ADENDA AL TRABAJO DE GRADO ‘LA TEORÍA METAFÍSICA DE LA PROPENSIÓN DE LA MECÁNICA CUÁNTICA DE KARL POPPER’.....	305
5. BREVES COMENTARIOS AL ARTÍCULO: “POPPER Y LA MECÁNICA CUÁNTICA. (COMENTARIOS CRÍTICOS AL <i>III POST SCRIPTUM A LA LÓGICA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA</i>)”	305
BIBLIOGRAFÍA.....	313

LISTA DE ESQUEMAS

	Pág.
ESQUEMA 1. Semejanzas	54
ESQUEMA 2. Explicación científica	75
ESQUEMA 3. Probabilidad de eventos	144
ESQUEMA 4. Perspectivas sobre la «probabilidad» de una hipótesis	150
ESQUEMA 5. Enunciados	151
ESQUEMA 6. Probabilidad inferencial	152
ESQUEMA 7. Argumento intuitivo	153
ESQUEMA 8. Puente lógico-matemático	176
ESQUEMA 9. Cuadro matemático de Auping	210
ESQUEMA 10. El carácter de la probabilidad en la M.C.	214
ESQUEMA 11. Embrollo cuántico	231
ESQUEMA 12. Propuesta temporal de las propensiones	242

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Billar de Duhem	125
Figura 2. Toro de Duhem	125
Figura 3. Cono espacio-tiempo 1	134
Figura 4. Cono espacio-tiempo 2	135
Figura 5. Cono espacio-tiempo 3	135
Figura 6. Experimento con proyectiles	205
Figura 7. Experimento con ondas en agua	206
Figura 8. Experimento con electrones	208
Figura 9. Experimento con electrones (más fuente de luz)	209
Figura 10. Trayectorias	213
Figura 11. Densidad – átomo de hidrogeno	220
Figura 12. Relaciones de dispersión	240
Figura 13. Octaedros	246
Figura 14. Billar Romano	255

I. INTRODUCCIÓN

La *teoría metafísica de la propensión de la mecánica cuántica* de Karl Raimund Popper proviene de lo que él mismo denomina un *programa metafísico de investigación*, término que se refiere a un sistema conceptual de análisis que se nutre de una perspectiva amplia, con el que se examinan los diferentes problemas cosmológicos en los que incurre la investigación científica. En Popper encontramos un dominante interés cosmológico que indaga por la posibilidad de elaborar una imagen unificada de la realidad, pero que también pueda explicar la amplia diversidad de elementos que se encuentran inmersos en el universo. Según el autor: “lo que queremos conocer, comprender, es el mundo, el cosmos. Toda ciencia es cosmología y todas las civilizaciones de las que tenemos conocimiento han tratado de entender el mundo en el que vivimos, incluyéndonos a nosotros mismos y a nuestro conocimiento como partes de este mundo”¹. Pero si bien la ciencia ha sido la herramienta que mejor ha dado cuenta de las explicaciones del mundo, no sería suficiente por sí sola para esto, sino que haría falta todavía una visión más amplia que sólo puede lograrse en vínculo con la filosofía, y en especial con la metafísica, para así lograr satisfactoriamente dicho cometido cosmológico de develar y explicar los secretos del mundo y la naturaleza. De modo que el interés de Popper² es incuestionablemente cosmológico, y para ello forja un *programa metafísico de investigación propensivista*, con el cual poder examinar las diferentes consecuencias que de ella emanan para una interpretación adecuada de la mecánica cuántica; pues según el autor³, con la interpretación de Copenhague la ciencia física afronta una *crisis de comprensión* debido principalmente a: (1) la intrusión del subjetivismo que pone en duda la realidad objetiva, y (2) a la idea de que la física cuántica ha alcanzado una verdad completa⁴.

La mayor preocupación de Popper⁵ respecto a la mecánica cuántica, es la cuestión del *realismo*, el cual encuentra amenazado por la intrusión del subjetivismo proveniente de la física probabilista, y que, según afirma el autor, adquirió importancia para la teoría de la materia con Maxwell y Boltzmann. Si bien Popper⁶ no rechaza el recurso de la teoría de la probabilidad en la física cuántica, encuentra desafortunado que se vincule dicha teoría con una presunta *falta de conocimiento o nesciencia*, especialmente a causa de las fórmulas de ‘relaciones de

¹ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 25.

² *Ibíd.*, p. 53.

³ *Ibíd.*, p. 25.

⁴ Popper denominó a la idea de que la física cuántica ha alcanzado una verdad completa, *la tesis del final del camino*. Sobre esto afirmó: “[...] la tesis parece hoy tan absurda que supongo que pocos físicos creerán que se sostuvo alguna vez, o, si se sostuvo, que fue tomada en serio”. Cita en: *Ibíd.*, p. 31.

⁵ *Ibíd.*, p. 28.

⁶ *Ibíd.*, p. 28.

incertidumbre', que fueron entendidas por la interpretación de Copenhague como "[...] límites a nuestro conocimiento subjetivo"⁷, y no como "‘relaciones de dispersión’ objetivas y estadísticas"⁸. Asimismo, también ve bastante problemático otro postulado de la interpretación de Copenhague: el denominado 'principio de la complementariedad' de Bohr, que, junto con la interpretación subjetiva de la probabilidad, sentenciaría que existen ciertos rasgos incognoscibles del mundo microfísico para nuestro conocimiento humano (problema epistemológico). Y como si fuese poco, este principio establecería cierta dependencia del estado y estructura de un objeto microfísico con relación al sujeto que observa (problema ontológico).

Con la pretensión de solventar dichas dificultades Popper⁹ elabora su teoría de la propensión de la mecánica cuántica, la cual emerge de su *programa metafísico de investigación*, que ofrece planteamientos sobre: el *objetivismo*, el *realismo*, y el *indeterminismo*, elementos principales que conforman aquello que se conoce como el trasfondo filosófico o programa metafísico de investigación de la teoría propensivista, y que para ser adecuadamente comprendidos requieren de un conocimiento —por lo menos global— de la epistemología del *racionalismo crítico* de Popper.

Partiendo de aquellos elementos fundamentales, especialmente del *indeterminismo* de la naturaleza física, Popper¹⁰ elabora una teoría objetiva de la probabilidad como propensiones diseñado para la mecánica cuántica, la cual considera como una superación de la interpretación clásica y frecuencial de la probabilidad, y como una adecuada interpretación que se alza contra las inadmisibles consecuencias de la interpretación subjetiva de la probabilidad, la cual estaría propiciando en la ciencia física una especie de intromisión de la conciencia en el objeto que se investiga. De este modo, Popper¹¹ con su *teoría metafísica de las propensiones* propone para la mecánica cuántica una nueva teoría de la probabilidad como propensiones o tendencias que poseen mayor «peso» que otras posibilidades; que además de ser propiedades físicas y reales, son propiedades relacionales que dependen de la situación objetiva, y con las cuales también sería factible evaluar probabilidades singulares¹², pues no hay que olvidar que estas poseen extrema importancia para

⁷ *Ibíd.*, p. 29.

⁸ *Ibíd.*, p. 29.

⁹ El programa metafísico de investigación de Popper es descrito en los tres volúmenes que conforman el *Post Scriptum a la Lógica de la investigación científica: (I) Realismo y el objetivo de la ciencia*, (II) *El universo abierto: un argumento a favor del indeterminismo*, y (III) *Teoría Cuántica y el cisma en la Física*. En este último volumen el autor enfatizó que para los problemas que suscita la teoría de mecánica cuántica, son fundamentales las siguientes tres cuestiones: el indeterminismo vs el determinismo, el realismo vs el instrumentalismo, y el objetivismo vs el subjetivismo. Véase: *ibíd.*, p. 189.

¹⁰ *Ibíd.*, p. 87.

¹¹ *Ibíd.*, p. 91.

¹² *Ibíd.*, p. 91. Las probabilidades singulares (u ocurrencias) refieren a las probabilidades de sucesos singulares, o probabilidades de casos únicos, o probabilidad de sucesos aislados de los cuales generalmente no se posee un colectivo o sucesión de eventos que pueda indicarnos

la mecánica cuántica debido a la función Ψ que determina la probabilidad de que un electrón posea cierto estado, en ciertas condiciones¹³.

Popper¹⁴ elabora su teoría de la propensión de la mecánica cuántica, como parte de su *programa metafísico de investigación*, pero además reconoce abiertamente, que aquella no ha sido completamente contrastada, pues a pesar de que su teoría manifiesta que puede ser susceptible de contrastación empírica, aquella requiere de ciertos elementos formales todavía no incorporados. Pese a ello, el autor argumenta a favor de una provisional formulación metafísica, pues considera viable su eventual desarrollo, contrastación y finalmente una obtención del estatus científico.

En los siguientes cuatro capítulos que contiene la presente monografía, pretendemos abordar las diferentes cuestiones más significativas de la interpretación propensivista de la mecánica cuántica de Popper. Para dicha labor, recurrimos tanto a la bibliografía del autor, como a una amplia recopilación bibliográfica y de documentación de otros investigadores, profesores y expertos, que abordan algún asunto de nuestro interés, con relación a la descripción de las cuestiones científicas y metafísicas involucradas en la interpretación propensivista de Popper; asimismo, se muestra algunos aspectos del debate en torno a los aportes teóricos del filósofo austriaco en el campo de la teoría de la probabilidad y de la física cuántica.

estadísticamente cuál es la frecuencia relativa (empírica) de dicho suceso en cuestión; un ejemplo sencillo es el caso de calcular la probabilidad de que un sujeto específico x fallezca antes de cumplir 50 años (es un caso singular porque en la experiencia no podemos encontrar estadísticas de cuantas veces ha muerto aquel específico sujeto x antes de cumplir 50 años, y solo queremos calcular dicha probabilidad en relación exclusiva a las particularidades que posee dicha persona). Como veremos en el tercer capítulo, en la sección 3.4.1. de la presente monografía, las ideas de Popper en torno a la probabilidad singular cambiaron una vez que él abandonó la interpretación frecuencial por la interpretación propensivista del cálculo de probabilidades. A partir de la interpretación propensivista del cálculo de probabilidades, las probabilidades singulares pueden describirse como expresiones matemáticas de propiedades relacionales o disposicionales que se atribuyen a los arreglos experimentales estadísticos, por lo cual no requerirían el insumo de colectivos estadísticos, pues bastaría con reconocer las condiciones generadoras para conjeturar matemáticamente —a partir de una teoría probabilística y objetiva como la propensivista— una frecuencia virtual (o frecuencias relativas hipotéticas) que permita calcular la medida de probabilidad del suceso singular. En dicho sentido, la probabilidad singular, puede entenderse como la propensión a que se manifieste cierto suceso específico, bajo ciertas *condiciones generadoras* impuestas por el *arreglo experimental*. Según Popper, la mejor forma de interpretar las probabilidades singulares en la física, es 'interpretarla como propensión física'. Véase: POPPER. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 387-390.

¹³ Véase: MILLER, David, comp. Propensiones, probabilidades y la teoría cuántica. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 216.

¹⁴ Véase: POPPER, Karl. Prefacio de 1982. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 53.

Por otro lado, reconocemos que, en varias secciones de la presente monografía, la descripción que efectuamos se torna un poco repetitiva. Pero esperamos que esto —al menos— pueda servir como recurso mnemotécnico para quien no este familiarizado con la epistemología de Popper; además, conforme avanza la descripción de las cuestiones problemáticas, procuramos ahondar con mayor profundidad en los asuntos ya mencionados. Asimismo, esperamos que los diferentes esquemas, cuadros y figuras, presentes en la monografía, puedan servir como recurso didáctico para comprender más fácilmente algunas ideas o planteamientos complejos.

Por último, se aclara que en la presente monografía no se pretende efectuar una escritura enteramente sistemática, en el sentido de que cada una de las secciones deba poseer un orden estructural que lleve inmediatamente a la siguiente cuestión; consideramos que los problemas teóricos involucrados se desarrollan conforme la necesidad exploratoria de cada uno de los interrogantes que surgen en el camino, por lo cual se advierte que, algunas cuestiones o problemas, nos harán sumergir momentáneamente en otras cuestiones que, quizá tan solo varias secciones más adelante o en otro capítulo, eventualmente, nos resultarán necesarios para comprender ciertos componentes importantes de la teoría propensivista de la mecánica cuántica de Popper. Asimismo, no hay que olvidar que cada problema teórico es un entramado del cual se desprenden numerosas raíces, que de continuarlas incesantemente llevarían a un proceso interminable.

Φ OBJETIVOS

El objetivo principal de la presente monografía es exhibir la teoría metafísica de la propensión de Karl Popper; es decir, presentar los diferentes problemas científicos y metafísicos, entre los cuales surge y se desenvuelve la teoría propensivista. Pues para el racionalismo crítico de Karl Popper¹⁵, la filosofía no consiste en *elucidar*, o aclarar conceptos, en el sentido que sentenciaron alguna vez los positivistas lógicos. Según Popper, la filosofía consiste en la constante tarea de desarrollar problemas e inquietudes, que consiguen, incluso, atravesar otras «disciplinas»¹⁶; porque “no estudiamos temas, sino problemas; y los problemas pueden atravesar los límites de cualquier objeto de estudio o disciplina”¹⁷. De esa manera, se debe entender que mostrar la teoría metafísica de la propensión de Popper, implica reconocer cuáles son aquellos problemas interpretativos de la teoría cuántica que la suscitan, como también, las posibles soluciones que se ofrecen para el campo de la mecánica cuántica. Para dicha labor es necesario: (1) identificar claramente que la teoría propensivista de la mecánica cuántica es una teoría metafísica, que procede de un *programa metafísico de investigación* donde se evalúan los conceptos de: (a) el objetivismo, (b) el realismo y (c) el indeterminismo, y que al ser un programa que intenta remediar ciertos problemas ontológicos y epistemológicos de la interpretación de Copenhague, los enunciados metafísicos interactúan con la ciencia física en la discusión crítica y racional de las teorías; esto último sugiere que, previamente deberemos reconocer cuáles son las posibles relaciones entre la ciencia y la metafísica según el racionalismo crítico de Popper. (2) Se hace necesario inspeccionar cada una de las bases metafísicas del *programa metafísico de investigación* de Popper (es decir, el objetivismo, el realismo, y el indeterminismo) en el que se origina y desprende la propuesta propensivista de la mecánica cuántica. (3) Entender la propuesta propensivista en el campo de la teoría de la probabilidad y de sus interpretaciones, considerando que para Popper los problemas de la teoría cuántica son problemas que refieren inexorablemente a la interpretación del cálculo de probabilidades, y (4) finalmente comprender la forma

¹⁵ Véase: POPPER, Karl. *Conjeturas y refutaciones*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 93.

¹⁶ En varias de las traducciones en español de la bibliografía de Popper, algunas veces se observa ciertas palabras encerradas con los siguientes caracteres ‘«»’, aquello para ciertos casos indica cuando el autor no se encuentra del todo conforme con lo que dicha palabra supuestamente designa; aunque se advierte que esto no siempre es consistente. Por ejemplo, cuando el autor habla de *determinismo científico*, él no considera que el determinismo sea realmente científico; o sucede cuando habla de «probabilidad» en el sentido de grado de confirmación, el cual —según el autor— no sería realmente una ‘probabilidad’ en el sentido del cálculo de probabilidades. En el caso de la «disciplina», es de considerar que, según Popper, la creencia de que las «disciplinas» poseen un objeto de estudio, es engañosa y superficial, pues ‘no estudiamos temas sino problemas y estos pueden atravesar los límites de cualquier «disciplina»’. Según Popper, la consideración de que existen «disciplinas» obedece más bien a razones de conveniencia administrativa, como a la tendencia de constituir sistemas unificados. Véase: *Ibíd.*, p. 95.

¹⁷ *Ibíd.*, p. 95.

en que la teoría propensivista de la mecánica cuántica de Popper afirma solventar aquellos problemas epistemológicos y ontológicos identificados en la interpretación de Copenhague.

Φ OBJETIVO GENERAL

1. Exhibir la teoría metafísica de la propensión de la mecánica cuántica de Karl Popper.

Φ OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar las principales relaciones existentes entre la metafísica y la ciencia según la epistemología del racionalismo crítico; considerando que la teoría propensivista es una teoría metafísica.
2. Reconocer el trasfondo filosófico de la propuesta propensivista de la mecánica cuántica. Dicho trasfondo filosófico lo constituye fundamentalmente: (a) el objetivismo, (b) el realismo, y (c) el indeterminismo.
3. Examinar tres de las principales interpretaciones de la teoría del cálculo de probabilidades que podrían ser empleadas en la interpretación de la mecánica cuántica: frecuencial, subjetiva y propensional.
4. Evaluar a través de la interpretación propensivista los siguientes dos postulados de la escuela de Copenhague: (a) principio de indeterminación y (b) principio de complementariedad.

Φ EL CONTEXTO DEL PROBLEMA EN LA FÍSICA MODERNA

Es un hecho ampliamente reconocido en la historia de la física moderna que únicamente hasta los años comprendidos entre 1925 y 1927 la gran mayoría de físicos sostuvo una férrea visión del mundo de índole determinista o como también suele denominarse, una *concepción clásica* del universo. En pocas palabras, dicha *concepción clásica* —cuyos orígenes pueden remontarse al extraordinario éxito de la física de Newton—, supuso que los hechos causales del universo eran perfectamente comparables al mecanismo de un reloj. Dicha comparación entre un sencillo dispositivo mecánico y el universo resultaba ser completamente razonable y factible, pues todo lo conocido hasta entonces parecía indicar que cada uno de los diferentes objetos, cuerpos o partículas presentes en el vasto universo, obedecían siempre —y de forma ineludible— un orden preciso e impuesto por leyes característicamente universales y preestablecidas. Asimismo, la idea de un posible conocimiento absoluto y mecanicista del universo, provisto de un lenguaje matemático que expresaría las leyes físicas, fue históricamente alentada por el ideal ilustrado del siglo XVII, como también por el éxito de la mecánica de los cielos de Kepler y Newton, circunstancia que indujo a que muchos considerasen que el quehacer del físico y/o científico fuese aceptablemente comparable al trabajo de un relojero, pues en un universo de relaciones causales, la tarea fundamental del científico recaería principalmente en la pretensión de descubrir cómo funcionaba cada uno de los diferentes mecanismos del universo (leyes físicas) involucrados en el complejo funcionamiento del enorme mecanismo universal.

A partir de aquella visión o *concepción clásica*, se consideraba completamente presumible que al identificar aquellas leyes generales que determinaban los hechos causales, se podría adquirir la plena facultad de *predecir* cada uno de los sucesos físicos que acaecen en la totalidad del cosmos: así como un relojero puede predecir la ruptura del mecanismo rotatorio de una manecilla debido al eventual desgaste de un engranaje, el físico podría *predecir* cualquier tipo de fenómeno conociendo simplemente aquellas leyes que interaccionan o influyen en la relación causal y las condiciones que reviste. Cada efecto podría ser entonces explicado a partir de su causa. El universo, el mundo y todo lo que compone la naturaleza física, estaría sometido a ese sólido y rígido orden mecanicista, cuyas expresiones formales y matemáticas, podían ser develadas con ecuaciones (especialmente con ecuaciones diferenciales¹⁸), para finalmente conformar axiomáticamente las leyes de la *física clásica* (así por ejemplo, las leyes de Kepler describirían matemáticamente las órbitas de los planetas en su camino alrededor del sol o la tercera ley de Newton establecería las magnitudes para las fuerzas de acción-reacción entre dos cuerpos); pero si acaso persistía alguna intuición o sospecha acerca de la existencia de leyes aún no descubiertas, aquellas se suponían acordes o compatibles con los demás

¹⁸ Las ecuaciones diferenciales aparecerían en el estudio de la ciencia física gracias a Leibniz y Newton, aproximadamente en 1675.

fundamentos teóricos. De ninguna manera se creyó posible que nuevos descubrimientos científicos controvirtiesen de forma contundente, lo ya establecido por el largo y laborioso camino trazado por la exitosa física gestada por los grandes maestros de la ciencia empírica: Galileo y Newton.

Dicha concepción clásica, perduró férreamente en la física occidental hasta comienzos del siglo XX, pero nuevos descubrimientos mostraban algunas anomalías en dicha concepción. Cuando Max Planck investigaba los problemas de la irradiación de calor que emite el “cuerpo negro” a diferentes temperaturas, llegó al descubrimiento en 1900 de los cuantos de acción; en pocas palabras, la energía no era emitida —o absorbida— de forma continua, sino que venía en paquetes discretos denominados cuantos o quantum. Además, durante la revolución científica que había representado el estudio del efecto foto-eléctrico y la teoría de la relatividad de Albert Einstein en 1905, se comenzó a vislumbrar —con mayor notoriedad— algunas anomalías presentes en la *concepción clásica*. Aun así, la *concepción clásica* del universo persistió en su rasgo más general: el enfoque determinista.

La extensión y alcance del *planteamiento clásico* se vio fuertemente cuestionado tras las investigaciones de Werner Heisenberg, quien en el año de 1927 presentó su famoso principio de incertidumbre o “indeterminación”. En pocas palabras, dicho principio al establecer la imposibilidad de conocer al mismo tiempo un par de variables físicas como lo son (a) la *posición* y (b) el *momento lineal* (ímpetu o *momentum*) de una partícula, ocasionó un fuerte resquebrajamiento de la *concepción clásica*, principalmente, porque hizo supuestamente innegable la existencia de ciertos *límites* en el dominio y campo de realización de las leyes clásicas. De aquel modo emergió un nuevo discurso teórico y experimental que se iría consolidando en la ciencia física, y que se nutriría de las investigaciones de Niels Bohr, Erwin Schrödinger, Albert Einstein, Louis de Broglie, David Bohm, Paul Dirac, etc. Estos nuevos desarrollos de la ciencia física habrían finalmente señalado los problemas insalvables para la *concepción clásica*, debido a que según el nuevo panorama de la física, ya no resultaba posible conocer el universo (en todas sus diferentes escalas o magnitudes) con la misma precisión y exactitud que —por ejemplo— otrora se le atribuía al mecanismo de un reloj; pues, siguiendo la analogía, los nuevos desarrollos mostraban que, en pequeñas escalas (en lo micro), dicho reloj no manifestaba de ninguna manera poseer una precisión absoluta, ya que en consideración de Popper: “[...] quedó claro que procesos ínfimos convertían el reloj en algo impreciso: existían indeterminaciones objetivas. La física cuántica hubo de introducir las probabilidades”¹⁹. En consecuencia, la idea de una imagen clásica, en donde las leyes de la naturaleza resultaban ser las mismas para toda su magnitud y/o escala, parecía desvanecerse por completo. De ahí que los nuevos descubrimientos de la física experimental y teórica, realizados a partir de la segunda década del siglo XX, produjeron una insólita visión del universo que se tornaba cada

¹⁹ POPPER, Karl. Un mundo de propensiones. Madrid: Editorial Tecnos, 1992, p. 23.

vez más extraño y misterioso. Pues a escala macro las leyes de la física clásica resultaban perfectas e ideales, pero a pequeña escala, en lo micro, la física clásica resultaba deficiente. De modo que para el estudio de las micropartículas resultaba imprescindible reemplazar la teoría clásica por una nueva física, la cual hoy en día conocemos como la teoría de la mecánica cuántica.

A. LA CONSTITUCIÓN DE LAS TEORÍAS CIENTÍFICAS: FORMALISMO E INTERPRETACIÓN

La física cuántica emprendió un nuevo y enigmático camino, cuyos resultados experimentales señalaban que poseía un extraordinario poder de predicción y precisión (en todo caso aproximativo) debido a su poderoso formalismo matemático. Así lo afirmó por ejemplo el físico teórico Alberto Clemente:

Uno de los grandes triunfos del formalismo de la mecánica cuántica fue poder explicar con gran precisión los datos experimentales. Pero no sólo tuvo éxito en la descripción del átomo de hidrógeno, también puede calcular los niveles de energía de otros átomos con gran número de electrones. [...] Sin embargo, [...] tan espléndido formalismo no tiene una interpretación clara, sin ambigüedades, universalmente aceptada entre la comunidad de físicos. Nuevamente: estamos haciendo algo bien, pero nadie sabe qué es²⁰.

Dicha circunstancia hizo evidente que la formulación matemática propia de la teoría cuántica no podía ser desechada de buenas a primeras, a pesar de que el significado de cada uno de los elementos que conforman el conjunto de su formulación axiomática no fuese del todo claro y generase diferentes tipos de interpretación. Al respecto, el doctor en física teórica Alberto Clemente de la Torre también expuso lo siguiente: “todas las teorías constan de dos partes, a saber: formalismo e interpretación. [...] La mecánica cuántica es una teoría que tiene un excelente formalismo, pero carece de una interpretación universalmente aceptada”²¹.

De modo que, pese al enorme éxito de la teoría cuántica, no hay una interpretación de aquella teoría que sea enteramente aceptada por toda la comunidad científica.

²⁰ DE LA TORRE, Alberto Clemente. Física cuántica para filo-sofos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica (La ciencia para todos), 2000, p. 58.

²¹ *Ibíd.*, p. 22.

B. EL PAPEL DE LA TEORÍA DE LA PROBABILIDAD EN LOS PROBLEMAS INTERPRETATIVOS DE LA TEORÍA CUÁNTICA

Para desentrañar el embrollo en torno al problema de la interpretación de la mecánica cuántica, el autor austriaco sentenció en su tercer volumen del *Post Scriptum: Teoría Cuántica y el Cisma en la Física* que: “el problema de interpretar la teoría cuántica está ligado al de interpretar la teoría de la probabilidad”²², y a su vez en la compilación realizada por David Miller, en el libro *Escritos Selectos*, ya había afirmado previamente que: “la solución del problema de interpretar la teoría de la probabilidad es fundamental para la interpretación de la teoría cuántica; porque la teoría cuántica es una teoría probabilística”²³.

Según Popper la interpretación de la teoría de la probabilidad constituye un aspecto de vital importancia a la hora de pretender descifrar cada uno de los diferentes enigmas de la mecánica cuántica. Lo anterior conlleva algo: cada interpretación de la teoría de probabilidad que se pueda adoptar en la física cuántica (dígase: subjetiva, frecuencial, o propensional) implica que se producirá cierta predilección de algunas explicaciones sobre otras. Es decir que dependiendo de cuál sea la interpretación del cálculo de probabilidad asumida por el físico experimental en el campo de la teoría cuántica, se forjarán —consecuentemente— ciertas regulaciones para las posibles interpretaciones de lo que a nivel cuántico podría conjeturarse que sucede. No obstante, es de notar que existen diferentes tipos de interpretación sobre la teoría del cálculo de probabilidad, y como habría de suponerse por las denotadas diferencias existentes entre cada una de ellas, conducen a posibilidades de explicación dispares e incompatibles entre sí. Por otro lado, también es de resaltar que no toda interpretación de la probabilidad contribuye a resolver ciertos problemas específicos que repercuten en la teoría de la mecánica cuántica, como sucede por ejemplo con el problema que refiere al análisis de la *probabilidad de los sucesos singulares*²⁴. Y finalmente, no cualquier teoría de la probabilidad permite soportar en la física cuántica, lo que en palabras de Popper²⁵ sería *una imagen coherente e inteligible del mundo*, que sencillamente se refiere a una comprensión menos difusa y perfectamente aprehensible de la teoría cuántica. Considerando lo anterior, se muestra la necesidad de evaluar la teoría de la probabilidad en relación con los problemas interpretativos de la física cuántica.

²² POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 118.

²³ MILLER, David, comp: *Escritos selectos*. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 215.

²⁴ El estudio sobre la probabilidad de los sucesos singulares posee extrema importancia para la mecánica cuántica, porque “[...] la función Ψ (psi) determina la probabilidad de que un solo electrón adquiera cierto estado, en ciertas condiciones”. Véase: *Ibíd.*, p. 216.

²⁵ POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 25.

Popper rechazó fehacientemente —e incluso desde el comienzo de su propuesta filosófica— tanto el uso instrumentalista de las probabilidades, como cualquier tipo de interpretación subjetivista de la probabilidad o sus variantes interpretativas que combinan o mezclan tanto la probabilidad objetiva (que incluye la interpretación clásica y frecuencial) con la probabilidad subjetiva, como es el caso de la probabilidad logicista-subjetiva propuesta por Keynes, circunstancia por la cual el autor austriaco sostuvo a lo largo de su vida, innumerables debates con destacados físicos del siglo XX, entre ellos Heisenberg, Schrödinger, Bohr y Einstein. Según Popper:

“La mayoría adoptó la posición conforme a la cual las probabilidades tenían que ver con nuestra ausencia de conocimiento y, por consiguiente, con el estado de nuestra mente: la mayoría adoptaba una teoría subjetiva de la probabilidad”²⁶.

C. PRELIMINARES DE LA PROPUESTA PROPENSIVISTA

Como veremos en adelante, su negación a las teorías subjetivas de la probabilidad surge en el seno de su propuesta epistemológica conocida como racionalismo crítico, que, en principio, y por razones aún no expuestas, rechaza cualquier tipo de teoría de corte subjetivo. No obstante, dicha circunstancia impulsó a Popper en la idea de elaborar una teoría de la probabilidad y la estadística que fuese objetiva e indeterminista, y que, a su vez, no admitiese en la ciencia ningún tipo de duda sobre la realidad del mundo exterior. Evidentemente Popper anheló construir una interpretación objetiva de la probabilidad, y su *teoría de la probabilidad como propensión* fue la mejor propuesta que durante varios años de esmero y desarrollo logró confeccionar. Mientras la teoría clásica de la probabilidad afirma que: “la probabilidad de un evento es el número de posibilidades favorables dividido por el número total de posibilidades iguales”²⁷, Popper consideró haber ampliado el panorama de la probabilidad al considerar nuevos casos donde algunas posibilidades resultan tener mayor «peso» que otras, o casos, donde la *frecuencia* de los promedios estadísticos permanecería estable si las condiciones no llegasen a variar. La *teoría de la probabilidad como propensión* de Popper considera la existencia de posibilidades con «peso», por lo cual no podría catalogarse como simples posibilidades iguales a otras (casos equiposibles), sino como *disposiciones* o *tendencias* a efectuarse con mayor garantía en la realidad.

Indiscutiblemente la *teoría de la probabilidad como propensión* repercute en la teoría de la mecánica cuántica con una interpretación muy diferente a la propuesta interpretativa realizada por la escuela de Copenhague, y no solo por impugnar el

²⁶ POPPER, Karl. Un mundo de propensiones. Madrid: Editorial Tecnos, 1992, p. 23.

²⁷ *Ibíd.*, p. 25.

concepto de probabilidad tal como es entendida por la estadística ortodoxa (en especial por la interpretación subjetiva, y sus variantes), sino, además, por controvertir postulados como el principio de complementariedad (la dualidad partícula-onda) y las famosas *relaciones de incertidumbre*. Estos postulados serán analizados tanto a la luz de los argumentos filosóficos de la interpretación de Copenhague, como a la luz de las objeciones de Popper.

D. EL INTERROGANTE EN TORNO A LA MECÁNICA CUÁNTICA

Considerando que ha transcurrido cerca de cien años de los inicios de la mecánica cuántica, y que hasta la fecha aún persisten innumerables preguntas en torno a su interpretación, resulta interesante observar que, a pesar de la enorme popularidad de la interpretación de Copenhague, son cada vez más los físicos que exigen una explicación más aprehensible del mundo cuántico. Asimismo, es de considerar que la teoría propensivista de Karl Popper —aunque fue inicialmente expuesta a finales de la década de los cincuenta del siglo pasado— sus primeros desarrollos fueron casi a la par con los avances emergentes realizados por los pioneros de la física cuántica. De modo que cabe preguntarnos lo siguiente: ¿En qué consiste la teoría de la propensión de la mecánica cuántica propuesta por Karl Popper?

En los próximos capítulos trataremos responder aquella pregunta, y efectuar una adecuada aproximación a la *teoría metafísica de las propensiones* de Popper que pueda servir de estudio introductorio a la amplia y compleja cuestión de las propensiones.

Puesto que la teoría de las propensiones de Karl Popper emerge en un contexto indiscutiblemente filosófico, ha de comenzarse —imperiosamente— reconociendo su trasfondo, es decir, se hace necesario identificar cada una de las cuestiones filosóficas y metafísicas que subyacen en la teoría propensivista de la mecánica cuántica, a saber: (a) el objetivismo, (b) el realismo y (c) el indeterminismo. Dichos aspectos serán tratados en la primera parte de la presente monografía, denominado: *Trasfondo filosófico de la filosofía de la ciencia de Karl Popper*, el cual se subdivide en dos capítulos: un primer capítulo donde se recogerá algunas cuestiones y problemas valorados por la epistemología del racionalismo crítico que nos ayudarán a comprender el objetivismo de Popper; cuestiones como el criterio de demarcación, el problema de Hume, el falsabilismo, la verdad objetiva, y el desarrollo de los *programas metafísicos de investigación*, y seguidamente, un segundo capítulo donde se desarrollará cuestiones referentes al *realismo* y el *indeterminismo* popperiano.

La segunda parte de la presente monografía se denomina *Probabilidad y mecánica cuántica*, el cual contiene un tercer capítulo donde se abordará el tema de la

probabilidad, y donde se efectuará una descripción de las principales interpretaciones del cálculo de probabilidades: (I) clásica, (II) frecuencial, (III) subjetivista, y en último lugar (IV) la propuesta propensivista del cálculo de probabilidad; además para cada interpretación se indicará sus primordiales objeciones. Finalmente, en el capítulo cuarto, se abordará una descripción de la mecánica cuántica y de los principales postulados de la interpretación ortodoxa, para finalmente, a partir de la bibliografía de Popper, señalar las diferentes críticas a la interpretación de Copenhague mientras se devela poco a poco los principales aspectos de la propuesta propensivista de la mecánica cuántica, y la forma en que ésta última interpretación alterna considera solventar los problemas ontológicos y epistemológicos que posee la interpretación de Copenhague.

Φ JUSTIFICACIÓN

Pero ¿por qué estudiar la teoría metafísica de la propensión de Karl Popper? Una primera respuesta radica en el simple hecho de que aún en la actualidad, persisten numerosos debates en torno a la interpretación de la teoría cuántica, y la interpretación propensivista ofrece interesantes perspectivas con las cuales abordar dichas problemáticas, a partir de un interesante enfoque que además de recoger las ideas provenientes de la ciencia empírica, no excluye aquellos argumentos metafísicos susceptibles de una discusión crítica y racional. En otras palabras, la teoría metafísica de la propensión de Popper, ofrece nuevas miradas con las cuales evaluar aquellas problemáticas aún abiertas en la ciencia física, como a su vez pretende arrojar luces sobre las posibles soluciones. Circunstancia que hace a la teoría metafísica de las propensiones, merecedora de ser tenida en cuenta, estudiada y discutida en disciplinas como la filosofía de la ciencia, la teoría de la probabilidad y la física.

Por otro lado, resulta importante reconocer que la discusión filosófica de las teorías científicas, puede aportar notoriamente un amplio recurso pedagógico en cuanto a la divulgación del conocimiento científico; y a su vez, una necesaria reflexión en torno a los rasgos, propiedades, características o problemáticas, que usualmente pasan inadvertidas ante la mirada simple o ingenua de quien no incurre en ningún tipo de cuestionamiento filosófico.

En conformidad con el racionalismo crítico de Popper, el análisis filosófico de las teorías científicas resulta ser una labor necesaria e imprescindible para la evolución y desarrollo del conocimiento científico, puesto que dicho tipo de análisis contribuye tanto a la comprensión ulterior de las mismas teorías, como a la necesaria discusión de las problemáticas no resueltas; circunstancia que puede llegar a favorecer un posible aporte de perspectivas alternas, que faciliten la comprensión y/o resolución de aquellas problemáticas identificadas en la ciencia. En dicho sentido, también debemos comprender claramente que mientras emerjan teorías en el terreno de la física, éstas serán susceptibles de ser analizadas, evaluadas y cuestionadas, desde la perspectiva filosófica. Igualmente debemos considerar que la filosofía, desde su propia óptica y a partir de su propio devenir histórico, constantemente ha indagado a las teorías físicas y no siempre conforme con ello, también ha propuesto sus propias teorías en terrenos que le son comunes, caso de la teoría metafísica de la propensión de Karl Popper.

Por último, no hay que desconocer que cada una de las diferentes interpretaciones de la física cuántica, siempre repercute —directa o indirectamente— en alguna visión filosófica que presupone implícitamente ciertas posturas como: el realismo o el anti realismo, el papel *activo* o *pasivo* del sujeto sobre lo que observa, lo que puede ser aprehensible para el conocimiento humano, y aquello que podría ser

considerado determinado o indeterminado, etc. Y, en la historia de la mecánica cuántica, tan sólo ha transcurrido aproximadamente un siglo, periodo que resulta relativamente corto para el desarrollo de una teoría de la ciencia. Por consiguiente, apenas empieza a surgir una asimilación de lo que dicha teoría puede repercutir dentro de la cultura humana. Al respecto, veamos lo que manifestó el doctor en física teórica Alberto Clemente:

La mecánica cuántica es una de las grandes revoluciones intelectuales que no se limita a un mayor conocimiento de las leyes naturales. Un conocimiento básico de esta revolución debería formar parte del bagaje cultural de la población al igual que la psicología, la literatura o la economía política; y esto no es solamente por razones de curiosidad o de cultura general, sino también porque este conocimiento puede tener repercusiones insospechadas en otros campos de la actividad intelectual²⁸.

La indagación por las cuestiones problemáticas de la teoría cuántica, puede facilitar la asimilación de ciertas repercusiones teóricas, y asimismo generar contribuciones en diferentes ámbitos del pensamiento intelectual, académico y científico.

²⁸ DE LA TORRE, Alberto Clemente. Física cuántica para filo-sofos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 2000, p.12.

PARTE I: EL TRASFONDO FILOSÓFICO DE LA FILOSOFÍA DE LA CIENCIA DE KARL POPPER

CAPÍTULO 1: EL OBJETIVISMO Y LOS PROGRAMAS METAFÍSICOS DE INVESTIGACIÓN

1.1. GENERALIDADES FILOSÓFICAS

Para comprender la teoría metafísica de las propensiones de Karl Popper en el contexto particular de la mecánica cuántica, es indispensable recurrir a ciertos conocimientos filosóficos, como a su vez, a ciertos conocimientos formales e interpretativos de la ciencia física. Para tal finalidad se requiere inicialmente reconocer el trasfondo filosófico de la teoría propensivista, o, en otras palabras, el trasfondo objetivista, realista e indeterminista de la filosofía de la ciencia de Karl Popper²⁹. Dicho trasfondo filosófico será nuestro punto de partida por el cual trazar una línea argumental que, poco a poco, señale cada uno de los elementos teóricos requeridos para la comprensión sustancial de la *teoría propensivista de la mecánica cuántica*, como de su particular contraste con la interpretación de Copenhague. Sobre las generalidades filosóficas, vale la pena traer a colación la reflexión del filósofo estadounidense Lawrence Sklar. Según este autor:

Los filósofos que se ocupan de las cuestiones generales de la metafísica, la epistemología y la filosofía del lenguaje descubrirán que la exploración de cuestiones en estos campos, al ser las cuestiones ejemplificadas en los casos particulares concretos de la teoría física, arrojará luz sobre las formas adecuadas de tratar con las cuestiones generales. No se puede avanzar mucho en el entendimiento de las estructuras específicas de las teorías físicas parciales sin utilizar los recursos aportados por quienes exploran las cuestiones más generales y fundamentales de la filosofía. Lo que es más, no se puede realizar ningún claro progreso en estas áreas más generales sin ver cómo se comportan los métodos y las soluciones generales cuando se aplican a casos específicos. Y los casos específicos de los fundamentos filosóficos de la teoría física fundamental son, de nuevo, particularmente adecuados como casos prueba de las vindicaciones filosóficas generales³⁰.

²⁹ Un pequeño panorama general sobre la teoría propensivista de la mecánica cuántica de Popper, y que resalta brevemente este aspecto, es descrito por el especialista en filosofía de la ciencia Edison Restrepo Restrepo. Dicho artículo se encuentra en: RESTREPO, Edison. La interpretación de la mecánica cuántica según Karl R. Popper. Revista Voces. No 8, junio de 2000.

³⁰ SKLAR, Lawrence. Filosofía de la física y filosofía general. Filosofía de la física. Madrid: Alianza Editorial, 1994, p. 23.

Al igual que Lawrence Sklar, consideramos necesario exhibir, primeramente, aquello que él denomina como *cuestiones generales*, que precisamente se refiere a los principales interrogantes epistemológicos debatidos por la filosofía de la ciencia, que para nuestro caso particular versará especialmente sobre la filosofía de la ciencia de Karl Popper. No hay que desconocer que aquellas *cuestiones generales* o aquel *trasfondo filosófico* se encuentran —por lo general— en forma de presupuestos o proposiciones implícitas tanto en cualquier teoría de la ciencia, como en su quehacer investigativo, y lo que nos interesa —especialmente— es descubrir lo que subyace en el debate interpretativo de la física cuántica. Una vez conocidos —por lo menos globalmente— aquellos conocimientos filosóficos que se requieren para la comprensión de la cosmología propensivista de Karl Popper, estaremos más capacitados para comprender tanto los problemas ontológicos y epistemológicos de los cuales, según Popper, adolece la interpretación de Copenhague, como aquella singular respuesta que ofrece la interpretación propensivista en la teoría de la mecánica cuántica.

En éste primer capítulo veremos sucintamente cinco aspectos cruciales de la epistemología del racionalismo crítico de Popper que abarcarían una buena porción del *trasfondo filosófico* de la teoría propensivista de la mecánica cuántica, y que en su conjunto hacen referencia al objetivismo popperiano. Aquellos primeros aspectos son: (1) el criterio de demarcación (o problema de Kant), el cual indica las relaciones o distinciones para los enunciados de la ciencia, la metafísica y la pseudociencia, (2) el problema de la inducción (o problema de Hume) el cual muestra los problemas relacionados con la justificación lógica de los enunciados universales, y por ende, de las teorías de la ciencia, (3) el criterio falsabilista de las ciencias empíricas, el cual recoge las conclusiones de los dos primeros problemas, (4) la idea de verdad objetiva, el cual enfatiza en el carácter conjetural de las teorías, y finalmente (5) la idea de programas metafísicos de investigación. Posteriormente, en el segundo capítulo de ésta primera parte, resulta de crucial importancia completar dicho trasfondo con otras dos importantes generalidades filosóficas que se hallan implícitas en todas las interpretaciones de la física cuántica; en primer lugar la cuestión del *realismo*, pero nos enfocaremos en el realismo de Karl Popper, y en segundo lugar se abordará la cuestión del indeterminismo, que es, sin lugar a dudas, otro gran trasfondo filosófico que subyace en cualquier interpretación de la mecánica cuántica, pero nuevamente nos enfocaremos en descubrir el indeterminismo —*sui generis*— de Karl Popper, el cual es ingrediente indispensable para la interpretación propensivista del cálculo de probabilidades.

1.2. LA EPISTEMOLOGÍA DEL RACIONALISMO CRÍTICO

Karl Raimund Popper (1902 - 1994) fue uno de los filósofos más controvertidos del siglo XX, pues sostuvo en solitario numerosos e intensos debates con destacados científicos de su época, pero también, con círculos filosóficos como el positivismo

lógico y la escuela de Fráncfort; circunstancia que pudo haber influido en que muchos de sus planteamientos fuesen —durante varias décadas— ignorados, rechazados o simplemente malinterpretados. Aun así, hoy en día resulta indudable que persiste la influencia del filósofo austriaco en diferentes disciplinas del conocimiento, entre las cuales se encuentran: la filosofía de la ciencia, la filosofía política, la filosofía de la mente, la teoría de la probabilidad y la estadística, la física, entre otros.

Los primeros interrogantes filosóficos de Popper versaron sobre el modo en que se desarrolla el conocimiento científico. Interés que lo condujo a planteamientos como: a) la concepción falsabilista de las teorías científicas, b) el concepto de *verosimilitud* o aproximación a la verdad³¹, c) el realismo metafísico como presupuesto indispensable para la ciencia, y d) el planteamiento sobre el indeterminismo cosmológico. Por otro lado, es de resaltar que la epistemología de Popper denominada *racionalismo crítico* se opuso fehacientemente a los principales planteamientos del *positivismo lógico*, los cuales consideró extremadamente perjudiciales y peligrosos, principalmente porque: (1) desvalorizaba la importancia de la metafísica, y (2) según aquella postura las teorías obtenían su estatus de científicidad únicamente en la medida en que pudiesen existir observaciones empíricas que las validasen de forma definitiva o —como replantearían tiempo después— que las confirmasen de forma «probable». Por su parte, Popper siempre consideró que el verificacionismo (sea definitivo de Wittgenstein o débil de Carnap) no otorgaba a las teorías el carácter de científicidad, y por ello propuso un nuevo criterio de demarcación de corte falsabilista.

1.3. LA PREGUNTA POR EL CRITERIO DE DEMARCACIÓN EN LAS CIENCIAS EMPÍRICAS

Como sabemos, la epistemología es una disciplina que se ocupa del conocimiento científico y racional, por lo que reflexiona sobre cuestiones como: la investigación científica, el método científico, las condiciones de verdad, la objetividad científica y la evolución de las teorías de la ciencia, etc. Dicha rama del saber, o como también

³¹ Karl Popper en su libro *Conjeturas y refutaciones* (publicado en 1963), innecesariamente —diría él mismo en 1982— propuso otorgarle una *definición formal* o lógica a la “verosimilitud”; no obstante, aquella propuesta fracasó rápidamente a raíz de ciertos errores presentes en su formulación lógica. Según Popper, inmediatamente él supo reconocer dicho error, pero aquel incidente, terminaría siendo interpretado como un vicio insuperable de su propuesta filosófica e indujo a que muchos, eventualmente, rechazaran el concepto de *verosimilitud*. Las afirmaciones de Karl Popper en sus escritos tardíos, especialmente en: *Realismo y el objetivo de la ciencia*, señalan que la idea de “verosimilitud” o como finalmente referenciaría el autor: “similitud con la verdad” seguiría siendo —en el ámbito no formal— válida e importante para la teoría del conocimiento. Al respecto véase: POPPER. *Realismo y el objetivo de la ciencia*. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 39-40.

diría Popper³²: *unidad administrativa*, pertenece propiamente a la filosofía de la ciencia y hace preguntas como: ¿cuáles son los métodos de las ciencias empíricas?, y ¿a qué cosa llamamos ciencia empírica? Estas cuestiones revisten gran importancia según el autor, especialmente a la hora de pretender solventar asuntos como: (a) cuál es el procedimiento característico de las ciencias, y (b) cuál es el criterio que distingue claramente los discursos científicos de aquellos que creen serlo pero que no lo son. Frente a la última cuestión, el autor austriaco consideró que uno de los problemas fundamentales de la *epistemología* se conoce como *criterio de demarcación*, el cual consiste en el problema de encontrar un criterio —o forma— que nos permita distinguir fehacientemente entre los diferentes tipos de enunciados, entre ellos: (1) los enunciados de las *ciencias empíricas*, (2) los enunciados propios de los discursos pseudocientíficos, y (3) los enunciados de los *sistemas metafísicos*. Dicha discusión ha persistido a lo largo de la historia de las ciencias y la filosofía, no obstante, tan solo en el siglo XX a raíz de los revolucionarios adelantos científicos de la física, la astronomía, la química y la biología, es que surge una renovada necesidad por distinguir verazmente las teorías científicas (como tal) de aquellas que simplemente aparentaban serlo. Pues es de recordar que, hasta principios del siglo XX, disciplinas como la alquimia y la astrología, también reclamaban para sí mismas el estatus de científicidad. Además, teorías emergentes en las nuevas ciencias sociales y humanas como la teoría del psicoanálisis de Freud y la teoría de la historia de Marx, se autoproclamaban también como teorías científicas.

Según Popper, durante las primeras décadas del siglo XX muchos científicos consideraron que los discursos de la ciencia empírica estarían determinados por (i) una supuesta *base observacional*³³ y (ii) por el recurso al método inductivo. En tanto que las pseudociencias y la metafísica se caracterizarían por su método especulativo. De aquella manera el problema parecía resuelto. No obstante, surgieron nuevas teorías en la física moderna como la teoría de la relatividad de Albert Einstein, que en palabras de Popper se mostraban: ‘sumamente especulativas y abstractas’³⁴, por lo que se alejaban de aquella supuesta *base observacional*. Por otro lado, la apelación al método inductivo que supuestamente

³² Según Popper: “no hay disciplinas: no hay ramas del saber o, más bien, de la investigación: solo hay problemas, y el impulso de resolverlos. Una ciencia tal como la botánica o la química (o, digamos, la fisicoquímica o electroquímica) es, sostengo, una mera unidad administrativa”. En: POPPER, Karl. Prefacio de 1956. *Realismo y el objetivo de la ciencia*. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 45.

³³ Popper no clarifica que entiende por *base observacional*, no obstante, es completamente presumible que estuviese refiriéndose a las *observaciones inductivas*, es decir, a la circunstancia de partir de *enunciados observacionales* que se obtienen de la circunstancia de ver en repetidas ocasiones cierto fenómeno particular, y que luego es inductivamente extrapolado (situación que por ejemplo se presentó comúnmente en la astronomía del siglo XVII). Véase: POPPER, Karl. *Mis ideas acerca del problema. Conjeturas y refutaciones*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 312.

³⁴ Según Popper, las tentativas por demostrar que la teoría de la relatividad se basaba en “observaciones”, no resultaban ser del todo convincentes. Véase: POPPER, Karl. *Conjeturas y refutaciones*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 312.

caracterizaba a las teorías científicas, pese a diferentes intentos, no encontraba ningún tipo de justificación lógica debido al problema de Hume. De modo que dicho criterio de demarcación no resultaba del todo claro.

1.3.1. El positivismo lógico

Durante las tres primeras décadas del siglo XX se consolidó la corriente filosófica del positivismo lógico, con la presencia de filósofos y lógicos como Rudolf Carnap, Carl Hempel, Moritz Schlick y Wittgenstein; de matemáticos como Gustav Bergman, Kurt Gödel, Hans Hahn; del físico Philip Frank; del sociólogo Otto Neurath, entre otros académicos e intelectuales de la época. La mayoría de aquellos intelectuales pertenecían a un grupo, o círculo intelectual³⁵, denominado *circulo de Viena*, el cual se caracterizó por considerar algunos aspectos como: (a) la importancia de estudiar la estructura lógica del lenguaje científico, (b) la necesidad de diferenciar y separar los enunciados de la ciencia de los enunciados de la metafísica por medio de un denominado *criterio empirista de significatividad o de sentido*; esto implicaría que el criterio de demarcación entre lo que es ciencia y no, sería un *criterio de sentido o significatividad* de corte verificacionista, y (c) que el método inductivo es el método característico de cualquier ciencia; a raíz de esta última tesis, los positivistas lógicos, consideraron inicialmente que es posible evadir el problema de la justificación lógica (o problema de Hume) recurriendo a un denominado *principio de inducción*.

En su primera época, el positivismo lógico (o neopositivismo) planteó un criterio de demarcación de corte *verificacionista* el cual consistió en considerar que una teoría era precisamente *científica* únicamente en la medida en que aquella fuese verificada empíricamente. En consecuencia, aquel verificacionismo, propio del *positivismo lógico*, reclamaba para cualquier teoría científica el uso de la observación y de la experimentación (o prueba empírica), y aquellas serían las condiciones primordiales que permitirían —o garantizarían— la posible confirmación definitiva y absoluta de cualquier teoría científica. Sin embargo, las ideas del positivismo lógico continuaron desarrollándose, y ante las primeras críticas a lo que Popper consideró el verificacionismo ingenuo de Wittgenstein, eventualmente adoptaron una postura más laxa sobre el verificacionismo definitivo (o concluyente) para las teorías de la ciencia, y de la mano de su lógico principal Rudolf Carnap, replantearon aquel “*verificacionismo*” en términos de “*confirmacionismo*”, el cual, según Popper³⁶, no era más que una especie *verificacionismo* (débil) de las teorías que pretendió establecer cuantitativamente una medida sobre la justificación o validez o fundamentación acerca de los grados de certeza que posee una ley o teoría o

³⁵ Se aclara que Wittgenstein nunca formó parte del Círculo de Viena. Véase: PRADA, Blanca. Ciencia y política en Karl Popper. Bucaramanga: Editorial UIS, 2006, p. 255.

³⁶ POPPER, Karl. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 339 y 342.

hipótesis de la ciencia en términos de «probabilidad». Este último sentido de la «probabilidad» que se refiere a las hipótesis, era entendido por Carnap como '*grado de confirmación*' de una hipótesis (i.e. las teorías adquieren un grado de confirmación en tanto superan test empíricos o se acumulan reiteradas observaciones a su favor). Al respecto, Popper controvierte aquella comprensión de Carnap y propone que aquello se le denomine '*grado de corroboración*' de una hipótesis (i.e. las teorías adquieren preferencia provisional sobre otras teorías rivales, en tanto aquella supera las constataciones empíricas o intentos de falsación). Según Popper aquel sentido de la palabra «probabilidad» (nótese las comillas para distinguirlo de otros sentidos), contrario a lo que supuso Carnap, no obedecería las reglas del cálculo de probabilidades, especialmente el axioma de monotonía; por lo cual sugiere Popper, que preferiblemente se le denomine '*grado de corroboración*' para no confundirlo con los otros tipos de probabilidad que si obedecen el cálculo de probabilidades. Como veremos más adelante en la sección 3.1. de la presente monografía, Popper consideró que hay por lo menos tres sentidos en los que se puede hablar de 'probabilidad': (1) «probabilidad» de una hipótesis (el cual no obedece el cálculo de probabilidades) y que el autor prefiere llamar '*grado de corroboración*', (2) probabilidad de un evento (el cual si obedece el cálculo de probabilidades), y (3) probabilidad inferencial (el cual es admisible en el cálculo de probabilidades).

En las diferentes versiones de la postura *verificacionista o confirmacionista* que desarrolló el positivismo lógico (que en su época más desarrollada también se le denominó 'empirismo lógico'), nunca se abandonó enteramente el criterio empirista de significatividad, como tampoco el enfoque inductivista.

En cuanto a la génesis del *criterio de demarcación* verificacionista de los neopositivistas, los enunciados de la ciencia serían únicamente aquellos que poseen *sentido*³⁷, es decir, aquellos enunciados susceptibles de validez o falsedad. Al respecto, veamos a continuación el siguiente ejemplo del filósofo de la ciencia Ulises Moulines:

Para estos filósofos, una proposición tal como «Juan sufre de una infección viral» tiene sentido porque puede verificarse experimentalmente (analizando su sangre, por ejemplo); en cambio, las afirmaciones «Juan tiene un alma inmortal» (afirmación metafísica) o «Juan es muy introvertido porque nació bajo el signo Escorpión» (afirmación astrológica) son en realidad pseudo-proposiciones, es decir, carecen de sentido, porque no hay modo de

³⁷ Según Ulises Moulines el principio de verificabilidad de los positivistas lógicos consideraría que "[...] una teoría es científica si es verificable por la experiencia; y si no lo es, añadían, es que esa teoría es una sarta de sinsentidos, pues solo las proposiciones verificables poseen sentido". En: MOULINES, Ulises. Popper y Kuhn: dos gigantes de la filosofía de la ciencia del siglo XX. Madrid: Bonal letra Alcompas S. L, 2015, p. 48.

verificarlas; a pesar de su apariencia, son igual de absurdas que afirmar «Juan es un babaló» cuando nadie sabe lo que «babaló» significa³⁸.

La *metafísica* al no poseer enunciados con *sentido*, resultaba ser para los *positivistas lógicos* una simple retórica huera, o lo que es igual, pura y llana palabrería con ínfulas de conocimiento; circunstancia que establecería enfáticamente que la metafísica procedería —irremediamente— de un mal uso del lenguaje y de su lógica. De ahí que finalmente la concepción neopositivista, despreciase rotundamente a la *metafísica* por considerarla una suerte de pseudoproblemas generados por un incorrecto empleo de la lógica del lenguaje. Luego no resulta extraño, que el positivismo lógico se encaminase —desde sus inicios— a considerar la necesidad de un lenguaje completamente perfecto o formal para la ciencia empírica.

Si bien resulta evidente que el criterio de demarcación del positivismo lógico fue de corte verificacionista, ya que procuró —ante todo— una confirmación o verificación de los enunciados de las teorías científicas por medio de la experimentación y la observación, es posible profundizar un poco más en ciertos detalles en torno al desarrollo de esta concepción.

- i. Es de conocimiento general que uno de los libros de referencia del positivismo lógico fue precisamente el *Tractatus Logico-Philosophicus* de Ludwig Wittgenstein (publicado en 1921), una obra académica que pretendió trazar un límite al pensar. Dicho límite estaría dado por el lenguaje, pues según la teoría pictórica de la realidad existe una estrecha relación entre el lenguaje, el pensamiento y la realidad. Como es posible apreciar en aquella mencionada obra filosófica, en la lógica se encontraría los cimientos de cualquier posible enunciado, a razón de que la lógica es la condición de posibilidad del pensamiento, que, a su vez, limita y estructura el lenguaje; y si la lógica es la forma del pensamiento también debe ser la forma del mundo, ya que de otro modo no sería posible pensar el mundo. Para el positivismo lógico, los enunciados científicos son aquellos enunciados susceptibles de *sentido* o, en otras palabras, susceptibles de verdad o falsedad; por consiguiente, los enunciados científicos también se caracterizarían por ser enunciados que pueden ser reducidos a su vez a *enunciados elementales* o *enunciados "atómicos"* de la experiencia. ¿Pero qué sucede —según el positivismo lógico— en aquellos casos donde se presentan enunciados no reducibles a *proposiciones elementales*? pues aquellos enunciados simplemente no corresponderían con la realidad, por lo cual se tratarían entonces de enunciados metafísicos, absurdos y *sin sentido*³⁹. Es así

³⁸ *Ibíd.*, p. 48-49.

³⁹ Según Popper: “[...] Wittgenstein trató de demostrar en el *Tractatus* (ver, por ejemplo, sus proposiciones 6.53, 6.54 y 5) que todas las llamadas proposiciones filosóficas o metafísicas, en realidad no son proposiciones o son pseudo-proposiciones: carecen de sentido o significado. Todas las proposiciones genuinas (o significativas) son funciones de verdad de las proposiciones elementales, o atómicas, que describen "hechos atómicos", es decir, hechos que, en principio, es posible discernir por la observación. Si llamamos "enunciado observacional no solamente al

como Wittgenstein trazó una tajante distinción entre la lógica por un lado, y la metafísica por otro, donde esta última solo quedaría reducida —tal y como se afirmó antes— a falsos problemas que ocasionan el mal empleo de la lógica del lenguaje; pues en los *enunciados* de la metafísica subsistirían ciertas proposiciones que no acaecen efectivamente en el mundo real (por lo cual aquellos serían —precisamente— el tipo de *enunciados* que no se pueden descomponer en *enunciados elementales* o enunciados “*atómicos*” de la experiencia). De aquella manera el positivismo lógico consideró que los enunciados metafísicos se encontrarían *per se* imposibilitados para formular *proposiciones* que pudiesen efectivamente describir la realidad experimentable, puesto que en sus *enunciados básicos* persistirían algunos signos enunciativos que no corresponderían en ningún caso, con algún tipo de referente de la realidad.

- ii. En consonancia con la postura de Wittgenstein, el filósofo Rudolf Carnap⁴⁰ en su texto: “La superación de la metafísica mediante el análisis lógico del lenguaje” también afirmó que posturas como el idealismo, el solipsismo, el realismo, etc., son *sin sentidos* porque se encuentran en un nivel diferente a la experiencia (más allá de la experiencia o por debajo de ella). Según Carnap aquellas posturas son especulaciones metafísicas que pretenden obtener conocimiento a través del pensamiento puro o la intuición pura, sin hacer recurso alguno de la experiencia. Al respecto resulta pertinente precisar que para Carnap, quien estuvo en conformidad con Wittgenstein en este punto, la única permisible labor filosófica consistiría en aclarar y dilucidar los problemas ocasionados por el mal uso del lenguaje; problemas que —según él— precisamente estarían siendo forjados por ciertas posturas como las mencionadas anteriormente. De modo que la metafísica fue rechazada por los positivistas lógicos, tanto así que se le atribuyó un enorme peligro que no poseería ni siquiera la poesía, pues para los positivistas lógicos, el poeta a diferencia del metafísico, no pretende en ningún momento hacer valer sus proposiciones sobre las demás, puesto que el poeta entendería que lo que dice es parte de una construcción lingüística en la que emplea un amplio recurso metafórico para la creación de arte. En cambio, sucedería algo muy diferente con el metafísico, quien se consideraría así mismo ubicado en el campo de la teoría y no del arte, y con la plena pretensión de poder invalidar los argumentos de los demás. De ahí que Carnap haya considerado que los poetas no sucumben al engaño, tal y como si lo estarían haciendo constantemente los metafísicos.

enunciado que expresa una observación real sino también a aquel que expresa algo que se podría observar, debemos afirmar (de acuerdo con el *Tractatus*, 5 y 4.52) que toda proposición genuina es una función de verdad de enunciados observacionales y, por lo tanto, deducible de éstos. Toda otra aparente proposición será una seudo proposición carente de significado; en verdad, no será más que una jergonza sin sentido”. En: POPPER, Karl. *La ciencia: conjeturas y refutaciones. Conjeturas y refutaciones*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 64.

⁴⁰ CARNAP, Rudolf. *La superación de la metafísica mediante el análisis lógico del lenguaje*, en: *El positivismo lógico*. México D.F.: Editorial Fondo de Cultura Económica, 1959.

- iii. Carl Hempel otro de los filósofos más representativos del *positivismo lógico*, en su texto: “Problemas y cambios en el criterio empirista del significado”⁴¹, examinó los problemas lógicos que entrañaba una de las tesis principales del *positivismo lógico*, a saber, el *criterio empirista del significado*. En su texto ejecutó una serie de propuestas que ayudarían a superar ciertos inconvenientes presentes en los diferentes criterios de significatividad. Es de precisar que para Hempel, el positivismo lógico contemporáneo propuso como *criterio de verdad* el principio fundamental según el cual una afirmación cognoscitivamente significativa puede ser verdadera o falsa si cumple las siguientes condiciones: (1) no es analítica o contradictoria y (2) es susceptible de ser confirmada por la experiencia. Dichas condiciones representarían precisamente el *criterio empirista de significado cognoscitivo*. La pretensión del mencionado criterio, sería justamente invalidar las formulaciones metafísicas y otorgar cierta garantía lógica a las teorías científicas. Según Hempel, el empirismo lógico se preocupó por realizar una crítica tanto a la filosofía como a las diferentes ciencias con base a su criterio de verificabilidad. Pero también se habría ocupado en analizar con detalle la lógica y la metodología de las ciencias empíricas. No obstante, sucedería que, en el trascurso de aquella tarea, Hempel percibiría que el positivismo lógico requería de una reformulación de su criterio de significatividad, pues resultaba imperioso remediar ciertos problemas precisos encontrados en el planteamiento neopositivista.
- iv. En la segunda época del positivismo lógico, Rudolf Carnap modificó —en cierta medida— algunos de sus primeros planteamientos, y en su artículo “Testability and Meaning” propuso reemplazar el *verificacionismo* por el *confirmacionismo*. En aquella obra, el programa verificacionista absoluto o definitivo promulgado por Wittgenstein, fue sustituido por la búsqueda de una lógica inductiva basada en la teoría de la probabilidad. Según Popper⁴² se creyó que si bien la inducción no podía establecer la certeza de una hipótesis, si podría atribuir a una hipótesis inducida cierto grado de «probabilidad» de que sea verdadera. En términos básicos, Carnap consideró que la «probabilidad» de una hipótesis o su ‘grado de confirmación’ aumentaría con el número de ejemplos (o consecuencias de la hipótesis) observados, o que la confirmabilidad de las teorías aumentaría con su testabilidad empírica; aquí se trata de la confirmación de las teorías por medio de métodos inductivos. Además, en el artículo mencionado, aún persistiría la intención de Carnap de eliminar a la metafísica del lenguaje de la ciencia. De la misma forma, Popper⁴³ también nos informa que Carnap supuso en su libro *Logical Foundations of Probability* que, el grado de confirmación de una hipótesis o su «probabilidad» de ser verdadera, satisfacía el cálculo de probabilidades; en otras palabras, Carnap pretendió construir una probabilidad inductiva en el sentido del cálculo de probabilidades, pues correlacionó la lógica inductiva con una lógica general de la

⁴¹ HEMPEL, CARL; Problemas y Cambios en el Criterio Empirista de Significado, en: La Búsqueda del Significado. Madrid: Editorial Tecnos, 1991.

⁴² POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 257.

⁴³ *Ibíd.*, p. 268.

probabilidad. No obstante, según Popper⁴⁴, Carnap terminó abandonando su teoría de la inducción probabilística aún vigente en su libro *Fundamentacion de la lógica de la física* (1966), en donde Carnap renunció a la idea de que la inducción podría justificar o fundamentar la aserciones de la ciencia, aunque seguiría defendiendo la inducción de otra forma diferente.

1.3.1.1. La inviabilidad de un presunto *principio de inducción del positivismo lógico*

Ante pretensiones como las de Carl Hempel y Carnap de corregir las deficiencias del criterio de significatividad del positivismo lógico, Popper reaccionó con extremada contundencia, y arguyó en repetidas ocasiones que cualquier intento por renovar aquel *criterio cognoscitivo de significatividad* estaría destinado al fracaso. Como veremos más detalladamente en la sección 1.3.3. *Problema de la inducción o problema de Hume*, Popper se apoyó en ciertas reflexiones del filósofo escocés David Hume, quien a su consideración ya había mostrado acertadamente que la inducción no serviría para validar o fundamentar o justificar los enunciados universales que componen las leyes, teorías e hipótesis de la ciencia. De modo que, el criterio de sentido o significatividad de los positivistas lógicos, el cual hace recurso explícito de la inducción, resultaría siempre inadecuado para sus propios intereses, a saber: (i) caracterizar las teorías de la ciencia como verdades *per se* incuestionables o que pueden tornarse «probablemente» incuestionables, y (ii) excluir de la ciencia cualquier tipo de especulación metafísica. Además, Popper señaló que, si acaso pretendiéramos salvaguardar el inductivismo, y ofrecerle validez lógica, tendríamos que apelar a un denominado *principio de inducción* que pudiese posibilitar el empleo admisible de cualquier tipo de inferencia inductiva.

Aunque en el presente apartado todavía no hemos visto en detalle el problema de Hume, es posible aproximarnos un poco a dicho problema. Veamos. Popper cuestionó primeramente la generalización o universalización de los enunciados singulares u observacionales; por ejemplo, si partimos del hecho hipotético de ver un uróboro de color negro, podemos decir entonces que «el uróboro es negro» (enunciado observacional), y luego, después de ver un gran número finito de repeticiones de aquella misma observación, quizá podamos vernos tentados a universalizar esos enunciados singulares u observacionales y afirmar que: «todos

⁴⁴ POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 187. La aseveración de Popper en el primer volumen del *Post Scriptum*, parece corresponder con la siguiente afirmación de Carnap: "La verdad de una conclusión inductiva nunca es seguida. Con esto no quiero decir solamente que la conclusión no puede ser segura porque se base en premisas que es imposible conocer con certeza. Aunque las premisas sean verdaderas y la inferencia sea una inferencia inductiva válida, la conclusión puede ser falsa. Lo más que podemos decir es que, con respecto a las premisas dadas, la conclusión tiene un cierto grado de probabilidad". En: CARNAP, Rudolf. Fundamentación lógica de la física. Buenos Aires: Editorial Sudamericana, 1969, p. 36.

los uróboros son negros» (enunciado inductivo). Según Popper en dicho proceso realmente se estaría incurriendo en un error que no ofrecería ninguna validez lógica, pues realmente tan solo se habría constatado empíricamente un número finito de observaciones subsumiendo en la afirmación los casos no constatados; en otras palabras, siempre persiste la posibilidad lógica según la cual, pese a ver un número elevado (que por cierto es finito) de particulares uróboros, no hayamos visto aquel cuyo color es diferente. De modo que, para poder justificar aquella inducción realizada, tendríamos que apelar a un supuesto *principio de inducción* que nos permitiese ejecutar aquel mismo procedimiento sin incurrir en ningún tipo de error lógico. Según Popper:

“[...] si queremos encontrar un modo de justificar las inferencias inductivas, hemos de intentar, en primer término, establecer un principio de inducción. Semejante principio sería un enunciado con cuya ayuda pudiéramos presentar dichas inferencias de una forma lógicamente aceptable”⁴⁵.

Pero ¿cómo sería dicho principio? Según Popper, de existir un supuesto principio de inducción, aquel no podría ser una verdad lógica como las tautologías o los enunciados analíticos, puesto que, si fuese un principio lógico, entonces no habría ningún problema lógico de inducción, y obviamente, de no existir ningún problema lógico pues sencillamente no habría necesidad de recurrir a un supuesto principio de inducción. Por lo tanto, si ha de existir algún principio de inducción, aquel tendría que ser irremediamente un *enunciado sintético* (o aserción acerca de la realidad), y como sabemos, los *enunciados sintéticos* son *enunciados observacionales* que hablan de los hechos u observaciones, lo que implica que no podría ser justamente un tipo de *enunciado universal* (es decir, hipótesis o conjetura que posee el carácter de ley natural). De manera que, aquel supuesto principio de inducción (que como vemos habría de ser sintético), tendríamos que ser capaces de otorgarle una validez empírica, y —a su vez— ser capaces de universalizarlo, y precisamente, esas fueron las condiciones que —desde un principio— obligaron a requerir de la idea de un supuesto principio de inducción. De modo que el recurso a dicho principio resultaría ineficaz. Pero si aun así continuásemos obstinados en persistir hasta las últimas consecuencias con aquella pretensión de encontrar un principio que pueda validar lógicamente las inferencias inductivas, en continuidad con la reflexión anterior, nos veríamos obligados a recurrir nuevamente a otro principio de inducción pero esta vez de orden superior para que pueda validar al primer o anterior principio de inducción resultante; pero luego acontecería que inmediatamente tendríamos que proseguir porque también requeriríamos de otro principio de inducción de un orden más superior para que se pueda validar ese otro segundo principio de inducción que se generó anteriormente, y así repetidamente habría que dar continuidad a ese mismo proceso según el cual un principio de inducción requiere necesariamente de otro principio de inducción (de nivel superior) que lo valide, por lo cual dicho proceso iría hasta el infinito (*ad infinitum*). De esta manera Popper

⁴⁵ POPPER, Karl. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 28.

concluyó que no es posible que exista un principio de inducción, porque de existir dicho principio, aquel requeriría a su vez de otro principio de inducción que lo valide, y ese, de otro nuevo principio de inducción, y así continuamente; circunstancia que se torna por completo inadmisibles. En correlación con lo anteriormente expresado sobre los problemas que sobrelleva un supuesto principio de inducción, Popper consideró en su libro: *Conjeturas y refutaciones*, que una lógica inductiva debe presuponer: “(a) o bien un regreso infinito (descubierto por Hume), (b) o bien la aceptación (con Kant) de algún principio sintético válido a priori”⁴⁶. En resumen, Popper no consideró posible el principio de inducción, y asimismo tampoco atribuyó validez *a priori* a las conjeturas de la ciencia.

1.3.1.2. Algunas breves críticas de Popper al positivismo lógico

- **La ciencia no parte de la observación:** a diferencia del positivismo lógico Popper no consideró que la ciencia comenzase a partir de la observación o de recoger datos de observación. Para comprender realmente aquello, primeramente, debemos percatarnos de la sencilla circunstancia según la cual no podemos realizar observaciones de forma *pura* o “desnuda”, es decir, que no podemos observar las cosas que suceden a nuestro alrededor sin recurrir previamente a ciertas ideas o teorías científicas, o incluso, a ciertas expectativas. Al respecto Popper en su libro *Conjeturas y refutaciones* ilustra aquel relevante planteamiento de la siguiente manera:

[...] la creencia de que podemos comenzar con observaciones puras, sin nada que se parezca a una teoría, es absurda. [...]. Hace veinticinco años traté de explicar esto —que toda observación se hace a la luz de teorías previas— a un grupo de estudiantes de física de Viena comenzando la clase con las siguientes instrucciones: “tomen papel y lápiz, observen cuidadosamente y escriban lo que han observado”. Me preguntaron por supuesto qué es lo que yo quería que observaran. Evidentemente la indicación “¡Observen!” es absurda. [...]. La

⁴⁶ POPPER, Karl. *Conjeturas y refutaciones*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 350. Al respecto, en *La Lógica de la Investigación Científica* Popper dice: “Kant trató de escapar a esta dificultad admitiendo que el principio de inducción (que él llamaba ‘principio de causación universal’) era ‘válido’ a priori». Pero, a mi entender, no tuvo éxito en su ingeniosa tentativa de dar una justificación a priori de los enunciados sintéticos”. En: POPPER, Karl. *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 29. Además, en el libro *Conocimiento Objetivo*, se refiere a la “Revolución copernicana” de Kant el cual presupone los enunciados sintéticos a priori, y afirmó lo siguiente: “las leyes de la naturaleza son invención nuestra, son genéticamente *a priori* por construcción animal o humana, aunque no son válidas *a priori*. Intentamos de imponerlas a la naturaleza y con mucha frecuencia fracasamos, pereciendo junto con nuestras conjeturas equivocadas. Sin embargo, otras veces nos aproximamos a la verdad lo suficiente como para sobrevivir con nuestras conjeturas”. La anterior cita se encuentra en: POPPER, Karl. *Conocimiento Objetivo*. Madrid: Tecnos, 1974, p. 93.

observación siempre es selectiva. Necesita un objeto elegido, una tarea definida, un interés, un punto de vista o un problema⁴⁷.

Para el *racionalismo crítico* de Popper la *observación* no representa una tarea pasiva del intelecto, pues toda *observación* requiere de una teoría, o de un punto de vista, o de ciertas expectativas, que de alguna manera influyen y repercuten en la singular comprensión de aquello que se observa. Según Popper: “[...] toda observación implica una interpretación, a la luz de nuestro conocimiento teórico”⁴⁸. De modo que *observar*, también implica lanzar cierta mirada específica a la realidad por medio de alguna teoría que incluso puede llegar a condicionar aquella misma *observación*; como también sucede, que la *observación* es una forma de pretender mirar alguna parcela precisa de la realidad a partir de una singular expectativa. De modo que, al contrario de lo que planteaba el positivismo lógico, lo más importante para las ciencias empíricas nunca serán las observaciones, o el recoger datos de observación, sino que lo realmente importante son los problemas, la inquietud y el deseo por responder al enigma. Además es de considerar que en Popper: (1) la *observación* no es ninguna fuente de conocimiento, sino una forma de poder llevar a prueba algo en la experiencia, y (2) que lo más importante no son las *observaciones* sino el enigma, la inquietud y la pregunta, circunstancia que usualmente exige al científico nuevas miradas, y ello reclama una *actitud* crítica y que es activa, incluso sobre aquello que se observa; pues cuando pensamos en el desarrollo de la ciencia, vemos que frecuentemente resulta necesario modificar ciertos conocimientos previos, pues como afirmó Popper:

El conocimiento no puede partir de la nada —de una tabula rasa— ni tampoco de la observación. El avance del conocimiento consiste, principalmente, en la modificación del conocimiento anterior. Aunque a veces podemos avanzar gracias a una observación casual, por ejemplo en arqueología, la significación del descubrimiento habitualmente depende de su capacidad de modificar nuestras teorías anteriores⁴⁹.

- **La observación no es fuente de conocimiento:** en consonancia con lo anterior, a diferencia del positivismo lógico, para Popper la observación no representa una fuente de conocimiento, sino tan solo un recurso para someter a prueba empírica las teorías de la ciencia. Dicha consideración de que la *observación* es fuente de conocimiento (mito baconiano), Popper la rastreó en su forma más manifiesta en las ideas expresadas por Francis Bacon, por ello Popper declaró:

No hemos de olvidar que la función del mito baconiano es la de explicar por qué son verdaderos los enunciados científicos, apuntando para ello que la

⁴⁷ POPPER, Karl. Probabilidad e inducción. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 72-73.

⁴⁸ MILLER, David, comp. Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 51.

⁴⁹ POPPER, Karl. Sobre las fuentes del conocimiento y la ignorancia. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 52.

observación es la ‘verdadera fuente’ de nuestro conocimiento científico. Tan pronto como nos damos cuenta de que todos los enunciados científicos son hipótesis, suposiciones o conjeturas y de que la inmensa mayoría de tales conjeturas (incluida la del mismo Bacon) han resultado ser falsas, el mito baconiano se vuelve irrelevante⁵⁰.

Pero si bien las observaciones no son fuentes de conocimiento, aquellos poseen cierta importancia, pues según Popper: “en el desarrollo de la ciencia, las observaciones y los experimentos cumplen la función de argumentos críticos. Y desempeñan esta función junto con otros argumentos, no observacionales. Se trata de una función importante, pero la significación de las observaciones y los experimentos depende totalmente de que puedan o no ser usados para criticar teorías”⁵¹.

- **El positivismo lógico al negar los enunciados metafísicos también rechazó —sin pretenderlo— los mismos enunciados de la ciencia:** como se reseñó anteriormente, el positivismo lógico consideró en su primera época que los enunciados susceptibles de sentido eran aquellos de los que se podía afirmar su verdad o falsedad, y de aquella forma pretendieron purgar de la ciencia empírica cualquier enunciado de índole metafísico. De aquella manera los enunciados de la ciencia eran aquellos susceptibles de verdad o falsedad, y por ende enunciados reducibles a proposiciones elementales⁵², en tanto que los enunciados metafísicos, al no ser susceptibles de una presumible verdad o falsedad, no serían reducibles a enunciados elementales y por ende —según el positivismo lógico— serían o bien: enunciados sin sentido (absurdos) o carentes de sentido (tautológicos o contradictorios). Ahora bien, debido al problema de Hume y a que no existe principio de inducción, los enunciados universales de la ciencia no pueden ser concluyentemente verificables —como lo creyó el verificacionismo de Wittgenstein—, por lo cual, ni siquiera aquellos mismos enunciados de la ciencia serían reducibles a proposiciones elementales. Por consiguiente, los positivistas lógicos con su exigencia verificacionista, negaron —sin pretenderlo— los mismos enunciados de la ciencia, ya que estos últimos enunciados no serían susceptibles de verificación definitiva. En *La lógica de la investigación científica* Popper afirmó:

[...] los positivistas, en sus ansias de aniquilar la metafísica, aniquilan juntamente con ella la ciencia natural. Pues tampoco las leyes científicas pueden reducirse lógicamente a enunciados elementales de experiencia. Si se aplicase con absoluta coherencia, el criterio de sentido de Wittgenstein rechazaría por carentes de sentido aquellas leyes naturales cuya búsqueda,

⁵⁰ PETERSEN, Arne; MEJER, Jorgen. Comps. *Vuelta a los presocráticos. El mundo de Parménides*. Barcelona: Paidós, 1999, p. 25-26.

⁵¹ POPPER, Karl. *Conjeturas y refutaciones*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 192.

⁵² Véase: *Ibíd*, p. 64.

como dice Einstein, es 'la tarea suprema del físico': nunca podrían aceptarse como enunciados auténticos o legítimos⁵³.

Esta misma crítica —según Popper— igualmente resultaría válida para rechazar la versión sofisticada de verificacionismo (débil) de Carnap nombrada “confirmabilidad”, ya que el mismo problema de Hume, también impediría lógicamente considerar que, por medio de la inducción, las leyes o hipótesis universales puedan incluso adquirir cierto grado de confirmación o «probabilidad» de ser verdaderas (en el sentido del cálculo de probabilidades). Sí la inducción no es válida, entonces no puede fundamentar nada, ni siquiera una supuesta probabilidad inductiva (según Popper tal cosa realmente no existiría); por lo cual, no resultaría siquiera lícito apelar a un principio de inducción para sentenciar que el enunciado inducido es «probablemente válido».

- **Las razones positivas no justifican o validan las teorías de la ciencia:** según Popper⁵⁴, es común la creencia muy divulgada pero errónea el considerar que la inducción científica puede ayudarnos a evaluar la «probabilidad» de una hipótesis; es decir, que a medida que se van recopilando numerosos datos que confirman una teoría, aumentaría la probabilidad de que ésta sea verdadera.

Ante la pregunta de cómo *justificar* racionalmente nuestras hipótesis o teorías o *creencias* de la ciencia, los inductivistas procuraron ofrecer una suerte de *razones positivas*, como la apelación a la observación o la recopilación de evidencia, es decir, de numerosos ejemplos observados de ciertos eventos (o consecuencias de una hipótesis) que favorezcan la *confirmación* de esa misma hipótesis. Dichas *razones positivas* eran para los inductivistas las razones que permitirían sostener y garantizar adecuadamente afirmaciones sobre la verdad o «probabilidad» de una teoría de la ciencia empírica.

Frente a la denominada inducción científica, en primer lugar Popper⁵⁵ rechazó la postura de Carnap en el que el *grado de confirmación* o «probabilidad» se considera en el sentido del cálculo de probabilidades, o como probabilidad inductiva; según Popper⁵⁶ no habría probabilidad inductiva⁵⁷, y como aquella supuesta «probabilidad» (que no sería realmente probabilidad porque no obedece el cálculo de probabilidades) se ha asociado erróneamente a lo que comúnmente se

⁵³ POPPER, Karl. El problema de la demarcación. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 36.

⁵⁴ *Ibíd.*, p. 51-52.

⁵⁵ *Ibíd.*, p. 71.

⁵⁶ *Ibíd.*, p. 372.

⁵⁷ Según Popper: “no existe la inducción probabilística. La experiencia humana, en la vida cotidiana, así como en la ciencia, se adquiere fundamentalmente por el mismo procedimiento: la libre, injustificada e injustificable invención de hipótesis o suposiciones o expectativas y su subsiguiente contrastación”. POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 294.

denomina «probabilidad» de una hipótesis, entonces el autor sugiere que se le denomine a ello, más bien, 'grado de corroboración'.

En segundo lugar, Popper no encontró en aquella pretensión inductivista de buscar *razones positivas* (o justificativas) —que permitiesen fundamentar los grados de certeza o verdad de cierta teoría— una tarea que fuese lícita, pues según el autor austriaco, realmente no se puede “*justificar*” en aquel mismo sentido positivista, porque sencillamente la inducción no justifica lógicamente nada (como lo demuestra la respuesta H_L de Hume); entonces tan solo podríamos buscar *razones críticas* por las cuales defender la preferencia de una hipótesis sobre otras. Dicha preferencia se obtendría si la teoría evaluada mostraría ser capaz de resistir más la crítica y la refutación empírica mejor que otras teorías rivales, y no precisamente por *razones positivas*. Según Popper:

El conocimiento, especialmente el conocimiento científico, progresa a través de anticipaciones injustificadas (e injustificables), de presunciones, de soluciones tentativas para nuestros problemas, de conjeturas. Estas conjeturas son controladas por la crítica; esto es, por intentos de refutaciones, entre las que se cuentan test severamente críticos. Ellas pueden sobrevivir a estos test, pero nunca pueden ser justificadas categóricamente: no se las puede establecer como indudablemente verdaderas, ni siquiera como "probables" (en el sentido del cálculo de probabilidades)⁵⁸.

En aquella medida, mientras los positivistas lógicos ofrecieron una solución positiva al problema de la inducción al considerar que es perfectamente posible justificar la preferencia de una teoría por medio de *razones positivas*, Popper por su parte brindó una solución negativa, al considerar que no se puede *justificar* de ninguna manera la certeza de cierta teoría, ya que una vez se acepta la crítica lógica H_L de Hume al problema de la inducción, no sería lícito *justificar lógicamente* la verdad o «probabilidad» de las afirmaciones de una teoría con la simple recopilación de numerosos casos observados.

No obstante, es de recordar que, con el transcurrir del tiempo, según informó Popper⁵⁹ en el primer volumen del *Post Scriptum*, Carnap terminó por abandonar su teoría de la inducción probabilística, la cual defendió de forma diferente en su libro *Fundamentacion de la lógica de la física* (1966), en donde señaló que la inducción no puede garantizar o dar 'certidumbre' a una ley universal.

- **El positivismo lógico promovió una actitud dogmática:** puesto que el positivismo lógico consideró que las teorías de la ciencia son susceptibles de verificación (definitiva o débil) promovió en la ciencia una actitud dogmática, según la cual es posible conocer con certeza o con mucha «probabilidad» la veracidad de una teoría. El racionalismo crítico de Popper, contrario a lo que sugiere la postura

⁵⁸ POPPER, Karl. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 13.

⁵⁹ Véase nota 44 de la presente monografía.

positivista, considera que las teorías de la ciencia no deben divulgarse como si fuesen dogmas o verdades que se tornan inquebrantables en el tiempo. En palabras de Popper: “las teorías no se transmiten como dogmas, sino más bien con el estímulo a discutir las y mejorarlas”⁶⁰.

Según Popper toda teoría científica es susceptible de ser falseada al ser sometida a contrastación empírica, y por ende nunca puede tomarse como si se tratase de una verdad absoluta o con creciente «probabilidad» que se afianza o consolida en el tiempo. Desde la perspectiva de Popper, podemos decir que una teoría de la ciencia resulta tentativamente preferible a otras en un momento específico del tiempo, en tanto que esta ha sido más *corroborada* o posee mayor *grado de corroboración* (i.e. en tanto resiste más la discusión crítica y la refutabilidad empírica o los test severamente críticos que otras teorías), pero una teoría de la ciencia no podría obtener certeza, ni una mayor «probabilidad» o *grado de confirmación* —como lo entendió el positivismo lógico— por medio del recurso inductivo (i.e. con la mera recopilación de eventos a favor de la hipótesis, o con la superación de numerosos test empíricos). La razón de ello es que contrario a lo que supuso Carnap, una lógica inductiva no sirve para la construcción de una lógica de la probabilidad general, que pueda emplearse para señalar la validez de una hipótesis de la ciencia, porque el axioma de monotonía del cálculo de probabilidades lo impide.

Según Popper⁶¹ es un error muy común considerar que en la ciencia estamos interesados en teorías con alta probabilidad, cuando en realidad el desarrollo de la ciencia nos indica que debemos estar interesados en teorías con mayor grado de corroboración. Popper afirmó:

“[...] una elevada probabilidad no puede ser uno de los objetivos de la ciencia. Pues el científico está más interesado en las teorías con un alto contenido informativo. No se ocupa de trivialidades altamente probables, sino de hipótesis audaces y severamente testables (y severamente testadas). Si (como dice Carnap) un alto grado de confirmación es uno de los propósitos de la ciencia, entonces no se puede identificar el grado de confirmación con la probabilidad⁶².”

Según el autor, las hipótesis de la ciencia realmente se encaminarían hacia un mayor contenido enunciativo, y no como suele pensarse hacia una mayor probabilidad en el sentido del cálculo de probabilidades. De hecho, las teorías e hipótesis de la ciencia, al poseer mayor contenido enunciativo serían más improbables (en el sentido del cálculo de probabilidades).

La creencia intuitiva de que conforme que se van acrecentando los ejemplos a favor una teoría, aumentaría su probabilidad de ser verdadera en el sentido del cálculo

⁶⁰ POPPER, Karl. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 77.

⁶¹ *Ibíd.*, 85-86.

⁶² *Ibíd.*, p. 337.

de probabilidades, no podría ser amparada por el cálculo de probabilidades porque los ejemplos evidenciales son finitos, y en un universo infinito, nada garantiza que aparezca algún nueva evidencia que no esté contemplada por la hipótesis inductiva, y por ende, que pueda contradecirla; y porque esto conduciría, según Popper⁶³ a la circunstancia de que la probabilidad no sería ampliativa, y por tanto ésta no sería inductiva.

Aunque jamás sea posible justificar o validar la certeza de una teoría de la ciencia y consolidarla perpetuamente en el tiempo apelando a una presunta «probabilidad» o grado de confirmación, gracias a la crítica racional y a la refutabilidad empírica que procuran una constante *corroboración* de las teorías, es que resulta posible justificar la predilección temporal (y no precisamente justificar la certeza a lo largo del tiempo) de una teoría al compararla críticamente con otras teorías que compiten en la explicación de ciertos sucesos físicos.

El grado de corroboración de una hipótesis, a diferencia de la «probabilidad» o grado de confirmación de Carnap, insiste constantemente que toda teoría es susceptible de ser falsada, que las teorías pueden fracasar en cualquier momento y por ende ser reemplazadas por otras; en esa medida el desarrollo de la ciencia solo se daría a través del constante proceso de ensayo y error. En su libro *Conjeturas y refutaciones* Popper afirmó que:

“[...] la actitud dogmática está claramente relacionada con la tendencia a *verificar* nuestras leyes y esquemas tratando de aplicarlos y confirmarlos, hasta el punto de pasar por alto las refutaciones; mientras que la actitud crítica es una disposición a cambiarlos, a someterlos a prueba, a *refutarlos*, si es posible”⁶⁴.

Además, como señaló previamente el autor en *La lógica de la investigación científica*:

“La ciencia no es un sistema de enunciados seguros y bien asentados, ni uno que avanzase firmemente hacia un estado final. Nuestra ciencia no es conocimiento (epistemé): nunca puede pretender que ha alcanzado la verdad, ni siquiera el sustituto de ésta que es la probabilidad”⁶⁵.

- **El criterio de demarcación no es un criterio de significatividad o de sentido:** el criterio de demarcación que pregunta por la forma de distinguir adecuadamente entre aquello que pertenece a la ciencia y lo que no pertenece a ella (pseudociencia o metafísica), según Popper, no versa en el criterio de significatividad o de sentido de los positivistas lógicos, el cual pretendió derribar los enunciados metafísicos.

⁶³ POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 40.

⁶⁴ *Ibíd.*, p. 76-77.

⁶⁵ POPPER, Karl. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 259.

Popper⁶⁶ indicó que su criterio de demarcación falsabilista fue malinterpretado como un criterio de significatividad o de sentido en el texto de Carnap “Testability and Meaning”. El criterio de demarcación falsabilista de Popper⁶⁷ no distingue los enunciados científicos desde el punto de vista del *sentido*, como tampoco rechaza la metafísica, sino que es un criterio que procura ante todo distinguir adecuadamente cuáles enunciados son asuntos que merecen ser estudiados y desarrollados por la ciencia empírica, y cuáles no.

- **Contrario a lo que supone el positivismo lógico la metafísica no debe despreciarse, sino que antes bien debe reconocerse que ella es incluso origen de muchas teorías de la ciencia:** a diferencia del positivismo lógico que despreció enteramente los enunciados metafísicos (o enunciados no testables empíricamente), por considerarlos sin sentido (absurdos) o carentes de sentido (analíticas o contradictorias), el racionalismo crítico de Popper⁶⁸ consideró que incluso muchas teorías de la ciencia emergen de enunciados o especulaciones en principio metafísicas, como por ejemplo el atomismo y la teoría corpuscular de la luz. Por ello Popper afirmó:

[...] sería inadecuado trazar la línea de demarcación entre la ciencia y la metafísica de modo, tal que se excluyera a ésta de un lenguaje significativo como carente de sentido [...] no debemos tratar de trazar la línea de manera demasiado tajante. La necesidad de ello se comprenderá con mayor claridad si se recuerda que la mayoría de nuestras teorías científicas se originan en mitos⁶⁹.

Si bien los enunciados metafísicos no son susceptibles de validez o falsedad empírica, aquellos enunciados —según el racionalismo crítico— si pueden ser discutidos racionalmente, siempre y cuando obedezcan a un interrogante preciso del cual sea posible efectuar dicha discusión crítica. Además, según Popper⁷⁰, aquellos mismos enunciados pueden desarrollarse hasta finalmente adquirir un carácter contrastable. Por ello el autor señaló que: “la ciencia, pues, debe comenzar con mitos y con la crítica de mitos; no con la recolección de observaciones ni con la

⁶⁶ POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 235. Véase la nota 2 de aquella obra.

⁶⁷ POPPER, Karl. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 37.

⁶⁸ POPPER, Karl. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 314.

⁶⁹ *Ibíd.*, p. 313-314.

⁷⁰ Popper en *La Lógica de la Investigación Científica* también ofrece otro argumento a favor de los enunciados metafísicos, y el cual es de índole psicológico, pues afirmó que: “[...] si miramos el asunto desde un ángulo psicológico, me siento inclinado a pensar que la investigación científica es imposible sin fe en algunas ideas de una índole puramente especulativa (y, a veces, sumamente brumosas): fe desprovista enteramente de garantías desde el punto de vista de la ciencia, y que —en esta misma medida— es ‘metafísica’”. En: POPPER, Karl. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 38.

invención de experimentos, sino con la discusión crítica de mitos y de técnicas y prácticas mágicas”⁷¹.

1.3.2. Criterios básicos del falsabilismo de Popper

En la primera gran obra filosófica de Karl Popper: *La lógica de la investigación científica* (1934), el autor desenmascaró el criterio positivista del significado o sentido (o criterio empirista de significatividad cognoscitivo), como un criterio dogmático, ya que dicho criterio planteó inicialmente que las teorías de la ciencia pueden ser enteramente concluyentes respecto a su verdad o falsedad, y posteriormente, que una teoría de la ciencia puede adquirir cierto grado de «probabilidad» de ser cierta y de esa manera consolidarse en el tiempo; además, esta versión sofisticada de confirmabilidad de las teorías en términos de «probabilidad», aún seguiría sujeta al dogma empirista de la significatividad, y por lo demás, insistiría en su recurso de la lógica inductiva, el cual realmente sería poco fiable.

En reacción a las diferentes versiones de verificacionismo que defendieron los positivistas lógicos, Popper propuso un nuevo *criterio de demarcación*, al cual, él mismo denominaría como: *criterio falsabilista de demarcación*⁷². Según este nuevo criterio, no sería nunca posible justificar lógicamente —ni de forma definitiva, ni «probable»— la validez de los enunciados que auténticamente pertenecen a las teorías de la ciencia empírica. En completa oposición a los criterios de significatividad o *sentido* de los positivistas lógicos, el falsabilismo de Popper considera que los auténticos enunciados que pertenecen a la ciencia, realmente, nunca serían susceptibles de expresar verdades últimas o acaso «probables» como aseveró el “verificacionismo” débil de Carnap; por lo cual no sería posible afirmar adecuadamente algo como: ‘aquellos enunciados fueron absolutamente *verificados* o *constatados* como verdades definitivas o certezas por los procedimientos experimentales’ o ‘aquella teoría al ser confirmada por numerosos test empíricos es probablemente verdadera (en el sentido matemático del cálculo de probabilidades)’.

⁷¹ POPPER, Karl. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 77.

⁷² En la introducción de 1982 al libro *Realismo y el Objetivismo en la Ciencia*, Popper afirmó que él nunca empleó el término ‘falsacionismo’ y que dicho término fue empleado por algunos académicos e intelectuales para expresar una visión global de su propuesta falsabilista. El ‘falsacionismo’ (que no es propiamente de Popper) considera lo ‘falsable’ únicamente en el sentido técnico (o práctico) de la *falsabilidad empírica*, o de la *refutación empírica*, lo cual, es un error. En esa medida, el ‘falsacionismo’ correspondería muchas veces a una interpretación enteramente distorsionada de su propuesta falsabilista de las ciencias empíricas, en tanto que no distinguiría adecuadamente que la falsabilidad como criterio de demarcación, no es empírica (tal y como suele suponerse), sino lógica. Véase: POPPER, Karl. Introducción de 1982. *Realismo y el objetivo de la ciencia*. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 36.

El falsabilismo de Popper considera que los enunciados de la ciencia —pese a no poder ser verificables—, pueden ser claramente identificados o reconocidos por ser enunciados que son lógicamente susceptibles de ser falsables; pues en lo que respecta al *criterio de demarcación*, los enunciados que efectivamente pertenecen a la ciencia empírica, serían por condición: *lógicamente falsables*. De modo que, a partir de esta nueva perspectiva, el investigador o científico, en vez de buscar distintos hechos empíricos que confirmen una teoría, debería enfocarse primero en asuntos como: (a) examinar si aquellos *enunciados base*⁷³ que contiene la teoría son auténticamente científicos, es decir, evaluar si son lógicamente falsables, y de ser así, luego (b) buscar aquellos hechos o circunstancias de la naturaleza, que puedan falsar o negar la teoría, es decir, procurar una *refutabilidad empírica* o contrastación.

Lo anterior podría parecer extraño, pues (1) se tiende a considerar que los científicos buscan hechos que validen sus hipótesis y no formas de contradecir sus propias teorías, y (2) suele pensarse que el desarrollo del conocimiento científico avanza debido al aumento histórico o progresivo de verdades, y no precisamente, como finalmente estaría referenciando Popper, por depuración de errores o método de *ensayo y error*.

Frente al primer asunto, es de comprender claramente que el criterio falsabilista de Popper es —ante todo— un *criterio lógico*, que sirve para distinguir cuáles enunciados pertenecen auténticamente a la ciencia y cuáles no; pero no por ello, habría que desconocer que dicho criterio también poseería varias e importantes implicaciones en diferentes campos como, por ejemplo, en la ética y en la política. Asimismo, en lo que respecta al quehacer científico, no hay que desconocer que el falsabilismo demandaría cierta *actitud*⁷⁴ específica del investigador frente a sus propias teorías e ideas; una *actitud* que por cierto, debe ser primordialmente *crítica*, o mejor dicho, *autocrítica*, pues en contraposición a cualquier postura dogmática que el investigador pudiese adoptar en la ciencia, el buen científico (o el investigador crítico), nunca debería reducir su interés investigativo, a la mera exclusividad de

⁷³ Popper afirmó: “llamo ‘enunciado básico’ o ‘proposición básica’ a un enunciado que puede servir de premisa en una falsación empírica: brevemente dicho, a la enunciación de un hecho singular”. En: POPPER, Karl. *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 42.

⁷⁴ El autor austriaco en sus *escritos tardíos* señaló dos sentidos de su propuesta filosófica sobre la falsabilidad. El primer sentido, la falsabilidad lógica, se refiere al *criterio de demarcación*, y versa exclusivamente en la relación lógica entre los enunciados de la ciencia y sus condiciones. El aspecto técnico o práctico de la falsabilidad, se refiere al segundo sentido, la refutabilidad empírica. Según el primer sentido de la falsabilidad de las ciencias, la *falsabilidad lógica*, el científico debe buscar *falseadores potenciales*, y ello implica cierta *actitud*, que podemos describir con palabras de Popper de la siguiente manera: “[...] podemos exigir que cualquiera que defienda el carácter empírico-científico de una teoría sea capaz de especificar bajo qué condiciones estaría dispuesto a considerarla falsada, es decir, tendría que ser capaz de describir algunos falseadores potenciales”. En: POPPER, Karl. *Introducción de 1982. Realismo y el objetivo de la ciencia*. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 25.

pretender demostrar, justificar o confirmar⁷⁵ su teoría con la simple recopilación de hechos singulares de observación que se encuentren acordes con su hipótesis, sino que —y esto es lo realmente importante— debe permitir y facilitar, la susceptibilidad lógica de que su teoría pueda ser falsada, y ello solamente se logra, posibilitando lógicamente una eventual confrontación entre su conjetura y la experiencia; es decir, el científico debe consentir formas de generar posibles conflictos entre los supuestos (o *enunciados básicos*) presentes en su teoría, y la realidad empírica o experimentable; pues finalmente, una teoría que se encuentra lógicamente aislada de cualquier posible crítica o bien se trata de una teoría dogmática y/o de una teoría que es completamente irracional. Al respecto, el profesor colombiano Adolfo León Gómez, en su interesante ensayo: “Lógica, lógica del conocimiento y filosofía en K.R. Popper”, despliega algunas bases del criterio de falsabilidad de Karl Popper, y al respecto declaró que: “[...] una teoría que no es refutable por ningún acontecimiento concebible no es científica; la irrefutabilidad no es una virtud de una teoría (como, generalmente, se piensa), sino un vicio”⁷⁶.

Frente al segundo asunto, si bien suele pensarse que el desarrollo del conocimiento científico avanza debido al aumento de verdades, lo cierto es que las teorías de la ciencia, no se caracterizan por otorgar verdades completas, definitivas o del todo concluyentes; de modo que la ciencia empírica no versa en la construcción de teorías categóricas (o absolutas) que permitiesen despojar por entero cualquier posible duda, por lo cual, finalmente, habría que reconocer la circunstancia según la cual, la ciencia —visto objetivamente—, no progresaría por la acumulación de supuestas verdades⁷⁷ (que realmente son incompletas de por sí), sino que la ciencia encontraría su continuo desarrollo gracias a la eliminación de errores, lo cual implica la perpetua depuración de contenido enunciativo que es falso. Al respecto, resulta esclarecedor el artículo “La verosimilitud y el estatus epistémico de las teorías científicas”, del profesor colombiano Carlos Emilio García Duque, quien abordó el

⁷⁵ Según el profesor colombiano Adolfo León Gómez “[...] buscar confirmaciones es caer en la ilusión de verificar la teoría [...] Además la verificación siempre es fácil si se hacen predicciones lo suficientemente vagas como para que siempre sea posible interpretar cualquier hecho dentro de la vaguedad de la teoría”. En: GÓMEZ, Adolfo. La falsabilidad como criterio lógico de demarcación, entre lo que es ciencia y lo que no es. Tres ensayos sobre Karl Popper. Calí: Editorial Santiago de Calí, 2001, p. 24.

⁷⁶ GÓMEZ, Adolfo. La falsabilidad como criterio lógico de demarcación, entre lo que es ciencia y lo que no es. Calí: Editorial Santiago de Calí, 2001, p. 23. Además, en *Realismo y el Objetivo de la ciencia*, el mismo Popper afirma: “[...] la creencia, muy extendida, de que la irrefutabilidad de una teoría es un argumento en su favor, es errónea. *La irrefutabilidad no es una virtud sino un vicio*”. En: POPPER, Karl. Realismo metafísico. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 122.

⁷⁷ Según el profesor Carlos Emilio García Duque: “[...] aunque idealmente se puede considerar la posibilidad de una teoría científica genuina que carece por completo de enunciados falsos, y por tanto tendría el máximo grado de verosimilitud (en otras palabras, que sería absolutamente verdadera) la historia de la ciencia hasta ahora muestra que, salvo para teorías triviales, este no parece ser un fin alcanzable”. En: GARCÍA, Carlos Emilio. La verosimilitud y el estatus epistémico de las teorías científicas. En: Estudios de filosofía; Universidad de Antioquia, No 36, agosto, 2007, p. 16.

problema sobre el estatus de las teorías científicas, y del cómo atribuir valores de verdad a los enunciados teóricos de la ciencia según la propuesta popperiana de la verosimilitud que recurre a las ideas de Tarski. En aquel contexto, el autor colombiano mostró que, resulta impropio señalar la validez de una teoría científica procurando testar —o constatar empíricamente— cada uno de los elementos (clase de elementos infinitos) a los que refiere un enunciado teórico (que obviamente es universal), pues como resulta evidente, aquello sería una tarea inacabable en un universo infinito, por lo cual afirmó: “[...] parece que una forma más promisorio de abocar la tarea de determinar el valor de verdad de la teoría como un todo, sería eliminar sus enunciados falsos. Esto puede hacerse revisando el mundo en busca de un estado de cosas que contradiga un enunciado singular implicado por la teoría”⁷⁸. De modo que en lo que respecta a las teorías de la ciencia, su desarrollo se da a través de ensayo y error, es decir, eliminando los errores, y no buscando numerosos casos a favor de una hipótesis. En consonancia con todo lo anterior, el profesor colombiano Adolfo León Gómez también manifestó lo siguiente: “[...] si alguien me preguntase en qué consiste la novedad de Popper, respondería que él ha reivindicado el error y la opinión como *fuentes objetivas* de conocimiento y de progreso cognoscitivo”⁷⁹.

En conclusión, para el *racionalismo crítico* de Popper las teorías científicas serían susceptibles de ser falsadas (o para ser más precisos, de *falsabilidad lógica* según el criterio de demarcación), más nunca de ser verificadas, pues las teorías solo obedecen a supuestos, hipótesis o conjeturas, pero nunca a verdades últimas, o a supuestas verdades con alto grado de confirmación o «probabilidad» en el sentido que le confiere la lógica inductiva. Por ello Popper afirmó con relación al falsabilismo que:

“Un sistema solo puede ser considerado científico si hace afirmaciones que puedan entrar en conflicto con las observaciones; y la manera de testar un sistema es, en efecto, tratando de crear tales conflictos, es decir, tratando de refutarlo”⁸⁰.

1.3.2.1. La influencia de Einstein en el criterio de demarcación falsabilista

El criterio de demarcación falsabilista es uno de los fundamentos básicos de la epistemología popperiana, y su formulación estuvo inmensamente influenciada por el trabajo científico de Albert Einstein. Ciertamente lo anterior no quiere decir que

⁷⁸ GARCÍA, Carlos Emilio. La verosimilitud y el estatus epistémico de las teorías científicas. En: Estudios de filosofía; Universidad de Antioquia, No 36, agosto, 2007, p. 14-15.

⁷⁹ GÓMEZ, Adolfo. Crítica a la inducción. Tres ensayos sobre Karl Popper. Calí: Editorial Santiago de Calí, 2001, p. 73.

⁸⁰ POPPER, Karl. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 312.

Einstein haya escrito —o reflexionado⁸¹— sobre el problema de la demarcación, y sobre cómo distinguir los enunciados de la ciencia de otro tipo de enunciados (pseudocientíficos o metafísicos). Más bien se trata, de cómo su *actitud*, y su forma de proceder como investigador y científico, —especialmente, cuando presentó su *teoría de la relatividad general* al mundo—, provocó rápidamente un intenso y profundo impacto en el pensamiento racionalista de Popper. En esa medida, dicha circunstancia particular de la historia de la ciencia, fue lo que inspiró gran parte del desarrollo del planteamiento falsabilista de las ciencias empíricas de Popper. Así lo confesó el propio autor austriaco:

“Einstein buscaba experimentos cruciales, cuyo acuerdo con sus predicciones en modo alguno establecería su teoría; mientras que un desacuerdo, como él mismo fue el primero en señalar, mostraría que su teoría era insostenible. Esa pensé, era la verdadera actitud científica”⁸².

La mencionada actitud de Einstein, se hizo evidente cuando propuso una forma de someter a prueba su teoría de la relatividad a partir de ciertas predicciones que, de no haber sido acertadas, indicarían que aquellas mismas derivarían de una conjetura equivocada. Así fue como en el año de 1919 el astrónomo Arthur Eddington con el propósito de probar la predicción de la teoría de la relatividad de Einstein, efectuó un par de expediciones científicas para observar el eclipse solar de ese año. Dichas expediciones lograron constatar que durante el eclipse solar la luz de ciertas estrellas identificadas en el firmamento era desviada por la masa del sol en casi la misma magnitud pronosticada por Einstein. De aquella forma Einstein pudo corroborar su teoría.

Una vez hemos comprendido que el criterio falsabilista de Popper germina como inspiración acerca de una apropiada *actitud* que debe poseer el científico o investigador, se hace necesario comprender cómo el falsabilismo emerge férreamente como una respuesta a los problemas que surgen de la lógica inductiva, pues como veremos, no es posible justificar lógicamente los enunciados universales, pero en cambio, aquellos mismos enunciados, sí podrían ser refutarlos a partir de enunciados particulares. Veamos a continuación cuáles son los problemas insuperables del criterio verificacionista del positivismo lógico, a través del famoso problema de Hume.

⁸¹ El filósofo Andrés Rivadulla observó en Einstein una postura muy similar a la de Popper en lo que respecta al falsabilismo, pues dijo: “Einstein mismo concebía la falsabilidad como un requisito fundamental de científicidad: la teoría de la relatividad exige que las leyes generales de la Naturaleza sean invariantes en una transformación de Lorentz: ‘Si se encontrara una ley general de la Naturaleza que no cumpliera esa condición, quedaría refutado por lo menos uno de los dos supuestos fundamentales de la teoría’”. En: RIVADULLA, Andrés. La filosofía de la ciencia hoy. Problemas y posiciones. En: perspectivas del pensamiento contemporáneo. vol. 2, 2004, p.14.

⁸² QUERALTÓ, Ramón. Karl Popper, de la epistemología a la metafísica. Sevilla: Universidad de Sevilla, 1996, p. 32.

1.3.3. Problema de la inducción o problema de Hume

Anteriormente señalamos que —según Popper— no se puede efectuar válidamente en la ciencia empírica una universalización de los enunciados singulares u observacionales, pues como vimos antes (en el ejemplo del uróboro de la sección 1.3.1.1. de la presente monografía), de un número finito de observaciones no se puede obtener una conclusión que revista de una validez lógica, puesto que hipotéticamente siempre persiste la posibilidad de que existiese, por lo menos, un solo suceso u observacional no incluido en ese número finito de observaciones evaluadas, que pueda contradecir aquella conclusión o inferencia realizada inductivamente. A dicha circunstancia se le conoce como problema de la inducción (o problema de Hume), que refiere al problema sobre la validez lógica de las leyes universales que componen las teorías de la ciencia. Popper clarificó dicha circunstancia de la siguiente forma:

El problema de la inducción puede formularse, asimismo, como la cuestión sobre cómo establecer la verdad de los enunciados universales basados en la experiencia —como son las hipótesis y los sistemas teóricos de las ciencias empíricas—. Pues muchos creen que la verdad de estos enunciados se sabe por experiencia; sin embargo, es claro que todo informe en que se da cuenta de una experiencia —o de una observación, o del resultado de un experimento— no puede ser originariamente un enunciado universal, sino sólo un enunciado singular. Por lo tanto, quien dice que sabemos por experiencia la verdad de un enunciado universal suele querer decir que la verdad de dicho enunciado puede reducirse, de cierta forma, a la verdad de otros enunciados —éstos singulares— que son verdaderos según sabemos por experiencia; lo cual equivale a decir que los enunciados universales están basados en inferencias inductivas. Así pues, la pregunta acerca de si hay leyes naturales cuya verdad nos conste viene a ser otro modo de preguntar si las inferencias inductivas están justificadas lógicamente⁸³.

Este problema fue originalmente formulado por el filósofo empirista David Hume. Sin embargo, en procura de desplegar un análisis ulterior del mismo, Popper en su libro *Conocimiento objetivo*, reformuló aquel mismo problema de la inducción en dos versiones que indicarían ser derivaciones complementarias del mismo problema: un problema lógico H_L y otro problema psicológico H_{PS} .

Examinemos primeramente la versión lógica H_L del problema de la inducción, el cual empleando las propias palabras de Popper indagaría por lo siguiente: “¿cómo justificar que partiendo de casos (reiterados) de los que tenemos experiencia, lleguemos mediante el razonamiento a otros casos (conclusiones) de los que no

⁸³ POPPER, Karl. El problema de la inducción. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p 28.

tenemos ningún tipo de experiencia?”⁸⁴. La respuesta que otorgó David Hume ante la denominada versión lógica H_L , resultó ser para Popper completamente aceptable, en tanto que el mismo filósofo escocés había considerado acertadamente que siendo cualesquiera el número de casos repetidamente observados en los que se produce un determinado fenómeno, de ahí no se deriva ninguna razón lógica para suponer que aquel mismo fenómeno seguirá produciéndose de nuevo bajo las mismas circunstancias (o condiciones) supuestos relevantes por alguna hipótesis inductiva. Popper no rechazó la existencia de regularidades o leyes de la naturaleza, si no que coincidió con Hume en que la inferencia inductiva no ofrecería validez lógica a las mismas. Popper indicó que, en lo que respecta a la lógica, el filósofo escocés David Hume

Trató de mostrar que cualquier inferencia inductiva —cualquier razonamiento de casos singulares y observables (y su ocurrencia repetida) a cualquier cosa como regularidades o leyes— tiene que ser *inválida*. Cualquier inferencia de esa índole, trató de mostrar, no puede ser ni siquiera aproximada o parcialmente válida. No puede ser siquiera una inferencia probable: tiene, por el contrario, que ser totalmente infundada y siempre continuará siéndolo, por grande que sea el número de casos observados⁸⁵.

La anterior es una consideración respecto a la lógica que Popper le atribuye a David Hume, y que denominó el ***principio de la no validez de la inducción***. Al respecto, resulta bastante ilustrativa una pequeña parábola presentada por Bertrand Russell⁸⁶, y que muestra que la inducción no resulta ser en el tiempo un método absolutamente fiable. La parábola es muy simple. Cuenta la historia de un pollo al que todas las mañanas un granjero se le acerca para brindarle algo de comer. El pollo día tras día, y especialmente en las mañanas, se percata del repetitivo ritual, según el cual, el granjero sin importar el estado del clima siempre se le acerca y le ofrece algún alimento. De aquella manera, y ante la constante repetición, el pollo infiere que al día siguiente también le acontecerá la misma cotidianidad de siempre; pero desafortunadamente, al otro día el pollo termina siendo sacrificado por el granjero y su carne empleada como desayuno. Como vemos, esta escueta parábola enseña que no importa el número de casos o de repeticiones observadas, pues de aquello no se justifica lógicamente que vaya a suceder siempre lo mismo, o para ser más puntuales, las numerosas *repeticiones* no justifican lógicamente el enunciado universal: ‘todas las mañanas el granjero alimenta a su pollo’. De aquella manera el problema de la inducción señala que la repetición de los *enunciados observacionales o particulares* nunca pueden validar concluyentemente los

⁸⁴ POPPER, Karl. El conocimiento como conjetura. Conocimiento Objetivo. Madrid: Tecnos, 1974, p. 17.

⁸⁵ POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 71.

⁸⁶ Una versión de aquella parábola es descrita por Moulines. Véase: MOULINES, Ulises. David Hume. Popper y Kuhn: dos gigantes de la filosofía de la ciencia del siglo XX. Madrid: Bonallettera Alcompas S, L: 2015, p. 44.

enunciados universales, y es de recalcar que estos últimos son precisamente el tipo de enunciados que componen las leyes, hipótesis, o teorías de la ciencia.

Pero si bien ante la concisa respuesta de Hume a la versión lógica H_L Popper afirmó estar íntegramente de acuerdo, lo mismo no ocurre con la versión psicológica H_{PS} , pues el autor austriaco cuestionó férreamente aquella denominada *psicología del descubrimiento* que desplegó Hume en su obra filosófica. Por ello Popper afirmó:

“Hallé que la refutación de la inferencia inductiva hecha por Hume era clara y concluyente. Pero me sentí totalmente insatisfecho por su explicación psicológica de la inducción en función de la costumbre o el hábito”⁸⁷.

Para comprender cómo Hume llega a su explicación psicológica de la inducción en función del hábito, conviene señalar el conjunto de las consideraciones lógicas que Popper le adjudica a la reflexión de Hume, ellas son:

- i) **La confianza en las regularidades:** las personas en la práctica confían en regularidades (aparentes).
- ii) **El principio de la no validez lógica de la inducción:** los informes inductivos o cualquier razonamiento a partir de (a) casos de observación singulares y (b) la repetición de aquellos, no se encaminarían a denotar estrictamente las regularidades o leyes. Además, las inferencias inductivas no pueden ser inferencias probables; por grande que sea el número de casos observados, las conclusiones universales serían siempre infundadas, ya que irían desde lo conocido a lo desconocido, o desde lo experimentado a lo no experimentado.
- iii) **El principio del empirismo:** no hay razones válidas que justifiquen la creencia en una ley universal distintas a la experiencia. En aquella medida la adopción o rechazo de una teoría de la ciencia, se efectuaría a partir de los datos de observación y del experimento.

El *problema básico de la inducción* consistiría en el choque entre i) la confianza de las regularidades y ii) la no validez lógica de la inducción. Pero si se da por hecho la confianza en las regularidades, se presentaría el aparente choque que entre ii) el principio de la no validez de la inducción y iii) el principio del empirismo que rescata el papel de la experiencia (el cual para algunos quiere decir que sin inducción no podríamos tener conocimiento). No obstante, este último choque para el filósofo David Hume solo sería aparente, pues una vez se renuncia al racionalismo —tal y como lo hizo el filósofo escocés— entonces ya no habría choque alguno. Veamos.

Hume aceptó que nosotros obtenemos conocimiento por experiencia —en conformidad con el principio del empirismo—, pero como la inducción no sería válida lógicamente, entonces aquello para él mostraría “que tenemos que basarnos en la

⁸⁷ POPPER, Karl. La ciencia: conjeturas y refutaciones. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 68.

asociación ('hábito', que resulta de la repetición) en vez de basarnos en la razón”⁸⁸. El hábito y la costumbre serían para Hume, aquello que intuitivamente, nos incita a confiar tanto en las teorías e hipótesis inductivas de la ciencia, como en las regularidades (aparentes) de la naturaleza.

En párrafos anteriores, vimos que Popper aceptó la respuesta lógica H_L de Hume al problema de la inducción, pero que rechazó la respuesta psicológica H_{PS} del autor escocés en función del hábito.

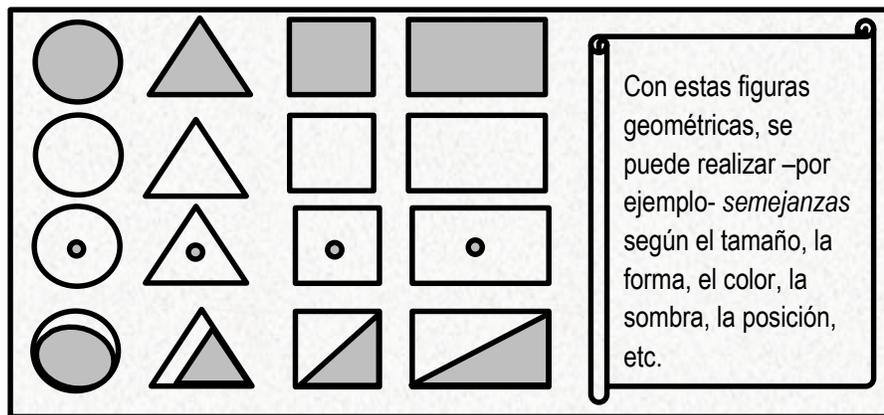
La versión psicológica H_{PS} del problema de Hume básicamente indaga lo siguiente: ¿por qué a pesar de que los enunciados empíricos de la ciencia no logran poseer una validez lógica, aún continuamos creyendo o confiando en ellas? La respuesta que ofreció Hume —como vimos— es que nuestra confianza en las regularidades de la ciencia empírica, o nuestra *creencia* en los enunciados del conocimiento científico, provendría principalmente de la *costumbre* o el *hábito*. No obstante Popper encontró aquella respuesta en gran medida inapropiada, como además fundadora de actitudes irracionales. Según Popper es claramente un error considerar que los seres humanos solamente podemos percatarnos de los sucesos del mundo de forma *pasiva*, o lo que resulta igual, que simplemente aquellas regularidades de la naturaleza nos llegan sin ningún tipo de filtro, limpiamente y sin necesidad de recurrir a ninguna especie de proceso *crítico*, es decir, que aquellas regularidades que percibimos en la naturaleza tan solo las distinguimos bajo el influjo cotidiano del *hábito* o la *costumbre* que proceden de la reiterada repetición de nuestras observaciones, y ello —según Popper— sería un *craso error* porque sería desconocer que el ser humano también posee un papel *activo* en el conocimiento de la realidad, que a veces, incluso, le permite escapar de lo que es únicamente vislumbrado (o identificado) por lo *habitual* o *acostumbrado* de nuestras cotidianas ‘observaciones’; en otros términos, para Popper no habría que desconocer que es posible forjar una *actitud crítica* que nos pueda incluso permitir escapar a las expectativas (o expectativas) que los seres humanos adquirimos tanto tradicionalmente como hereditariamente. Es por tal motivo, que en oposición a la respuesta del filósofo escocés a la versión psicológica H_{PS} del problema de Hume, Popper sentenció: “sin esperar pasivamente que las repeticiones impriman o impongan regularidades sobre nosotros, debemos tratar activamente de imponer regularidades al mundo”⁸⁹. Asimismo, aquel supuesto de Hume que presume que la *repetición* establece la generación de *hábitos* y luego nuestra *creencia* en los enunciados del conocimiento científico, puede ser cuestionado empleando los argumentos del profesor Adolfo León Gómez, quien apoyado en Popper explicó que “[...] la repetición no se basa en casos de *identidad perfecta*, sino de semejanza, y la semejanza es una categoría relativa al observador; las repeticiones son

⁸⁸ POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 72. La cita corresponde a la reflexión que Popper le atribuye a Hume.

⁸⁹ POPPER, Karl. La ciencia: conjeturas y refutaciones. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 72.

repeticiones desde un cierto punto de vista, lo que indica que siempre debe haber un punto de vista, expectativas, anticipaciones, prejuicios, intereses, para que pueda haber repeticiones”⁹⁰. Por lo tanto, el observar una singular *semejanza* en la naturaleza requeriría siempre de un exclusivo interés o expectativa, pues recordemos que no existen *observaciones* completamente puras, porque dependiendo del problema a tratar, ciertas *semejanzas* de la naturaleza serán distinguibles o reconocibles al resultar más interesantes o apropiadas de manejar que otras. Veamos por ejemplo la siguiente gráfica⁹¹:

Esquema 1: semejanzas



Según Popper cuando se describe un objeto, además de presuponer un lenguaje descriptivo, también se presupone una semejanza y una clasificación, las cuales “[...] a su vez presuponen intereses, puntos de vista y problemas [...] los objetos pueden ser clasificados y pueden convertirse en semejantes o disímiles solamente de esta manera, relacionándolos con necesidades e intereses”⁹². Ahora bien, de lo anterior se sigue que la *semejanza* al no ser necesariamente resultado de un proceso uniforme o global para todos los observadores, pues las expectativas podrían ser claramente diferentes para uno de los particulares individuos, sería por su parte un proceso selectivo (según el interés o expectativa del problema), y ello indicaría que somos nosotros los seres humanos quienes tratamos de imponer

⁹⁰ GÓMEZ, Adolfo. Crítica a la inducción. Tres ensayos sobre Karl Popper. Cali: Editorial Santiago de Cali, 2001, p. 77. Adolfo León Gómez, para sintetizar dicha reflexión, emplea el siguiente e importante argumento de Popper: “[...] por razones lógicas, debe haber siempre un punto de vista —tal como un sistema de expectativas, anticipaciones, suposiciones o intereses— antes de que pueda haber repetición alguna; punto de vista que, por consiguiente, no puede ser simplemente el resultado de la repetición”. En: POPPER, Karl. La ciencia: conjeturas y refutaciones. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 70.

⁹¹ La ilustración se basa en la exposición de Popper, en: POPPER, Karl. Universales, disposiciones y necesidad natural o física. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 393. Y en la exposición del filósofo Adolfo León Gómez en: GÓMEZ, Adolfo. Crítica a la inducción. Tres ensayos sobre Karl Popper. Cali: Editorial Santiago de Cali, 2001, p. 77-78.

⁹² POPPER, Karl. La ciencia: conjeturas y refutaciones. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 73.

aquellas *repeticiones* o *regularidades* en la naturaleza, y no precisamente como suele pensarse, donde supuestamente es la propia naturaleza misma quien impone aquellas *regularidades* en nuestras mentes *pasivas*. Asimismo la respuesta psicológica H_{PS} de la inducción, que apela al *hábito* o a la *costumbre* para explicar la *creencia* en las regularidades que ofrece la ciencia, también caería en un *regressus ad infinitum*⁹³, pues si quisiéramos justificar aquellas supuestas ‘regularidades del *hábito*’ requeriríamos nuevamente de un *principio de inducción*, que como vimos anteriormente, sería inviable, pues necesitaría de infinitos niveles de enunciados sintéticos.

En resumen, a diferencia de lo que pensaba Hume, para Popper no es precisamente el *hábito* ni la *costumbre* lo que nos induce a *creer* en las regularidades de la naturaleza, sino que somos nosotros quienes tratamos —señaló Popper⁹⁴: con éxito desigual, y por medio de arriesgadas conjeturas— de imponer aquellas *regularidades* en la naturaleza física. Además, nuestras mentes no son *pasivas*, como si acaso apreciásemos una realidad tal cual como se nos presenta ante los sentidos, sino que, por el contrario, nuestras mentes son efectivamente *activas*, e interfieren en nuestra misma comprensión de la realidad.

Sin embargo, las respuestas a las que llegó el propio Hume sobre las dos versiones antes descritas (lógico H_L y psicológico H_{PS}) le arrojarían inevitablemente a un escepticismo radical, pues si la inducción no posee ningún tipo de validez lógica, y si además solo creemos en los enunciados de la ciencia debido al *hábito* y la *costumbre*, entonces nuestra confianza en la ciencia tan solo sería comparable a la misma fe religiosa, pues de aquella manera siempre estaríamos condenados a carecer de algún tipo de sustento, justificación lógica o racional, para la misma ciencia. Sin embargo, pese a dicha circunstancia que nos impide justificar lógicamente las inferencias, Popper no recae en ningún momento en el mismo escepticismo de Hume, pues el autor austriaco ofreció una interesante respuesta que le permite salvaguardar el conocimiento científico del *escepticismo radical*, al emplear —como él mismo afirmó— buenas razones de corte racional.

En primer lugar, resulta pertinente retomar las consideraciones lógicas de Hume, y señalar las consideraciones a las que llegó el propio autor austriaco. Según Popper, el principio de la no validez de la inducción y el principio del empirismo, serían compatibles entre ellos, y consistentes con el siguiente principio que él mismo forjó:

“iv) Exigimos que nuestra adopción y nuestro rechazo de las teorías científicas dependan de nuestro *razonamiento crítico* (combinado con los resultados de la

⁹³ Véase: GÓMEZ, Adolfo. Crítica a la inducción. Tres ensayos sobre Karl Popper. Cali: Editorial Santiago de Cali, 2001, p.78.

⁹⁴ POPPER, Karl. Prefacio de 1982. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 27.

observación y el experimento como lo exige iii) [es decir, el principio del empirismo]⁹⁵.

Por consiguiente, Popper apeló a que se puede y debe recurrir a la experiencia, pero no para validar las teorías de la ciencia, sino para contrastarlas y discutir las con base al *razonamiento crítico*. De aquella manera se reivindica el papel de la racionalidad, y se hace posible adoptar una preferencia temporal y tentativa de alguna teoría o conjetura de la ciencia, sobre otras teorías competidoras en la explicación de un fenómeno.

Además, Popper planteó una formulación lógica que haría viable su propuesta metodológica. Si bien los enunciados universales (o los enunciados de las teorías) no se pueden validar de forma concluyente, aquellos pueden ser contradichos por enunciados particulares por medio de la experiencia. Se termina finalmente haciendo alusión —principalmente— a un reconocido método de la lógica, el cual conocemos como *modus tollendo tollens*⁹⁶.

$$\begin{array}{c} p \rightarrow q \\ \neg q \\ \therefore \neg p \end{array}$$

La anterior fórmula descrita posibilitaría una forma de justificación lógica para los enunciados de la ciencia, pues al establecer la falsedad de la consecuencia ($\neg q$) es perfectamente admisible afirmar la falsedad lógica de la teoría (p); es decir, un enunciado particular (o enunciado observacional) puede servir para refutar un enunciado universal. Dicha propuesta falsabilista posibilitaría que se pudiese revelar ante nosotros, y de forma racional, algunos aspectos conjeturables y efectivos de la naturaleza física.

1.3.4. La asimetría lógica entre el verificacionismo y el falsabilismo

Dicha circunstancia según la cual no es posible *justificar* lógicamente los enunciados universales, pero en la cual, sí es posible negarlos, produce lo que Popper denomina una *asimetría lógica entre el verificacionismo y el falsabilismo*. Esta asimetría lógica mostraría la imposibilidad de establecer la verdad (definitiva o débil) de los enunciados universales —así estén basados en la experiencia— porque

⁹⁵ POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 72. Entre corchetes se añade frase aclaratoria.

⁹⁶ Sobre el modus tollendo tollens véase: POPPER, Karl. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 73, 236 -237, y GÓMEZ, Adolfo. La falsabilidad como criterio lógico de demarcación, entre lo que es ciencia y lo que no es. Tres ensayos sobre Karl Popper. Cali: Editorial Santiago de Cali, 2001, p. 21.

simplemente, a nadie le sería nunca posible llegar a conocer la totalidad de casos particulares (u observacionales) a los refiere dicho enunciado universal; pero, por otro lado, un solo caso particular, sí que podría derribar o refutar la totalidad de un enunciado universal.

Como podemos advertir por medio del *problema de Hume*, así recojamos un gran compendio de *enunciados particulares*, o lo que es igual, un numeroso conjunto de *enunciados observacionales*, aquellos mismos *enunciados particulares* (o enunciados de observación) nunca podrían validar lógicamente una teoría de la ciencia empírica; además ni siquiera podría otorgarles probabilidad (en el sentido del cálculo de probabilidades). Según Popper:

La mayoría de los que creen en la lógica probabilitaria sostienen la tesis de que se llega a la evaluación por medio de un 'principio de inducción', que adscribe probabilidades a las hipótesis inducidas. Pero si vuelven a atribuir una probabilidad a este principio, entonces continúa el regreso infinito; y si, por el contrario, le atribuyen la 'verdad', entonces se enfrentan con el dilema de elegir entre la regresión infinita y el apriorismo. «De una vez para siempre —dice Heymans— la teoría de la probabilidad es incapaz de explicar los razonamientos inductivos: pues exactamente el mismo problema que se encuentra latente bajo éstos lo está bajo aquella (en la aplicación empírica de la teoría de la probabilidad). En ambos casos, la conclusión va más allá de lo que está dado en las premisas». Así pues, no se gana nada con sustituir la palabra 'verdadero' por 'probable', ni la palabra 'falso' por 'improbable'. Sólo si se tiene en cuenta la asimetría entre verificación y falsación —la asimetría que procede de la relación lógica existente entre las teorías y los enunciados básicos— es posible evitar las celadas del problema de la inducción⁹⁷.

Popper señaló que en el obstinado afán del *positivismo lógico* por invalidar los enunciados *metafísicos*, a su vez también invalidaron —sin querer, y conforme lo exigiría su famoso *criterio de significatividad*— los propios enunciados de la ciencia empírica, puesto que como evidencia la *asimetría lógica*, aquellos mismos enunciados pertenecientes a la ciencia empírica tampoco serían susceptibles de una verificación que sugiera una verdad definitiva o acaso una verdad débil en términos de «probabilidad». Por lo tanto, el problema de Hume muestra que no es posible validar lógicamente, cualquier tipo de enunciado universal (o teoría de la ciencia) a través de acumular simples y/o reiterados enunciados observacionales; revelaría además que resulta lógicamente posible que un solo enunciado observacional pueda refutar un enunciado universal.

En consecuencia, la relación existente entre aquellos dos tipos de enunciados (particulares/observacionales y universales/hipótesis) subsiste una especie de *asimetría lógica* entre dos métodos de inferencia que serían completamente diferentes, pues resulta evidente que en la relación *inductiva* entre aquellos

⁹⁷ POPPER, Karl. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 246-247.

enunciados no resulta posible *verificacionismo* alguno, en tanto que, en lo que respecta a la relación *deductiva* entre aquellos mismos enunciados, resulta claramente posible efectuar una *falsación* de los *enunciados universales*, o corroboración de las conjeturas o hipótesis.

1.3.5. El falsabilismo y el carácter conjetural de la ciencia

Finalmente, ante el *problema de Hume* —que los *positivistas lógicos* en sus diferentes versiones no lograron nunca superar— el filósofo austriaco Karl Popper propuso un criterio falsabilista como criterio de demarcación; pues como se afirmó antes, si bien no podemos *justificar* la validez lógica de las teorías, o su creciente «probabilidad», sí resulta posible falsarlas. Mientras que el *verificacionismo* busca hechos experimentales y observacionales que validen las hipótesis (o *razones positivas*), el falsabilismo —por su parte— busca evaluar lógicamente las teorías a partir de *enunciados base* que posibiliten circunstancias empíricas que puedan contradecir aquellas mismas hipótesis; por lo tanto se evidencia que se tratan de dos métodos opuestos, en donde el falsabilismo estaría rechazando la metodología de lógica inductiva, y a su vez considerando que el método adecuado para la ciencia no podría ser otro que el *método hipotético deductivo*⁹⁸.

La postura falsabilista de Popper considera que las teorías científicas son aquellas que poseen enunciados susceptibles de ser falsables lógicamente (criterio de demarcación), pero que subsecuentemente también podrían caracterizarse por una latente —o posible— *refutación*, es decir, las teorías científicas son aquellas teorías que además de (1) aportar ciertos enunciados base⁹⁹ que posibilitan *lógicamente* la existencia de algunos sucesos o circunstancias (empíricas) para las cuales aquellos mismos enunciados no podrían ser considerados válidos o correctos, (2) también en la práctica científica pueden —ya que no es algo garantizado— ser eventualmente experimentables. Dicha postura llevó a Popper a considerar que ninguna teoría científica debería ser estimada como si aquella se tratase de una verdad definitiva o con creciente probabilidad en el sentido matemático del cálculo de probabilidades. Las teorías de la ciencia solamente deben ser consideradas

⁹⁸ En el primer volumen del *Post scriptum* Popper afirmó: “ya no consideramos sistema deductivo a uno que establece la verdad de sus teoremas deduciéndolos de ‘axiomas’ cuya verdad es totalmente cierta (o evidente por sí misma o fuera de duda); más bien consideremos deductivo a *un sistema que nos permite argüir sus diversos supuestos racional y críticamente*, averiguando sistemáticamente sus consecuencias. La deducción no se usa simplemente con el propósito de *demostrar* unas conclusiones; se utiliza más bien como instrumento de la crítica racional”. POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 261.

⁹⁹ En los términos más simples, los *enunciados básicos* o enunciados base, son aquellos *enunciados empíricos* de una proposición contrastable. Véase: POPPER, Karl. Teoría y experimento. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 100-105, y GÓMEZ, Adolfo. La falsabilidad como criterio lógico de demarcación, entre lo que es ciencia y lo que no es. Tres ensayos sobre Karl Popper. Cali: Editorial Santiago de Cali, 2001, p. 20.

incesantemente como hipótesis o conjeturas cuyos intentos perpetuos de *corroboración* pueden hacerla fracasar a lo largo del tiempo. Popper afirmó que:

“El método de la ciencia es el método de conjeturas audaces e ingeniosas, seguidas de intentos rigurosos de refutarlas”¹⁰⁰.

Además:

“Nunca podemos justificar racionalmente una teoría —es decir, la pretensión de que conocemos su verdad—, pero si tenemos suerte, podemos justificar racionalmente la preferencia provisional de una teoría sobre todo un conjunto de teorías rivales”¹⁰¹.

De modo que las teorías de la ciencia no se erigen —como a veces se piensa— sobre una base indudable, repleta de conocimientos sólidos, perfectamente validados y por ende indiscutiblemente seguros, sino que, solo a través de la especulación teórica, hipotética y conjeturable, pero además susceptible de falsación como de crítica racional (cosa que caracterizaría en efecto la auténtica ciencia), podemos avanzar paso a paso en el desarrollo del conocimiento científico. Por ello Popper dice:

[...] la ciencia no está cimentada sobre roca: por el contrario, podríamos decir que la atrevida estructura de sus teorías se eleva sobre un terreno pantanoso, es como un edificio levantado sobre pilotes. Estos se introducen desde arriba en la ciénaga, pero en modo alguno hasta alcanzar ningún basamento natural o ‘dado’; cuando interrumpimos nuestros intentos de introducirlos hasta un estrato más profundo, ello no se debe a que hayamos topado con terreno firme: paramos simplemente porque nos basta que tengan firmeza suficiente para soportar la estructura, al menos por el momento¹⁰².

Es así como el *racionalismo crítico* de Popper pretende evidenciar que el único criterio de demarcación viable de concebir, y que además consienta una adecuada demarcación entre lo que es ciencia y no, sería la falsabilidad de las teorías. Lo anterior involucra que una teoría a la cual podamos identificar como propia de la ciencia empírica, debe ser expresada de la forma más racional y clara posible, es decir, exhibiendo ciertos *enunciados base* que puedan ser examinados empíricamente (lo que también implica señalar algunas prohibiciones¹⁰³ que manifestaría aquella misma teoría), y no precisamente, como muchas veces

¹⁰⁰ POPPER, Karl. Las dos caras del sentido común. Conocimiento Objetivo. Madrid: Tecnos, 1974, p. 83.

¹⁰¹ *Ibid.*, p. 84.

¹⁰² POPPER, Karl. Teoría y experimento. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 106.

¹⁰³ Véase: POPPER, Karl. Contenido empírico, extrañamiento y grados de falsabilidad. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 114.

pretende la pseudociencia con sus extravagantes e infecundas teorías, exhibiendo una evidente —e intencionada— inmunidad ante la crítica. Además, para el racionalismo crítico de Popper el criterio de demarcación no es un criterio que rechaza la metafísica tal como lo hizo el positivismo lógico, sino que se trata más bien de un criterio de distinción al servicio del conocimiento, y donde resulta completamente inadecuado realizar un fehaciente rechazo a los planteamientos metafísicos, pues en lo que se refiere al criterio de demarcación, lo que realmente interesa para la epistemología del racionalismo crítico es identificar o distinguir qué asuntos merecen ser estudiados por la ciencia, y reconocer aquellas características peculiares que distinguen lo que es ciencia, de lo que es la pseudociencia y de lo que pertenece al campo de la metafísica. Asimismo, es de considerar que, según Popper, mientras una especulación metafísica se construya con la pretensión de responder a un problema definido, aquella especulación no sería un sin-sentido, sino que merecería ser discutida críticamente, hasta el punto de que pueda incluso desarrollarse y quizá alcanzar con el tiempo el estatus de teoría científica.

Ahora bien, ¿puede la metafísica brindar algún aporte a la ciencia? Desde la perspectiva del racionalismo crítico la metafísica es una alternativa que puede contribuir en la generación de nuevos marcos teóricos en el campo de la ciencia, pues gracias a la especulación metafísica es posible crear nuevas miradas y enfoques para la resolución de problemas que no logran ser resueltos por los enfoques tradicionales, o por los vigentes conocimientos científicos.

1.4. LA NOCIÓN DE VERDAD EN POPPER

“Solo con respecto a este objetivo, el descubrimiento de la verdad, podemos decir que, aunque seamos falibles, tenemos la esperanza de aprender de nuestros errores”¹⁰⁴.

A lo largo de la historia de la filosofía la noción de *verdad* ha sido problematizada por muchos pensadores. Sin embargo, es corriente que algunos consideren que es trivial e innecesario reflexionar sobre dicha noción, pues sostienen que la idea de verdad es —por así decirlo— algo intuitivo, y que se sobreentiende por sí misma; a su vez, se piensa que el filósofo con su manía de complicar todo, no es capaz de ver con claridad lo que es realmente la *verdad*. Si bien es posible conceder algo de razón al planteamiento corriente, no por ello se puede considerar que el problema de la verdad sea un asunto totalmente vano, pues éste, según Popper, posee una enorme importancia a la hora de indagar por cómo se desarrolla el conocimiento en las ciencias empíricas. Asimismo, existe otra razón por la cual habría que reflexionar

¹⁰⁴ POPPER, Karl. *Verdad y contenido: verosimilitud versus probabilidad. Conjeturas y refutaciones*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 280.

el problema de la verdad, pues en la filosofía misma se ha gestado ataques bien argumentados contra dicha noción, que finalmente llevan al escepticismo o a la adopción de concepciones subjetivistas o irracionales sobre la verdad; que al ser adoptadas por filósofos y científicos, pueden ocasionar ciertos peligros para reflexionar la ética, la política, como también pueden generar ciertos vicios y errores interpretativos en las teorías de la ciencia social, humana e incluso para la ciencia natural y física.

Diariamente los filósofos y aquellos que realizan investigaciones en disciplinas cómo la sociología, la economía, la física o cualquier otra área, se ven constantemente desafiados por problemas de índole intelectual. Es así como un físico puede tener por ejemplo el problema de conciliar en algunos puntos la teoría cuántica con la mecánica clásica, o un economista puede tener como problema predecir con más precisión la fluctuación del dólar. Sin embargo, como afirmó Popper, a aquel que posee sed de conocimiento no le será suficiente con sentir curiosidad por un problema, sino que también guardará para sí mismo el anhelo y la aspiración de encontrar una respuesta que dé solución a la problemática que investiga. Ahora bien, como se buscan posibles respuestas a dichos problemas, el filósofo o científico, una vez cree encontrar una posible solución, o una vez que adopta una postura sobre su específico problema, se ve forzado a ver, así sea de soslayo, el problema de la verdad. En la mente del investigador pueden surgir interrogantes como: ¿será verdadera la solución adoptada? ¿entre las diferentes posiciones que existen frente al mismo tema que se investigó, es ésta una posición verdadera? Esta sencilla reflexión que se ha elaborado con base a los argumentos popperianos, sirve para ilustrar la manera en que para muchos investigadores el problema de la verdad resulta ser una cuestión ineludible.

Según Popper, la noción de verdad encuentra primeramente una vinculación con la pregunta por la manera en que se desarrolla el conocimiento científico, pues en la medida en que tratamos de resolver ciertos problemas, estaríamos a su vez propiciando el desarrollo de la ciencia. Sin embargo, es importante aclarar que el mismo Popper consideró que es posible hablar de desarrollo en la ciencia sin hacer mención a la noción de verdad, por ejemplo, aludiendo —como lo hizo en sus primeros escritos— a una *satisfactoriedad potencial relativa*¹⁰⁵ entre las teorías, que, en palabras sencillas, planteó algunos criterios de elección entre dos teorías rivales. Pero fue gracias a las investigaciones de Alfred Tarski que el autor austriaco resolvió

¹⁰⁵ En *Conjeturas y Refutaciones* Popper afirmó: “este criterio de satisfactoriedad potencial relativa (que formulé hace algún tiempo y que, digamos de paso, nos permite graduar las teorías de acuerdo con su grado de satisfactoriedad potencial relativa) es sumamente simple e intuitivo. Considera preferible la teoría que nos dice más; o sea, la teoría que contiene mayor cantidad de información o contenido empíricos; que es lógicamente más fuerte; que tiene mayor poder explicativo y predictivo; y que, por ende, puede ser testada más severamente comparando los hechos predichos con las observaciones. En resumen, preferimos una teoría interesante, audaz e informativa en alto grado a una teoría trivial”. En: POPPER, Karl. *El desarrollo del conocimiento: teorías y problemas. Conjeturas y refutaciones*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 266-267.

no evadir la noción de *verdad* a la hora de pretender clarificar el desarrollo de las ciencias empíricas.

1.4.1. La teoría de la verdad como correspondencia con los hechos

Una de las primeras teorías sobre la verdad es la teoría de la correspondencia con los hechos formulada en su versión clásica por Aristóteles, quien en la *Metafísica* afirmó lo siguiente: “decir de lo que es que no es o de lo que no es que es, es falso, mientras que decir de lo que es que es o de lo que no es que no es, es verdadero”¹⁰⁶. A la anterior sentencia se le conoce como la *concepción aristotélica clásica de la verdad*, y es considerada como una *noción de verdad como correspondencia con los hechos*, la cual, para la gran mayoría de pensadores, consistiría básicamente en una sencilla correspondencia posible de establecer, entre los enunciados y los hechos; pero, como precisa el profesor Alfonso García, para el caso de Bertrand Russell, quiere decir que: “la verdad consiste en alguna forma de correspondencia entre creencia y hecho”¹⁰⁷.

Wittgenstein en el *Tractatus logico-philosophicus*, también expuso una versión sobre la verdad entendida como correspondencia con los hechos, que se traduce en una teoría de la verdad como un cuadro o teoría de la proyección, y el cual considera que una proposición es como un *cuadro o proyección* del hecho que se quiere describir. Así lo resume Popper:

“[...] se concibió una proposición como una pintura, imagen o proyección del hecho que se intentaba describir, como si tuviera la misma estructura (o "forma") que ese hecho; así como un disco de gramófono es sin duda una pintura o una proyección de un sonido, y comparte algunas de sus propiedades estructurales”¹⁰⁸.

No obstante, a pesar de que aquellas teorías de la verdad como correspondencia pudiesen parecer ingenuamente correctas —según Popper¹⁰⁹— su propuesta e inclusión teórica en la ciencia arrojaría varios inconvenientes, entre los cuales resaltan los siguientes dos, que el autor describió a modo de preguntas:

1. ¿Cómo entender esa correspondencia? ¿o de qué forma podemos hacer constar que una afirmación puede corresponder realmente con los hechos? (Popper indagó

¹⁰⁶ Aristóteles citado en: VILLANUEVA, José. Comp. La concepción semántica de la verdad. La búsqueda del significado: lecturas de filosofía del lenguaje. Madrid: Tecnos, 1995, p. 277.

¹⁰⁷ GARCÍA, Alfonso. Teorías de la verdad. Modos de significar. Madrid: Editorial Tecnos, 1997, p. 188.

¹⁰⁸ MILLER, David, comp. Verdad y aproximación a la verdad. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p.197.

¹⁰⁹ *Ibíd.*, p. 197.

por una forma clara y sencilla de entender cómo es que un enunciado puede corresponder efectivamente con un hecho).

2. ¿Cómo hablar de verdad, aunque no se tenga ningún criterio para la misma? (Popper cuestionó las diversas formas en las que se habla cotidianamente de *verdad*, sin que realmente se posea una claridad absoluta de lo que dicho concepto quiere realmente decir. No obstante, resulta importante identificar que la epistemología de Popper rechazó tajantemente aquella idea, según la cual, para poder hablar de *verdad* se debe poseer necesariamente algunos criterios de verdad, o, en otras palabras, que se debe tener algunas reglas, métodos u operaciones de verificación).

1.4.2. La concepción semántica de la verdad

En 1933 Alfred Tarski publicó su primer bosquejo en polaco sobre lo que sería su teoría de la *concepción semántica de la verdad*, y a partir del cual desarrolló un novedoso recurso de lo que más adelante denominó un *metalenguaje semántico*. Para explicar dicha teoría es necesario explicar algo trivial pero que resulta relevante. Parafraseando las ideas de Popper¹¹⁰ expuestas en *Conjeturas y refutaciones*, primeramente tenemos que entender ‘verdad’ como sinónimo de *correspondencia con los hechos*, y luego dejando a un lado lo referente a la ‘verdad’ tenemos en seguida que definir la idea de *correspondencia con los hechos*. De aquella manera se hace posible considerar primeramente aquellas formulaciones expresadas en un *metalenguaje*, y luego determinar las condiciones adecuadas que consienten que una afirmación propia de un *lenguaje objeto*, correspondan efectivamente con los hechos. Por ejemplo:

1. La afirmación “la hoja del árbol es verde” correspondería a los hechos si y solo si, la hoja del árbol es, en efecto, verde.
2. La afirmación “el cuaderno es azul” correspondería a los hechos si y solo si, el cuaderno es, en efecto, azul.

La novedad de Tarski radicó en que, para hablar de correspondencia con los hechos, se emplea un metalenguaje (que es semántico) en el cual es posible hablar de dos cosas distintas: (a) las afirmaciones, y (b) los hechos a los que refieren dichas afirmaciones. Como sintetizó el filósofo colombiano Adolfo León Gómez, en su texto “Lenguaje, comunicación y verdad”:

En términos no formales, la idea de Tarski consiste en que, si queremos hablar de correspondencia entre una afirmación y un hecho, debemos disponer de un

¹¹⁰ POPPER, Karl. La teoría de la verdad objetiva: la correspondencia con los hechos. *Conjeturas y refutaciones*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 274.

lenguaje en el que podemos hablar de afirmaciones y de hechos; para hacerlo debemos utilizar un lenguaje distinto de aquel en que se hacen las afirmaciones corrientes (metalenguaje semántico). En este lenguaje se puede hablar de afirmaciones [por ejemplo la afirmación “la nieve es blanca”] y de hechos, por ejemplo, el hecho de que la nieve es blanca¹¹¹.

Finalmente, esta significativa teoría lleva a Popper a realizar la siguiente afirmación:

“Gracias a la obra de Tarski, la idea de la verdad objetiva y absoluta —esto es de correspondencia con los hechos— parece que goza hoy de la aceptación de cuantos la han entendido bien¹¹²”.

1.4.3. Verdad objetiva

La teoría de Tarski le permite a Popper formular su idea de *verdad objetiva*, que se opone a otras diferentes concepciones sobre la ‘verdad’. En primer lugar, la noción de *verdad objetiva* se opone al supuesto planteamiento, según el cual, una concepción adecuada de la ‘verdad’ tendría que ser una teoría de la ‘verdad’ verídica, o, en otras palabras, al supuesto de que la ‘verdad’ debe ser la creencia definitiva, absoluta o total. En esa medida, es importante entender que para Popper aquellas supuestas verdades interpretadas como verdades definitivas o absolutas, manifiestan una clara oposición a la noción de *verdad objetiva*. En aquellas ‘verdades’ entendidas como *verdades absolutas*, creyeron inicialmente los *positivistas lógicos*, pues por medio de su primera propuesta verificacionista, estuvieron equiparando erróneamente la concepción de ‘verdad’ con la noción de ‘certeza’. Es de recordar que, según el planteamiento inicial del positivismo lógico una teoría era considerada como perteneciente a las ciencias empíricas, si y solo si, dicha teoría era susceptible de una verificación definitiva. Tarea que para el enfoque del *racionalismo crítico* es imposible. Asimismo, contrario al positivismo lógico, Popper afirmó que el verificacionismo en sus diferentes versiones de ninguna manera podría otorgar a las teorías aquel preciso carácter de cientificidad; y que, además, el simple empleo de la experimentación empírica, no resultaría ser un claro y contundente garante de que una teoría debatida sea totalmente verdadera, o que acaso adquiriera una creciente «probabilidad» de ser cierta. Además, en su criterio de demarcación (esto es, la forma según la cual podemos considerar una teoría como propia de la ciencia, y así diferenciarla del mito o la especulación), propone un criterio falsabilista, según el cual, una teoría es científica en tanto que ella sea susceptible de ser falsada. Y puesto que toda teoría auténticamente científica resultaría ser por condición susceptible de ser falsada, eventualmente podría ser

¹¹¹ GÓMEZ, Adolfo. El problema de la verdad. Lenguaje, comunicación y verdad. Cali: Universidad del Valle, 1997, p. 136.

¹¹² MILLER, David, comp. Verdad y aproximación a la verdad. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 199.

sujeta a una contrastación empírica, por lo cual, las teorías no podrían ser nunca asumidas como si fuesen verdades definitivas o con creciente «probabilidad» de serlo (en el sentido del cálculo de probabilidades); por lo tanto, las teorías científicas serían única y exclusivamente, estimables hipótesis o conjeturas. Según Popper:

Mientras que los verificacionistas o inductivistas tratan en vano de demostrar que es posible justificar o, al menos, establecer como probables (y de esta manera estimular, con su fracaso, la retirada al irracionalismo) las creencias científicas, nosotros, los miembros del otro grupo, ni siquiera deseamos una teoría altamente probable. Al identificar la racionalidad con la actitud crítica, buscamos teorías que, por falibles que sean, progresen más allá de sus predecesoras; lo cual significa que puedan ser testadas más severamente y resistir algunos de los nuevos test. Y mientras que los verificacionistas trabajan en vano para descubrir argumentos categóricos válidos en apoyo de sus creencias, nosotros, por nuestra parte, estamos convencidos de que la racionalidad de una teoría reside en el hecho de que la elegimos porque es mejor que sus predecesoras, porque la podemos someter a test más severos, porque hasta puede resistirlos —si somos afortunados— y porque, de este modo, puede aproximarnos más a la verdad¹¹³.

De modo, que el desarrollo de la ciencia solamente podría darse a través del continuo perfeccionamiento de las conjeturas e hipótesis, es decir, por el *método de ensayo y error*. Así que una vez más, la idea de verdad objetiva del *racionalismo crítico* no puede —de ninguna manera— confundirse con la noción de ‘certeza’ ni con un supuesto sucedáneo o *Ersatz* que es la asignación de «probabilidad». El racionalismo crítico de Popper invita a que nos demos cuenta de que:

“(…) nuestros intentos de ver y encontrar la verdad no son definitivos, sino que siempre están abiertos a mejorarse; de que nuestro conocimiento, nuestra doctrina, es siempre conjetural; de que consiste en supuestos, o hipótesis, más que en verdades definitivas o certezas; y de que la crítica y la discusión crítica son los únicos medios de que disponemos para acercarnos más a la verdad¹¹⁴”.

Lo anterior lleva a la reflexión según la cual los filósofos y científicos no pueden ser considerados nunca como los dueños y poseedores de una verdad definitiva. Muy a pesar de lo que alguna vez consideró Platón en su *República*, al decir que el filósofo podía asumirse como el dueño de la ‘verdad’; al respecto, Popper afirmó que el filósofo clásico traicionó la modestia de su maestro Sócrates, pues para este último, el filósofo nunca podría ser el dueño de la ‘verdad’, sino tan solo un humilde buscador de ella. En palabras de Popper:

¹¹³ POPPER, Karl. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 302-303.

¹¹⁴ MILLER, David, comp. El racionalismo crítico. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 29.

“Aunque la idea de verdad sea absolutista, no podemos pretender alcanzar una certeza absoluta: somos buscadores de la verdad pero no sus poseedores”¹¹⁵.

Además:

“No es la búsqueda de la certeza. Errar es humano. Todo conocimiento humano es falible y por lo tanto incierto. De ello se sigue que hemos de establecer una firme distinción entre verdad y certeza”¹¹⁶.

Sin embargo, la idea de verdad objetiva de Popper también se opone a diferentes tipos de teorías de la ‘verdad’ las cuales se pueden indicar como *concepciones subjetivistas de la verdad*. Entre ellas mencionó:

“La teoría de la coherencia que confunde la consistencia con la verdad, la teoría de la evidencia, que confunde ‘lo que debe ser verdad’ con la ‘verdad’, y la teoría pragmática o instrumentalista, que confunde lo útil con lo verdadero”¹¹⁷.

Todas aquellas teorías subjetivistas de la verdad, señaló Popper:

“Surgen de la posición subjetivista fundamental que puede concebir el conocimiento como una especie de estado mental, o como una disposición, o como una clase especial de creencia, caracterizada, por ejemplo, por su historia o por sus relaciones con otras creencias”¹¹⁸.

Por lo tanto, las concepciones subjetivistas de la verdad —según Popper— suelen concebir por ‘verdad’ aquello que es comúnmente aceptado por una gran mayoría, o lo que es establecido por un grupo de expertos, o lo que es considerado coherente y sin contradicciones, o lo que resulta —en alguna medida— útil para la predicción de ciertos sucesos o eventos. Mientras que, para el ideal de la *verdad objetiva*, se considera que es posible diferenciar la ciencia racional de las diferentes formas de *creencias* sobre lo que es la ‘verdad’, y todo ello gracias a una *actitud* crítica. Así que lejos de aceptar cualquier *teoría subjetivista de la verdad*, Popper advirtió enfáticamente que en las ciencias empíricas una teoría puede ser verdadera, aunque nadie se atreva a creer en ella, y que a su vez una teoría puede ser falsa, aunque varios creen que existen ciertas razones relativas para creer en su verdad. Para ofrecer una mayor claridad sobre lo que es la teoría de la *verdad objetiva*, veamos a continuación un simpático ejemplo, que es muy ilustrativo, y que se encuentra en el libro de *Conjeturas y refutaciones*:

¹¹⁵ POPPER, Karl. Las dos caras del sentido común. Conocimiento Objetivo. Madrid: Tecnos, 1974, p. 53.

¹¹⁶ POPPER, Karl. El conocimiento y la configuración de la realidad. En búsqueda de un mundo mejor. Barcelona: Paidós, 1994, p. 18.

¹¹⁷ MILLER, David, comp. Verdad y aproximación a la verdad. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 199.

¹¹⁸ *Ibíd.*, p. 200.

La situación de la verdad en el sentido objetivo, como correspondencia con los hechos, y su papel como principio regulador pueden ser comparados con un pico montañoso que está permanentemente, o casi permanentemente, envuelto en nubes. El alpinista no solamente puede tener dificultades para llegar a él, sino que puede no saber cuándo llega a él, porque puede ser incapaz de distinguir, en medio de las nubes, la cumbre principal de algún pico subsidiario. Pero esto no altera el hecho de la existencia objetiva de la cumbre, y si el alpinista nos dice: «Tengo algunas dudas acerca de si llegué realmente a la cumbre», entonces reconoce, por implicación, la existencia objetiva de la cumbre. La idea misma de error o la de duda (en su normal sentido directo) implican la idea de una verdad objetiva que podemos no alcanzar¹¹⁹.

Por consiguiente, Popper no solo consideró que es posible obtener cada vez un mayor acercamiento a la verdad (o *verosimilitud*), sino que también consideró que, en la medida en que obtenemos un mayor acercamiento, o *verosimilitud*¹²⁰ sobre alguna explicación científica, a su vez también adquirimos una mayor objetividad en ese asunto. Al respecto, el profesor colombiano Campo Elías Burgos, quien se basa en las ideas de Popper, afirmó lo siguiente:

Lo objetivo guarda relación con lo falsable, lo que se puede eliminar, criticar, contrastar, porque está regulado por la idea de verdad. [...] el conocimiento científico apunta a la verdad objetiva; sin esto no se puede hablar de un conocimiento de la realidad. En todo caso, lo objetivo está conformado por teorías conjeturales, por problemas pendientes, por situaciones problemáticas, por argumentos y por todo trabajo científico orientado a acrecentar el conocimiento mediante la discusión de teorías rivales y la crítica que se hace de los argumentos¹²¹.

Finalmente, es de señalar que Popper consideró que su idea de verdad objetiva, no solo posee importancia para la ciencia, sino que también resulta necesaria para las diferentes sociedades, ya que la idea de verdad objetiva posibilita el rechazo de

¹¹⁹ POPPER, Karl. La teoría de la verdad objetiva: la correspondencia con los hechos. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 277.

¹²⁰ Se aclara que la noción popperiana de *verosimilitud* —que en palabras sencillas se refiere a un acercamiento a la verdad según cierta conjetura X sea más *corroborada* y/o discutida racionalmente respecto a otras teorías rivales—, no debe asemejarse ni confundirse nunca la probabilidad (en el sentido del cálculo de probabilidades). Además, la *verosimilitud* que involucra la crítica racional y la corroboración, difiere considerablemente de la «*probabilidad*» de una hipótesis o el grado de confirmación de Carnap, pues la *verosimilitud* combina la idea de verdad con alto contenido informativo, mientras que el grado de confirmación supone erróneamente que las teorías e hipótesis de la ciencia tienden a mayor probabilidad (en el sentido matemático). De hecho, según Popper, las teorías con mayor *verosimilitud* al poseer mayor contenido son —al mismo tiempo— más improbables en el sentido matemático del cálculo de probabilidades. Al respecto puede verse más adelante la sección 3.1.2. de la presente monografía.

¹²¹ BURGOS, Campo Elías. La lógica de la investigación científica. Segunda parte. En: La Lámpara de Diógenes. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México, vol. 12, núm. 22-23, 2011, p. 230.

cualquier postura autoritarita, y meramente tradicionalista; pues estas posturas suelen imponer la 'verdad' como tutela de una razón absolutista (dogmatismo), o como 'verdad manifiesta'¹²² (o revelación) por la religión. Mientras que el ideal de la verdad objetiva, por el contrario, presupone la discusión crítica y racional entre las personas, pues las personas se podrían escuchar entre sí libremente, para lograr en conjunto, un acercamiento a la verdad.

1.5. METODOLOGÍA FALSABILISTA DE LAS CIENCIAS EMPÍRICAS

Desde la perspectiva del *racionalismo crítico* y a partir del criterio falsabilista se entiende que los enunciados de la ciencia se caracterizan principalmente por ser lógicamente falsables, y que la experimentación implica tentativas de refutar o falsear una teoría, hipótesis o un sistema teórico; las teorías científicas ciertamente pueden ser *empíricamente falsables*. Por consiguiente, es necesario aclarar que la falsabilidad como criterio de demarcación refiere, única y exclusivamente, a la *falsabilidad lógica* y no precisamente a una refutabilidad empírica. Esta última claridad resulta poseer extremada importancia, pues una cosa es evaluar si los enunciados de una teoría son susceptibles de ser falsadas (aquí lo que se hace una evaluación o análisis lógico de los enunciados base), y otra cosa muy diferente es evaluar la "verdad" o "falsedad" de aquella teoría por medio de la experiencia (aquí se efectúa un test o procedimiento experimental que nos ayude a determinar si la teoría es acertada o errada). Ambos sentidos son completamente diferentes, pues el primero se refiere al criterio de demarcación, en tanto que el segundo se refiere en últimas, al importante y complicado problema de la verdad, como también al problema de la corroboración. Un posible tránsito o puente entre los dos aspectos del mismo falsabilismo: (1) *lógicamente falsable* y (2) *empíricamente refutable*, se entablaría por la susceptibilidad de contrastabilidad¹²³, pues una teoría que es *lógicamente falsable*, sería razonablemente una teoría que guarda la posibilidad de ser contrastable, es decir, una teoría a la quizá, eventualmente se le pueda efectuar algún tipo de proceso experimental.

Ahora bien, si un experimento refuta la conjetura en cuestión, entonces se dice que la teoría es falsada, pero sí en cambio la teoría sobrevive a múltiples intentos de

¹²² POPPER, Karl. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 447.

¹²³ En lo que respecta a la contrastabilidad, en *La lógica de la investigación científica* Popper aclaró que: "[...] no pido que sea preciso haber contrastado realmente todo enunciado científico antes de aceptarlo: sólo requiero que cada uno de estos enunciados sea susceptible de contrastación; dicho de otro modo: me niego a admitir la tesis de que en la ciencia existan enunciados cuya verdad hayamos de aceptar resignadamente, por la simple razón de no parecer posible —por razones lógicas— someterlos a contraste". En: POPPER, Karl. Objetividad científica y convicción subjetiva. *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 47.

falsación, se dice que la teoría es *corroborada*. No obstante, aún hace falta matizar ciertos detalles, por ejemplo, como explica el filósofo de la ciencia Ulises Moulines:

No tiene la misma significación cognoscitiva una hipótesis que ha sido corroborada muchas veces y nunca falsada, a pesar de repetidos intentos, que otra hipótesis que nunca ha sido corroborada, o solo pocas veces. Consideremos las dos siguientes hipótesis generales: (a) «todos los animales están compuestos de células» y (b) «todos los organismos que existieron alguna vez en Marte fueron unicelulares». Ambas hipótesis son falsables (y por eso son genuinas hipótesis científicas), aunque ninguna de las dos ha sido falsada hasta ahora. Ahora bien, mientras (a) ha sido corroborada innumerables veces, en cambio (b) no ha sido corroborada nunca. En este sentido, (a) representa una contribución mucho más útil a la ciencia que (b)¹²⁴.

Pese a que no siempre resulta viable que las teorías sean falsadas (es decir, rechazadas tajantemente por la experimentación), obtenemos que entre más *corroborada* sea una teoría, sin llegar ser falsada, adquiriría mayor grado de corroboración, es decir, obtendría mayor preferencia sobre otras teorías menos corroboradas. La noción de *grado de corroboración* de Popper, propone la preferencia temporal de una teoría sobre otras teorías rivales, sin incurrir en la pretensión verificacionista o confirmacionista de señalar presuntas certezas o grados de «probabilidad inductiva». Según Popper “al corroborar las teorías, puede hacerlas parecer 'probables', pero en ninguno de los sentidos de la palabra 'probable' que satisfacen el cálculo de probabilidades: por esta razón prefiero hablar de 'corroboración’”¹²⁵.

Una hipótesis que es sometida a numerosos y cruciales intentos de refutación empírica, sin lograr ser falsada, no podría considerarse una hipótesis o teoría concluyentemente verdadera, o «probable» en el sentido del cálculo de probabilidades. Según Popper la ciencia no posee ni autoridad, ni validez ni fundamento ni certeza, en el sentido de que las teorías siempre son conjeturas que pueden en cualquier momento ser rechazadas o reemplazadas por otras teorías. A una conjetura o hipótesis de la ciencia ni puede atribuírsele una certeza absoluta como lo concibió el método cartesiano (o método categórico-deductivo), ni tampoco una verdad definitiva como lo concibió el primer *verificacionismo* ingenuo de Wittgenstein, ni tampoco atribuírsele grados de confirmación o «probabilidad» de que ella sea efectivamente verídica como sugirió Carnap con su *confirmacionismo* que es una especie de *verificacionismo* (débil); lo único posible de afirmar a partir del *racionalismo crítico* de Popper es que una hipótesis o teoría que no logra ser falsada tras varios intentos, ha sido más corroborada, por lo cual sería más *objetiva*, o en otras palabras, se aproximaría más a la verdad, y por ende, poseería un mayor grado de *verosimilitud* o *similitud con la verdad*. De hecho, a partir del *racionalismo*

¹²⁴ MOULINES, Ulises. David Hume. Popper y Kuhn: dos gigantes de la filosofía de la ciencia del siglo XX. Madrid: Bonal letra Alcompas S, L., 2015, p. 46.

¹²⁵ POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 372.

crítico, se entiende que el desarrollo del conocimiento científico consiste fundamentalmente en el continuo proceso de alcanzar hipótesis o teorías, que posean una mayor *similitud con la verdad*.

Pero la verosimilitud no debe confundirse con la probabilidad en el sentido del cálculo de probabilidades; si bien ambas nociones están 'estrechamente relacionadas con la idea de verdad, y ambas introducen la idea de un acercamiento por grados a la verdad'¹²⁶, poseerían una relación inversa entre sí. Mientras la probabilidad lógica —no la probabilidad física o estadística— obtendría mayor certeza lógica o verdad tautológica con la disminución de contenido informativo, la verosimilitud obtendría mayor grado de verdad en tanto más improbabilidad lógica posee; esto debido al axioma de monotonía del cálculo de probabilidades.

Es de considerar que la idea de verosimilitud combina la idea de verdad con el contenido informativo, y eso explica que a mayor contenido menos probabilidad lógica; pues si aumentase la probabilidad lógica tendría que disminuir el abundante contenido que requeriría una mayor verosimilitud, y si aumentase la verosimilitud, debido al abundante contenido informativo que poseería, disminuiría la probabilidad lógica. Por tal motivo Popper consideró que el desarrollo de las teorías científicas no se efectúa por un aumento de su probabilidad en el sentido del cálculo de probabilidades, pues queremos teorías poderosas, con mayor contenido empírico, con mayor verosimilitud, y por ende teorías más improbables en el sentido del cálculo de probabilidades. Por ello Popper señaló:

Según esta concepción [falsabilista], la racionalidad de la ciencia y de sus resultados —y, por tanto, de la 'creencia' en ellos— está esencialmente ligada a su progreso, con la siempre renovada discusión sobre sus méritos relativos de las teorías nuevas; está ligada al *derrocamiento progresivo* de las teorías más que a su supuesta *consolidación progresiva* (o creciente probabilidad), resultante de la acumulación de observaciones en su apoyo, como creen los inductivistas¹²⁷.

Como se afirmó antes en la sección 1.3.1. de la presente monografía, el verificacionismo se encuentra estrechamente ligado al *dogma positivista del significado* o del *sentido*, el cual en su primera época afirmó que solamente podemos considerar como enunciado científico ese que es susceptible de validación empírica, es decir, que lo científico para la concepción neopositivista estaba enmarcado únicamente por aquello de lo que supuestamente era posible establecer su verdad o falsedad; pero en su segunda época el empirismo lógico, asumió una versión débil de 'verificacionismo' al que denominaron 'confirmabilidad' con base a la «probabilidad».

¹²⁶ POPPER, Karl. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 290.

¹²⁷ POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 98. Entre corchetes aclaración añadida.

Gracias a las primeras críticas de Popper al verificacionismo ingenuo¹²⁸, con el tiempo los positivistas lógicos reconocieron que la inducción sería incapaz de concederle validez absoluta (o certeza) a una hipótesis de la ciencia; pero luego Popper¹²⁹ vería como los inductivistas en cabeza de su lógico Rudolf Carnap, recogerían algunas tesis de Reichenbach, y considerarían que el problema de la inducción se resolvía construyendo una lógica generalizada o una lógica de la probabilidad; supusieron que una lógica inductiva era semejante a una lógica probabilista o general. En otras palabras, los positivistas lógicos consideraron que, si bien la inducción no podría establecer la verdad definitiva o certeza de una hipótesis, si podría atribuir a una hipótesis inducida cierto grado de confirmabilidad o «probabilidad».

Evaluar la «probabilidad» de una hipótesis a partir de ciertas premisas inductivas es descrito por Popper¹³⁰ de la siguiente manera: los inductivistas partirían de considerar algunos enunciados de la probabilidad inferencial (puede verse más adelante qué es un enunciado de probabilidad inferencial en la sección 3.1.4. de la presente monografía), y después considerarían que la siguiente fórmula de la teoría del cálculo de probabilidad: $p(a,b)=r$ (esto se lee: la probabilidad de **a** dado **b** es igual a **r**), se podría convertir de forma convincente en $p(h,e)=r$ (donde **h** es la hipótesis o conclusión inductiva, **e** la evidencia inductiva, y **r** alguna fracción sobre el valor de la probabilidad entre 0 y 1). De modo que $p(h,e)=r$ representaría el grado de que nuestro conocimiento seguro (es decir la evidencia **e**) justificaría la creencia en la hipótesis **h**; lo anterior sería una lógica inductiva la cual los inductivistas asemejarían con una lógica de la probabilidad. No obstante, como señaló Popper:

“La apelación a la probabilidad no afecta en absoluto al problema de la inducción. [...] toda hipótesis universal *h* va tanto más allá que cualquier evidencia empírica *e*, que su probabilidad $p(h,e)$ siempre será cero, porque las hipótesis universal hace afirmaciones sobre un número infinito de casos, mientras que el número de casos observados sólo puede ser finito”¹³¹.

Popper señaló que la probabilidad inductiva es inviable según el mismo cálculo de probabilidades, pues en un universo infinito, con la mera recopilación de datos o ejemplos favorables de confirmación (que serían de por sí finitos), el contenido lógico de una hipótesis inductiva ofrecería una probabilidad lógica (absoluta) igual, o muy cercano a 0, esto debido al axioma de la monotonía del cálculo de probabilidades. Además, el autor aseveró que: “[...] ningún inductivista ha explicado

¹²⁸ Según el filósofo Javier Echeverría: “[...] la crítica de Popper a la verificabilidad como criterio de significación empírica tuvo un impacto enorme, haciendo que estas posturas iniciales del Circulo de Viena fueran consideradas como un empirismo excesivamente ingenuo”. En: ECHEVERRÍA, Javier. Introducción a la metodología de la ciencia. Madrid: Ediciones cátedra, S.A., 1999, p. 27.

¹²⁹ POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 258.

¹³⁰ *Ibid.*, p. 258.

¹³¹ *Ibid.*, 259.

nunca cómo interpretar « $p(h,e)$ » cuando e mismo es incierto y, presumiblemente «sólo probable». Tampoco nos son «dados» esos enunciados evidenciales por Dios, por la naturaleza, por nuestros sentidos. Toda observación y, aún en mayor grado, todo enunciado de observación es, él mismo ya, *una interpretación a la luz de nuestras teorías*¹³².

Popper¹³³ indicó que una de las diferencias fundamentales entre el verificacionismo de los positivistas lógicos y su propia concepción falsabilista, consiste en que mientras los verificacionistas piensan que todo 'ejemplo' o implicación observacional de una hipótesis h apoyaría a la misma hipótesis h (por ejemplo, la observación de un uróboro negro apoyaría la hipótesis todos los uróboros son negros), él consideraría —en cambio— que únicamente las contrastaciones auténticas son las que podrían apoyar a la hipótesis h . Así lo enunció el mismo Popper:

En la concepción verificacionista de la cuestión, existe una relación sencilla de la lógica formal —la ejemplificación— cuya presencia o ausencia decide si e apoya o no a h . Si e es un ejemplo de h , entonces e apoya a h . En mi propia concepción, la situación es menos sencilla: sólo si e es el resultado de auténticos y sinceros intentos de refutar h , puede considerarse que e apoya a h ¹³⁴.

Es de considerar que las réplicas efectuadas constantemente a Popper por rechazar la inducción, y que a su vez le acusan de ser un anti-inductivista radical, generalmente no suelen percatarse contra que va dirigida la crítica en cuestión del filósofo austriaco. La crítica de Popper a la inducción va dirigida básicamente a la pretensión metodológica de fundamentar o consolidar las teorías e hipótesis, ya que la inducción no serviría para justificar o validar *lógicamente* —y a lo largo del tiempo— las teorías de la ciencia. Por otro lado, contrario a lo que suele suponerse, el autor nunca propuso un método o forma de cómo el científico debe crear sus propias teorías o hipótesis; eso hace parte de la creatividad e imaginación de cada científico e investigador, y no hay método para ello. En aquella medida, durante el proceso de creación el científico o investigador puede hacer empleo de casi cualquier estrategia, y ciertamente, puede efectuar numerosas observaciones sobre la ocurrencia de un fenómeno determinado para forjar una conjetura (es decir, puede incluso emplear tentativamente algunas inferencias inductivas). Según se aprecia en la bibliografía popperiana, no importaría tanto como se nos ocurra las ideas e hipótesis, sino que lo realmente importante es cómo ponemos a prueba esas ideas e hipótesis. En otras palabras, lo realmente importante para Popper, es que una vez formulada una hipótesis, no se pretenda buscar formas de cómo validarla o confirmarla (esto es, empleando métodos inductivos de confirmación), ya que se trataría —más bien— de cómo poner a prueba esas hipótesis a través de la

¹³² *Ibíd.*, p. 262.

¹³³ *Ibíd.*, p. 275.

¹³⁴ *Ibíd.*, p. 275.

discusión crítica, y de buscar contraejemplos; se trataría de cómo contrastar o, mejor dicho, de cómo corroborar las hipótesis o teorías o conjeturas de la ciencia. Las anteriores cuestiones se refieren a la primera dirección que toma la crítica de la inducción que realizó Popper. También existe una segunda dirección, y ella se dirige contra la interpretación subjetiva de la probabilidad, pues ésta se basaría en principios inductivos, y consideraría erróneamente que, por medio de conocimiento incompleto o nesciencia, se podría obtener frecuencias relativas objetivas de la naturaleza, pero esto lo veremos en la segunda parte de la presente monografía.

1.5.1. Las diferentes clases de teorías

En *Escritos selectos*, Popper¹³⁵ presentó un esquema general de los diferentes tipos de teorías que contempla o distingue su filosofía de la ciencia, entre los cuales menciona: (1) las teorías formales como la lógica y la matemática. (2) Las teorías de la ciencia empírica, y (3) las teorías metafísicas o filosóficas. Sobre las primeras, Popper afirmó que las teorías formales como las matemáticas serían fundamentalmente *demostrables*, pero si acaso quisiéramos intentar refutar una de aquellas teorías, sencillamente la pondríamos a prueba —por ejemplo— tratando de refutar o comprobar su negación (a esto se le conoce como *método de reducción al absurdo*). Sobre las segundas, las teorías de la ciencia empírica serían teorías que pueden ser claramente susceptibles de falsabilidad lógica, una circunstancia que implicaría que éstas —quizá— puedan ser eventualmente sujetas a la experimentación o refutabilidad empírica. Y sobre las terceras, Popper afirmó que las teorías filosóficas y metafísicas, en evidencia de su constitución especulativa, no podrían ser debidamente demostrables, como tampoco refutables; no obstante Popper arguyó que es posible desarrollar y discutir racionalmente algunas de las teorías de índole metafísico, bajo la condición de que aquellas manifiesten la característica primordial de determinar el tipo de problemas que la misma teoría estaría intentando solucionar. En palabras de Popper:

“[...] cualquier teoría racional, sin importar que sea científica o filosófica, es racional en tanto que intenta resolver ciertos problemas. Una teoría es comprensible y razonable sólo en relación con determinada situación de problema. Y sólo puede discutirse racionalmente estudiando esta relación”¹³⁶.

Por lo cual, según Popper, algunas teorías metafísicas pueden ser, ciertamente, discutidas en el campo de la ciencia.

¹³⁵ MILLER, David, comp. *Metafísica y criticabilidad*. Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 230.

¹³⁶ *Ibíd.*, p. 232.

1.6. REQUISITOS PARA EL DESARROLLO DEL CONOCIMIENTO

En *Conjeturas y Refutaciones* Popper¹³⁷ dilucidó una suerte de requisitos para el desarrollo del conocimiento como acercamiento progresivo a la verdad. Este consiste en la búsqueda de mejores teorías que se aproximen más a los hechos reales y físicos. En esta medida se entiende, en un primer momento, que una nueva teoría de la ciencia debe, por ejemplo, explicar algunos hechos experimentales mejor que otras teorías antecesoras, pero aún más, la *nueva teoría* debe resolver problemas teóricos como: (a) eludir algunas hipótesis *ad hoc*, o (b) encontrar la forma de agrupar dos teorías en el mismo esquema teórico. No obstante, lo manifestado anteriormente no resulta suficiente, por lo cual Popper propone tres primordiales requisitos que considera indispensables para el desarrollo del conocimiento científico:

- 1) **Requisito de simplicidad:** según este primer requisito la nueva teoría debe surgir de una idea que sea simple, novedosa y unificadora, que además muestre conexiones y relaciones entre cosas, hechos o 'nuevas entidades teóricas', que antes no habían sido vistas.
- 2) **Requisito de la testabilidad independiente:** según este segundo requisito, la nueva teoría propuesta, debe ser testable independientemente, es decir, la nueva teoría debe ser sometida a la prueba experimental donde "[...] además de explicar todos los *explicanda* que la nueva teoría debe explicar, debe tener también nuevas consecuencias testables [...] [lo cual implica que] debe conducir a la predicción de fenómenos hasta ahora no observados"¹³⁸. La importancia de este segundo requisito radica en el hecho de que sugiere no confiar absolutamente en una nueva teoría que posea una hipótesis *ad hoc*, pues las hipótesis *ad hoc* además de no ofrecer explicaciones satisfactorias, no serían testables independientemente.
- 3) **Requisito del nuevo y severo test:** según este último requisito, el éxito de la nueva teoría estaría respaldada cada vez que ella supere nuevos test empíricos. Mientras los dos primeros requisitos son requisitos formales que nos permiten considerar si una teoría puede ser aceptada o tenida en cuenta en la ciencia, según Popper¹³⁹ este último requisito no es tan indispensable como los dos requisitos anteriores.

¹³⁷ POPPER, Karl. Tres requisitos para el desarrollo del conocimiento. *Conjeturas y refutaciones*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 294.

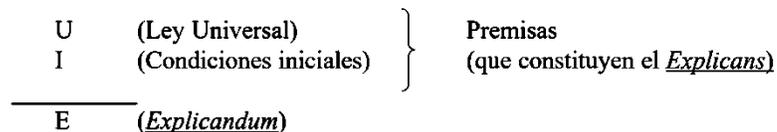
¹³⁸ *Ibíd.*, p. 295.

¹³⁹ *Ibíd.*, p. 296.

1.7. LA EXPLICACIÓN CIENTÍFICA

Se considera que Popper fue uno de los pioneros del modelo deductivo-nomológico¹⁴⁰ de la explicación científica. Dicho modelo dice que: a partir de un conjunto de premisas (*explicans*), que contendrían por lo menos un enunciado universal, y prosiguiendo con la aplicación de unas adecuadas leyes deductivamente-lógicas, se llegaría finalmente a una conclusión (*explicandum*) que podría reflejar: (a) la explicación de un fenómeno singular o, (b) la explicación de una regularidad o ley general de la naturaleza. Al respecto, el profesor Carlos Verdugo Serna asevera que, el modelo deductivo-nomológico es “la idea de que una explicación es una deducción (o argumento deductivo) cuyas premisas requieren de la existencia de, por lo menos, una ley universal”¹⁴¹. Además, muestra como dicho modelo, indicaría un esquema lógico sobre la explicación científica, que se ilustra de la siguiente manera:

Esquema 2: Explicación científica.¹⁴²



Popper explicó este modelo en varios de sus escritos, entre ellos, en su ensayo “El objetivo de la ciencia”¹⁴³, en el cual afirmó que mientras suponemos inicialmente al *explicandum* como verídico, los *explicans*, por su parte, representarían el objetivo principal de la investigación científica, pues el *explicans* “como regla general no será conocido; tendrá que descubrirse”¹⁴⁴. Pero además, dijo que la explicación científica, o *explicandum*, cuando es descubrimiento “será la explicación de lo conocido por medio de lo desconocido”¹⁴⁵.

¹⁴⁰ Según explica el profesor Carlos Verdugo Serna, el autor austriaco, en *La lógica de la investigación científica* (1934), ya había esbozado las ideas básicas del modelo nomológico-deductivo. Pero años más tarde, Carl Hempel y Paul Oppenheim, en un artículo titulado: “Studies in the logic of explanation” (1948), presentarían la primera formulación precisa de éste modelo. Véase: VERDUGO, Carlos. Popper y la explicación científica. En: Revista de Filosofía, Vol. 30 Núm. 1, 2005. p. 57.

¹⁴¹ VERDUGO, Carlos. Popper y la explicación científica. En: Revista de Filosofía, Vol. 30 Núm. 1, 2005. p. 56.

¹⁴² Esquema extraído de: VERDUGO, Carlos. Popper y la explicación científica. En: Revista de Filosofía, Vol. 30 Núm. 1, 2005. p. 54.

¹⁴³ MILLER, David, comp. El objetivo de la ciencia. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 178.

¹⁴⁴ *Ibid.*, p. 178.

¹⁴⁵ *Ibid.*, p. 178.

Según declaró Popper, aquello que concierne a lo *satisfactorio* del *explicans* obedece a una cuestión de grados, en donde se requerirían condiciones como: (a) los *explicans* deben deducir lógicamente el *explicandum*, y (b) los *explicans* deben presumirse inicialmente cómo verídicos (aunque de momento no lo sepamos, pues solo se puede conocer de forma segura su posible *acierto* o *falsedad* luego de un examen más riguroso). Pero en caso de que después de varias pruebas, no se logre reconocer rigurosamente, si el *explicans* es verídico (algo que frecuentemente sucede), habría que exigir “una prueba independiente a su favor”¹⁴⁶. Por lo cual, los *explicans* tendrían que ser comprobables empíricamente de forma totalmente independiente; y entre mayor rigurosidad posean aquellas pruebas independientes, mayor *satisfactoriedad* tendrían los mismos *explicans*. Con éste modelo para la explicación científica, Popper procuró eliminar de la ciencia empírica explicaciones que serían ciertamente *insatisfactorias* como: las explicaciones *circulares* (que son explicaciones donde la única evidencia a favor del *explicans* es el *explicandum* mismo), y las explicaciones *ad hoc*, las cuales no serían comprobables independientemente. Por ello Popper comienza exigiendo que:

“Para que el *explicans* no sea *ad hoc*, debe tener un contenido rico: debe tener una variedad de consecuencias que se puedan poner a prueba, y entre ellas, especialmente, consecuencias comprobables que sean diferentes del *explicandum*. Son estas diferentes y comprobables consecuencias las que tengo en cuenta cuando pienso en pruebas independientes, o de evidencia independiente”¹⁴⁷.

No obstante, Popper encontró que, si bien, la anterior consideración resulta algo esclarecedora, sería de por sí insuficiente para caracterizar, rigurosamente, la idea de un *explicans*, que sea ciertamente *satisfactorio*, y comprobable independientemente. Puesto que, aun así, se podría deducir a conveniencia el *explicandum*, haciendo recurso a un *explicans* que incorpore una hipótesis *ad hoc*; pues de un *explicandum* «dígase α », y de una consecuencia cualquiera *ad hoc* «dígase b », se podría emplear la conjunción de « α y b » como un *explicans*, y ello sería algo que podría aparentar la *satisfactoriedad* del *explicandum*. Es por ello, que para evitar aquel tipo de circunstancias, o maniobras, Popper precisó finalmente que debe exigir que los *explicans*, empleen leyes universales “con el suplemento de condiciones iniciales”¹⁴⁸, pues aquellas leyes universales podrían ofrecer el contenido abundante que se requiere para que aquellas premisas puedan ser comprobadas independientemente. De aquella manera, Popper llegó al modelo nomológico-deductivo, según la cual una explicación satisfactoria es: (1) “una explicación en términos de leyes comprobables y falsificables, de condiciones iniciales. Y una explicación de esta clase será tanto más satisfactoria cuanto más comprobables sean estas leyes y cuanto mejor se hayan puesto a prueba. (Esto

¹⁴⁶ *Ibíd.*, p. 178-179.

¹⁴⁷ *Ibíd.*, p. 179.

¹⁴⁸ MILLER, David, comp. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 179.

también se aplica a las condiciones iniciales)”¹⁴⁹; y en la medida en que los *explicans* deben ser comprobables y falsificables independientemente, se entendería que (2) “el objetivo de la ciencia es obtener teorías explicativas que sean lo menos *ad hoc* posible: una ‘buena’ teoría no es *ad hoc*, mientras que una ‘mala’ teoría lo es”¹⁵⁰.

Sin embargo, Popper confesó que, si bien, en ocasiones sucede que una hipótesis que inicialmente parecía ser *ad hoc*, termina siendo finalmente una hipótesis auxiliar, y por ende comprobable empíricamente, y de forma individual, ello no quiere decir que sea válido implementar, continuamente, y en todos los casos, las hipótesis *ad hoc*. Además, según el autor¹⁵¹, aunque una hipótesis *ad hoc* pueda resultar testable, aquella situación en caso de una prueba negativa, obligaría a abandonar aquella hipótesis, o por otro lado, a recurrir a otra hipótesis *ad hoc* secundaria para rescatar la teoría, una situación que podría incluso continuar *ad infinitum*.

Considerando lo anterior, y en vista de que Popper cuestionó la interpretación de Copenhague, al considerar que ésta posee una hipótesis *ad hoc* al emplear el principio de complementariedad de Bohr, resulta pertinente reflexionar los siguientes aspectos que se describen en el siguiente apartado.

1.7.1. Hipótesis auxiliares e hipótesis *ad hoc*

En palabras sencillas, las hipótesis auxiliares representan nuevas premisas que se añaden al conjunto enunciativo de una teoría empírica (o hipótesis fundamental). Dicha conjunción entre las dos hipótesis (fundamental y auxiliar) permitiría sustraer nuevos contenidos contrastadores, o lo que resulta igual, consentiría nuevos enunciados observacionales que se podrían someter a la práctica experimental o realidad empírica. Es importante vislumbrar claramente que, las hipótesis auxiliares —aunque puedan aparentar ser implicaciones de la teoría— de ninguna manera son derivaciones de una hipótesis fundamental, sino que más bien, aquellas consistirían en nuevas premisas que se incorporan conjuntivamente a ella; de modo que, aquellas incrementarían el contenido empírico de la teoría (o hipótesis fundamental). De esta manera, es importante comprender que las hipótesis auxiliares se caracterizan por: (1) ser independientes de la teoría (o hipótesis fundamental), y, por ende, (2) podrían ser falsadas o contrastadas con absoluta independencia de la teoría fundamental, e incluso antes de ser incluidas en ella.

¹⁴⁹ *Ibíd.*, p. 180.

¹⁵⁰ POPPER, Karl. *Conjeturas y refutaciones*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 89-90.

¹⁵¹ MILLER, David, comp. *Popper: Escritos selectos*. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 142.

Según Popper, el recurso de hipótesis auxiliares puede ser efectivamente beneficioso y lícito para cualquier teoría de la ciencia empírica. Por consiguiente, el autor austriaco no encontró mayores inconvenientes o reparos para su implementación en la investigación científica; aunque sugirió —de ser posible— que éstas mismas hipótesis auxiliares sean previamente e individualmente contrastadas en la experiencia, pues también podría suceder que una hipótesis *ad hoc* simule ser una oportuna y pertinente hipótesis auxiliar, cuando quizá no lo sea; ya que, según indicó Popper, las hipótesis auxiliares podrían ser contrastadas independientemente, pero lo mismo no sucedería con las hipótesis *ad hoc*.

Las hipótesis auxiliares son muy utilizadas en la ciencia, y frecuentemente se emplean para contribuir con un adecuado resultado en las mediciones efectuadas por medio de alguna hipótesis fundamental. Como señaló el profesor Jorge Cornejo: “sí, por ejemplo, queremos contrastar la ley de gravedad [hipótesis fundamental] con algún cálculo relativo al movimiento planetario, todos los supuestos vinculados a la estructura del sistema solar, el número y dimensiones de los planetas, etc., y aun las consideraciones relativas al funcionamiento de nuestros telescopios y otros aparatos de medición, se contarán entre las hipótesis auxiliares”¹⁵².

Sobre las hipótesis auxiliares, Carl Hempel en una de sus obras filosóficas: *Filosofía de la ciencia natural* (publicado en 1978), dedicó a partir de su segundo capítulo, una minuciosa reflexión al extenso tema de las hipótesis y su contrastación; sin embargo allí también mostró varios ejemplos interesantes sobre la incorporación de algunas hipótesis auxiliares —o de supuestos auxiliares, como a veces los denomino— en reconocidas teorías de la ciencia¹⁵³. Uno de los ejemplos más atrayentes de Hempel, es el particular caso investigativo del doctor Semmelweis en el campo de la ciencia de la salud y la medicina. En resumen, Hempel mostró cómo el doctor Semmelweis investigó en un hospital de Viena, y a partir del año de 1844, la causa de una extraña enfermedad con altos índices de mortandad entre las mujeres gestantes, conocida como la fiebre puerperal o fiebre post-parto. Pero no fue sino hasta después de varios años de investigación, y luego de numerosas e infructuosas conjeturas que no revelaban las verdaderas causas u orígenes de aquella enfermedad, que el doctor Semmelweis finalmente consiguió obtener una apropiada hipótesis sobre la fuente biológica de dicho padecimiento. Sin necesidad

¹⁵² CORNEJO, Jorge. Sobre la estructura lógica de la física. En: innovaciones didácticas. Enseñanza de las ciencias, 2000, 18 (2), p. 336. Entre corchetes agregado del autor de la presente monografía.

¹⁵³ Es de advertir que en el presente apartado solamente se recurre, única y exclusivamente, a la obra de Hempel para revelar algunos ejemplos sobre las hipótesis auxiliares, y las hipótesis *ad hoc*. Por cierto, la caracterización conceptual que desarrolla éste autor, no difiere —en mayor medida— a la comprensión que Popper mantiene sobre éstos tipos de hipótesis. En cuanto a las implicaciones, o consecuencias teóricas que desarrollan ambos autores sobre aquellos dos tipos de hipótesis, pese a mostrar cierta similitud, como por ejemplo, la apatía de ambos por las hipótesis *ad hoc*, se considera que un desarrollo ulterior sobre los posibles acuerdos o desacuerdos entre los dos autores, sería parte de un tema muy específico que no compete a la presente monografía, por consiguiente, nuevamente se reitera que la alusión a Hempel, en este apartado, se restringe solamente a los ejemplos que aporta sobre las hipótesis auxiliares y *ad hoc*.

de adentrarnos en los muchos detalles que describe Hempel acerca de la investigación del doctor Semmelweis, es posible afirmar que dicho doctor logró conquistar una teoría (o hipótesis fundamental) según la cual: “la fiebre puerperal está producida por la contaminación con materia infecciosa”¹⁵⁴, pues entre otras cosas, dedujo que, debido a que los médicos del pabellón hospitalario que atendían las autopsias, eran los mismos que asistían los partos de las mujeres gestantes, ellos posiblemente, eran los que transmitían la enfermedad con sus manos a las mujeres que atendían en los partos. Es de advertir que, por aquel entonces, aún se desconocía cualquier enfermedad de origen microbiano.

Si bien aquella hipótesis fundamental se sospechaba posible o cierta, aquella claramente, debía ser primeramente sometida a prueba empírica, es decir, debía ser contrastada. También resulta innegable que por sí sola, dicha hipótesis fundamental era insuficiente, pues ¿cómo someter a prueba empírica aquella hipótesis? Por lo cual el doctor Semmelweis consideró que aquella hipótesis fundamental debía incorporar una hipótesis diferente y que fuese auxiliar, la cual considerase que: “una solución de cal clorural destruirá la materia infecciosa”¹⁵⁵. De aquel modo, cómo el doctor Semmelweis ya había considerado inicialmente que la fiebre puerperal es provocada por la contaminación con materia cadavérica (hipótesis fundamental), y que además, la solución de cal clorural aniquilaría la materia infecciosa (hipótesis auxiliar), solicitó a cada uno de los médicos de su pabellón que luego de realizar sus respectivas autopsias, y antes de asistir a los partos, que se lavasen las manos escrupulosamente con una solución de cal clorural (condición de testeo), consiguiendo como resultado —luego de varias semanas de prueba—, una notoria disminución en los índices de mortandad por la fiebre puerperal en las mujeres gestantes (es decir, obtuvo prueba o contrastación empírica de la conjunción entre la hipótesis fundamental y la hipótesis auxiliar).

Por otra parte, las hipótesis *ad hoc* son aquellas que se emplean con el único y pleno propósito de rescatar o redimir una teoría empírica ante una circunstancia significativamente adversa. Según Popper: “las explicaciones *ad hoc* son las que no son contrastables independientemente; esto es, independientemente del efecto a explicar. Se formulan para un problema concreto, por lo que tienen escaso interés teórico”¹⁵⁶.

Asimismo, Hempel consideró que, aquel tipo de hipótesis “no vendría exigida por otros datos, y, en general, no conduce a otras implicaciones contrastadoras”¹⁵⁷. Por ejemplo, a comienzos del siglo XVIII una teoría de la alquimia (o de la embrionaria química) que inicialmente declaraba cierta utilidad, aseveraba que durante el

¹⁵⁴ HEMPEL, Carl. La contrastación de una hipótesis, su lógica y su fuerza. Filosofía de la ciencia natural. Madrid: Alianza Universidad, 1973, p. 43.

¹⁵⁵ *Ibid.*, p. 43.

¹⁵⁶ POPPER, Karl. Conocimiento Objetivo. Madrid: Tecnos, 1974, p. 28.

¹⁵⁷ HEMPEL, Carl. La contrastación de una hipótesis, su lógica y su fuerza. Filosofía de la ciencia natural. Madrid: Alianza Universidad, 1973, p. 52.

proceso de combustión de los metales se fugaba una sustancia denominada *flogisto*. Pero no fue sino hasta las investigaciones de Lavoisier, quien realizó varios experimentos con metales, que se mostró, en contra de lo que afirmaba dicha teoría, que ‘el producto final del proceso de combustión tiene un peso mayor que el del metal originario’¹⁵⁸. De modo que la teoría del flogisto resultaba ser, a la luz de los experimentos, totalmente desacertada. Pese a esto hubo quienes no quisieron abandonar aquella teoría, y propusieron solventar aquella dificultad, incorporando la hipótesis *ad hoc* según la cual ‘el flogisto tenía un peso negativo’, por ende, durante la supuesta fuga del *flogisto* en el proceso de combustión del metal, se produciría aquel mismo incremento en el peso del residuo. Lavoisier tuvo razón en su descubrimiento experimental, y la teoría del *flogisto* pese a la incorporación *ad hoc* de aquel extraño supuesto, no perduró por mucho tiempo.

Como advirtió Hempel, cada vez que miramos las teorías científicas del pasado, parece fácil desechar algunos supuestos por considerarlos hipótesis *ad hoc*; por el contrario, resulta bastante difícil evaluar de la misma forma una hipótesis que se plantea en nuestra contemporaneidad. Por ello dijo Hempel que: “no hay, de hecho, un criterio preciso para identificar una hipótesis *ad hoc*”¹⁵⁹. No obstante, el mismo autor, consideró completamente posible el establecer ciertas orientaciones, o el inspeccionar ciertos indicadores¹⁶⁰, que ayudarían en cierta medida (no completamente) a examinar si la hipótesis es auxiliar, o si por su parte es *ad hoc*.

Claramente Popper no desconoció aquella dificultad de diferenciar tajantemente, y, para cualquier posible caso, entre una hipótesis *ad hoc* y una hipótesis auxiliar. En un pequeño ejemplo, el autor austriaco mostró cómo la mecánica de Newton sobre los movimientos planetarios, no lograba de ninguna manera explicar ciertas desviaciones del planeta Urano, circunstancia que afectaba la hipótesis fundamental de Newton. Sin embargo, el interés de superar dicha dificultad sugirió una hipótesis aparentemente *ad hoc*, según la cual se suponía la existencia de otro planeta, que precisamente fuese el causante de aquellas desviaciones. Ésta última hipótesis, debía ser considerada *ad hoc*, pues no había razones —aparte de salvaguardar la teoría de Newton— para suponer la existencia de un cuerpo que hasta entonces nunca había sido observado. Pero, a partir de aquel supuesto, se realizaron los cálculos pertinentes y se descubrió, finalmente, la ubicación del

¹⁵⁸ *Ibíd.*, p. 53.

¹⁵⁹ *Ibíd.*, p. 53.

¹⁶⁰ Hempel sugiere interrogar aspectos como: (a) si la hipótesis únicamente se emplea para salvar la concepción teórica de un planteamiento empírico que le es adverso, (b) si explica otros fenómenos, (c) si da lugar a más implicancias contrastadoras, y (d) si para hacer compatible una concepción básica con los datos experimentales, hace falta incorporar más y más hipótesis concretas, que finalmente harían dicho sistema demasiado complejo. Véase: HEMPEL, Carl. La contrastación de una hipótesis, su lógica y su fuerza. Filosofía de la ciencia natural. Madrid: Alianza Universidad, 1973, p. 53.

planeta Neptuno¹⁶¹; el cuerpo celeste que ocasionaba las anomalías orbitales del planeta Urano. De aquella manera Popper mostró como una hipótesis que inicialmente era presuntamente *ad hoc*, finalmente terminó siendo revelada como una auténtica hipótesis auxiliar, pues dicha hipótesis logró ser efectivamente comprobada individualmente en la realidad empírica. Por consiguiente, es necesario enfatizar que, según Popper, las hipótesis auxiliares, a diferencia de las hipótesis *ad hoc*, pueden ser independientemente (o individualmente) contrastadas, pero aun así reconoce que: “la distinción entre una hipótesis *ad hoc* y una hipótesis conservadora auxiliar es un tanto vaga”¹⁶².

Por último, veamos otro ejemplo empleado por Popper para mostrar aquella dificultad que surge de la pretensión metodológica de distinguir entre aquellos dos tipos de hipótesis. Dicho ejemplo proviene de la física cuántica. Wolfgang Ernst Pauli con la intención de salvar la ley de la conservación de la energía, en la teoría de la desintegración nuclear radioactiva, propuso la hipótesis del neutrino, que señaló la existencia de una hipotética partícula subatómica de la cual no se tenía ninguna evidencia empírica. Por consiguiente, dicha situación sugería que la hipótesis de Pauli era presumiblemente *ad hoc*. Sin embargo, pese a que en un principio se creyó totalmente imposible prueba alguna e independiente de la existencia del neutrino, finalmente aquella se constató empíricamente, de forma tal que ésta ya no se trataba de una hipótesis *ad hoc*, sino antes bien de una hipótesis auxiliar. Por ello Popper afirmó: “esto nos advierte que no debemos pronunciar un edicto demasiado severo contra las hipótesis *ad hoc*: pueden convertirse en hipótesis comprobables, como también puede ocurrir a las hipótesis metafísicas”¹⁶³.

¿Quiere decir la anterior situación que, en la ciencia empírica, puede ser válido o lícito aprovechar cualquier tipo de hipótesis, sean *ad hoc* o auxiliares? No realmente, por lo menos para Popper, quien a diferencia de otros filósofos de la ciencia como Paul Feyerabend —quien alguna vez fue su discípulo, pero que luego se apartaría notablemente de sus ideas y propondría el *anarquismo metodológico*— planteó que las hipótesis *ad hoc*, pese a mostrar en ocasiones cierta utilidad, serían realmente *insatisfactorias*, e incluso, el filósofo austriaco argumentó que, asimismo lo habría divisado el mismo Pauli cuando presentó su propuesta del neutrino. Así que, pese a la dificultad que supone efectuar una clara distinción entre aquellos dos tipos de hipótesis (auxiliares y *ad hoc*), algo resultó totalmente claro e ineludible para el filósofo austriaco, y ello es que “el objetivo de la ciencia estriba en encontrar *explicaciones satisfactorias* de cualquier cosa que nos parezca necesitar

¹⁶¹ El francés Le Verrier y el astrónomo inglés J. C. Adams calcularon en el año de 1843, de forma independiente, y con ayuda de la teoría fundamental de Newton, las posiciones que debía ocupar aquel conjeturado nuevo planeta.

¹⁶² MILLER, David, comp. Hipótesis *ad hoc* e hipótesis auxiliares. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 142.

¹⁶³ *Ibid.*, p.142.

explicaciones”¹⁶⁴, y las hipótesis auténticamente *ad hoc*, realmente, no otorgarían —de ninguna manera— explicaciones *satisfactorias*.

1.8. LOS PROGRAMAS METAFÍSICOS DE INVESTIGACIÓN

Una vez hemos visto los principales aspectos del racionalismo crítico, y descubierto el criterio falsabilista de demarcación que pretende reivindicar el papel de la metafísica, es momento de adentrarnos en el concepto de *programa metafísico de investigación*.

Como hemos visto, en Popper hallamos un dominante interés cosmológico que indaga por la posibilidad de elaborar una imagen unificada de la realidad, pero donde también se pueda explicar, y dar cuenta, de la profusa diversidad de elementos que se encuentran inmersos en el universo. Pero si bien la ciencia ha sido la mejor herramienta que ha dado cuenta de las explicaciones del mundo, no sería suficiente por sí sola, sino que haría falta todavía una visión mucho más amplia, que sólo podría lograrse en vínculo con la filosofía, y en especial con la metafísica, para así poder lograr dicho cometido cosmológico de explicar satisfactoriamente los acontecimientos de la naturaleza. Según Popper, la ciencia requiere de la filosofía para conjuntamente elaborar aquella visión de la realidad, pues no hay que olvidar que, según el racionalismo crítico, la pregunta o inquietud filosófica es quien muchas veces precisa, regula y orienta las mismas teorías científicas. Es justamente a ese conjunto compuesto de herramientas científicas, y regulaciones filosóficas, o metafísicas, lo que Popper denominó como: programa metafísico de investigación.

En el *Post scriptum a La lógica de la investigación científica*, Popper introdujo el concepto de *programa metafísico de investigación*¹⁶⁵, con el propósito de esclarecer que, en lo que respecta a la investigación científica, especialmente en aquellos problemas y cuestiones que no consigue mayores aportes con las ideas, hipótesis y concepciones científicas vigentes, es necesario recurrir tanto a los argumentos científicos como a las ideas metafísicas. Popper afirmó:

“[...] introduce el término ‘programa metafísico de investigación’ para referirme al doble carácter de esas importantes teorías cosmológicas: su *carácter programático*, que a menudo da forma y determina el curso de la investigación y la evolución

¹⁶⁴ MILLER, David, comp. El objetivo de la ciencia. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 178.

¹⁶⁵ Según Popper varios años después de que él introdujese aquel termino, algunos de sus colaboradores como Lakatos, acuñaron el término ‘programa científico de investigación’ sin que ellos le atribuyesen algún mérito. Véase: POPPER, Karl. Prefacio de 1982. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 54. Y la nota 42 del mismo libro.

científicas, y su *carácter incontrastable* (en todo caso, al principio) y, por tanto, metafísico”¹⁶⁶.

Como es posible apreciar, los programas metafísicos de investigación, poseerían una función heurística, programática, y regulativa; estarían encargados de orientar la investigación científica de manera que puedan contribuir a la creación de nuevas perspectivas sobre el cómo afrontar aquellos problemas todavía no resueltos en la ciencia; pero también, estarían encargados de señalar los posibles caminos en los que se ha de buscar cada una de las posibles respuestas y explicaciones satisfactorias. Sin embargo, según indicó Popper, quienes recurran a los programas metafísicos de investigación mantendrían la esperanza de que éstos sean solamente transitorios, ya que esperarían que, al enfrentarlos al debate y a la discusión racional, puedan alcanzar —en la posteridad— un estatus científico. Como afirmó Popper en relación a las teorías metafísicas:

Al examinar y escrudiñar esas teorías especulativas podemos desarrollarlas en gran manera, y quizá acabar por llevarlas a un punto en el que pueden ser contrastadas empíricamente [...] Muchas especulaciones cosmológicas —en particular en sus formulaciones iniciales— no pueden ser contrastadas o falsadas empíricamente; por tanto prefiero llamarlas ‘metafísicas’ en lugar de ‘científicas’¹⁶⁷.

El ejemplo más común empleado por el mismo Popper sobre cómo una respetable teoría científica puede comenzar a partir de una simple especulación metafísica, es el *atomismo* de Leucipo y Demócrito; fue una teoría metafísica elaborada por presocráticos, quienes, en la antigüedad, consideraron la existencia de átomos y movimiento. Dicha teoría, como sabemos, en su génesis tan solo era apreciada meramente como especulación metafísica, pero a lo largo de la historia, no pasó desapercibida por el pensamiento filosófico y científico, y por ello fue constantemente debatida, hasta alcanzar en el siglo XX el estatus de teoría científica debido al modelo atómico de Lord Kelvin y de los siguientes modelos atómicos de Rutherford y Bohr.

En el tercer volumen del *Post Scriptum* Popper¹⁶⁸ señaló brevemente una lista de los más importantes programas metafísicos de investigación que han existido en la historia de la ciencia física, el autor mencionó: (1) el universo en bloque de Parménides, (2) el atomismo de Leucipo y Demócrito, (3) la aritmetización de la cosmología pitagórica que fue replanteada por Platón, (4) el esencialismo y potencialismo de Aristóteles, (5) la física del renacimiento que propuso una

¹⁶⁶ POPPER, Karl. Prefacio de 1982: sobre una interpretación realista y de sentido común de la teoría cuántica. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 53.

¹⁶⁷ *Ibid.*, p. 53.

¹⁶⁸ POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 178-180.

restauración de la cosmología geométrica de Platón (Copérnico, Kepler, Bruno, Descartes, Galileo), (6) la teoría del mundo como reloj (Hobbes, Descartes, Boyle), (7) el dinamismo de Newton donde toda causación física se explica por el empuje o por fuerzas de atracción, (8) los campos de fuerza (Maxwell y Faraday), (9) la teoría unificada de campos (Riemann, Einstein, Schrödinger), y (10) la interpretación estadística de la teoría cuántica de Born, según la cual puede describirse como “una revisión al atomismo en su sentido original: lo que existe son corpúsculos o partículas; y el campo y su vibración representan simplemente los instrumentos matemáticos de una física de partículas, indeterminista, y por medio de dichos instrumentos podemos calcular la probabilidad, puramente estadística, de encontrar una partícula en un estado determinado”¹⁶⁹. Aquellos programas abordan diferentes problemas cosmológicos fundamentales en la ciencia física.

Ahora bien, el *atomismo* de Leucipo y Demócrito fue uno de los programas metafísicos de investigación más fructíferos a lo largo de la historia de la ciencia occidental. En vista de que la teoría de Leucipo y Demócrito posee importancia y relación con algunos debates en la ciencia física, a continuación, veremos brevemente la perspectiva de Popper frente al desarrollo de la teoría *atomista* a partir del problema del cambio.

1.8.1. La teoría atomista a partir del problema del cambio

En *El mundo de Parménides* Karl Popper efectuó una interesante exposición sobre cómo afrontar el desarrollo del problema del cambio que todavía persiste en el estudio de la ciencia física, a partir de las reflexiones cosmológicas traídas a colación de la filosofía presocrática. Popper ubicó los primeros desarrollos en torno al problema del cambio, la identidad y el estudio de los invariantes en autores presocráticos como Jenófanes, quien a través de su poesía elabora las primeras reflexiones en torno a dichas problemáticas, como su discípulo Parménides, el primero que, empleando un sistema analítico y deductivo concluye la negación de cualquier posible cambio o movimiento. Heráclito quien al parecer precedió por muy poco a Parménides, también discurrió sobre dicha problemática, pero a diferencia de Parménides, concluyó que todo cambiaba, pues para dicho filósofo todo sería una perenne transición entre cualidades opuestas: transición del día a la noche, o de la hoja verde a la hoja ocre. De modo que para Heráclito no habría cosas estables si no solamente procesos que fluyen en constante transformación como el fuego. En aquella medida, Popper¹⁷⁰ sugirió que en la ciencia moderna, la búsqueda de invariantes (regularidades o leyes de la naturaleza), podría pensarse como una suerte de sincretismo o reconciliación entre éstos dos autores presocráticos, pues

¹⁶⁹ *Ibíd.*, p. 180.

¹⁷⁰ PETERSEN, Arne; MEJER, Jorgen. Comps. *El mundo de Parménides*. Barcelona: Paidós, 1999, p. 12.

en la ciencia física se pretende encontrar aquello que para Parménides sería permanente y estable, en medio de lo que para Heráclito se mantiene en constante fluidez y transición. Desde luego que el anterior mencionado sincretismo no obedece exactamente a las propias ideas que expresaron dichos filósofos, pues para cada uno de ellos lo que permanece y cambia posee sus propias características; aun así, aquellos planteamientos particulares nos ofrecen la posibilidad de reflexionar el problema del cambio desde una perspectiva reconciliada que recoge las ideas más interesantes de ambos autores. A continuación, se mostrará brevemente algunas de las características más importantes que desarrollan cada uno los dos filósofos presocráticos antes mencionados.

1.8.1.1. El cambio como proceso constante según Heráclito

Frente al problema del cambio, Heráclito manifestó que no existen las cosas como si fuesen estados concretos e inmóviles, si no que antes bien, las cosas serían *procesos* que fluyen en constante transición entre cualidades opuestas. Según Heráclito: “las cosas no son en realidad cosas, sino procesos; fluyen”¹⁷¹. En esta medida, a pesar de que no siempre notemos el cambio, se considera que todo lo que percibimos se encontraría en constante transformación de sus cualidades; así por ejemplo, el río transforma lentamente el cañón por el que transita, o simplemente también pudiese suceder que el cambio sea incluso imperceptible a nuestros sentidos¹⁷², como por ejemplo cuando el metal ligeramente se desgasta con el pequeño roce de una piedra; en todo caso siempre habría un perpetuo cambio o fluir en todo lo que se encuentra en la naturaleza. Según Popper¹⁷³, Heráclito era consciente de que los interrogantes sobre el problema del cambio presuponen la existencia de un *algo* que cambia, pero que mientras cambia ese *algo* debería seguir siendo lo mismo, es decir, que ese *algo* que es cambiante, aquel proceso que fluye constantemente como el fuego, mantendría de alguna manera cierta identidad, pues como resaltó Popper “resulta esencial para la idea de cambio que la cosa que cambia retenga su identidad mientras cambia”¹⁷⁴. Al respecto, la respuesta que según Popper¹⁷⁵ ofrece Heráclito es que los opuestos poseen la misma identidad. De modo que, a partir de Heráclito es posible concebir que el cambio es una

¹⁷¹ Heráclito citado en: *Ibíd.*, p. 33.

¹⁷² Según Popper: “[...] Heráclito vio que las cosas son procesos, que nuestros cuerpos son llamas, que ‘una roca o un caldero de bronce... sufre constantemente cambios invisibles’”. En: PETERSEN, Arne; MEJER, Jorgen. Comps. *Vuelta a los presocráticos. El mundo de Parménides*. Barcelona: Paidós, 1999, p. 39.

¹⁷³ *Ibíd.*, p. 34.

¹⁷⁴ *Ibíd.*, p. 34.

¹⁷⁵ *Ibíd.*, p. 189-190. Por otro lado, dice Popper: “los opuestos son idénticos porque sólo pueden existir como polos de un contraste, esto es, juntos; o como polos de un cambio que constituye el proceso de cambio como tal”. En: PETERSEN, Arne; MEJER, Jorgen. Comps. *Addendum. El mundo de Parménides*. Barcelona: Paidós, 1999, p. 283.

transición de un *algo* que posee cierta identidad, pero cuyas cualidades pueden variar en un proceso constante entre sus opuestos¹⁷⁶.

Según Popper¹⁷⁷ Heráclito diferenció la *realidad* de la *apariencia*. Siendo la *apariencia* nuestra forma humana de percibir *algo* como si fuesen cosas concretas, que exhiben alguna cualidad entre sus opuestos, en tanto que la *realidad* sería *una* y consistiría en que todo es un proceso de constante cambio; pero además, aquella *realidad* se caracterizaría por ser únicamente aprehensible enteramente por la diosa Dikē, pues ante los ojos de aquel ser mítico tanto la vida y la muerte, la juventud y la vejez, el sueño y la vigilia, como cualquier otro par de opuestos, serían realmente parte del mismo proceso. Según Popper, para Heráclito: “todas las cosas son una; todas ellas forman parte del proceso del mundo, el fuego perenne”¹⁷⁸, y esa sería la *realidad*. Pero esto, supondría un problema para Heráclito, pues a pesar de creer vigorosamente en el cambio como tránsito continuo entre cualidades u opuestos, o como un perpetuo proceso, el cambio tan solo correspondería —en realidad, y ante los ojos de la diosa— al efecto que genera la *apariencia* en los mortales, pues solo ante estos se manifiesta algún estado cualitativo entre los opuestos, y por lo tanto, ante la diosa, no existiría realmente el movimiento, o lo que es igual, el cambio, y ello sería una contradicción que Parménides habría identificado¹⁷⁹, y que indicaría que en Heráclito *el cambio es algo paradójico*¹⁸⁰. Dicha paradoja en el problema del cambio en Heráclito, se resume de la siguiente manera: a pesar de que el filósofo presocrático creyó que todo es un perpetuo cambio, ya que todo lo que percibimos se mantiene en constante fluidez entre cualidades opuestas, el mismo cambio tan solo obedecería a una simple ilusión, “[...]puesto que la realidad es una, debe permanecer idéntica a sí misma durante el cambio”¹⁸¹, y aquella realidad únicamente sería aprehensible enteramente a los ojos de la diosa¹⁸², e indicaría que los opuestos serían realmente parte de lo mismo, por consiguiente, el cambio no sería algo real sino una simple ilusión propia de la condición humana.

¹⁷⁶ Según Popper así también lo habría visto Anaxímenes y Anaximandro. Véase: PETERSEN, Arne; MEJER, Jorgen. Comps. Vuelta a los presocráticos. El mundo de Parménides. Barcelona: Paidós, 1999, p. 34.

¹⁷⁷ *Ibíd.*, p. 208.

¹⁷⁸ *Ibíd.*, p. 35.

¹⁷⁹ Según Popper: “la solución de Heráclito a este problema es que no hay cosas estables y que todas las cosas aparentes son en realidad procesos, como las llamas. En realidad, sólo hay cambio. Parece que Parménides consideraba que la solución de Heráclito era (lógicamente) inadmisibles, cosa que también hizo Aristóteles en un momento posterior”. En: PETERSEN, Arne; MEJER, Jorgen. Comps. El mundo de Parménides. Barcelona: Paidós, 1999, p. 157.

¹⁸⁰ *Ibíd.*, p. 208.

¹⁸¹ *Ibíd.*, p. 208.

¹⁸² Según Popper: “Heráclito dice de Dios que, al igual que el cosmos, es la identidad de ‘todos los opuestos’: ‘Dios es día y noche, invierno y verano, guerra y paz, saciedad y hambre’”. En: PETERSEN, Arne; MEJER, Jorgen. Comps. Addendum. El mundo de Parménides. Barcelona: Paidós, 1999, p. 284.

1.8.1.2. Universo en bloque de Parménides

Parménides, quien identificó el error argumentativo de Heráclito, a diferencia de aquel, afirmó que el movimiento no existe, siendo este —según Popper¹⁸³— el primer argumento empíricamente contrastable. Según Popper, para Parménides: “todo está en reposo, dado que el mundo está atestado”¹⁸⁴. A dicha visión del universo estático, permanente, como unidad y determinista, se le conoce como la visión del *universo en bloque*. Como veremos a continuación, Parménides forjó todo un conjunto de premisas con las cuales sentenció que en el universo todo cambio realmente obedece a una simple ilusión. La reconstrucción que realizó Popper sobre aquel sistema deductivo de Parménides, es igual al que sigue:

Premisa: Sólo lo que es verdaderamente el caso (como lo que es conocido) puede ser el caso y puede ser verdaderamente.

Primera conclusión: Lo no-existente no puede ser.

Segunda conclusión: La nada o el vacío no puede ser.

Tercera conclusión: El mundo es pleno, es un bloque continuo sin división alguna. Cuarta conclusión: Dado que el mundo es pleno, el movimiento es imposible¹⁸⁵.

Parménides concibió al universo como un bloque único, en donde la noción de vacío, al presuntamente no poseer una supuesta realidad empírica (es decir, por no-ser), indicaría que todo aquello que percibimos como si fuesen opuestos realmente serían parte de lo mismo; pues, desde una perspectiva quizá más cercana a la lógica, Parménides supuso que el hecho de considerar un enunciado tal como «el-no-ser no es», denotaría el vacío, o lo que es igual señalaría la nada¹⁸⁶. De esta manera, si la nada no existe, ya que según Parménides «lo que-no-es no puede ser», todo conformaría realmente —y pese a los presumibles engaños de nuestros sentidos como humanos— una unidad plena o un bloque universal e indivisible, ya que cualquier división de las cosas implicaría la existencia del vacío; en otras palabras, tener por verdadero no solo lo-que-es (lo existente), si no también lo-que-no-es (la nada), induciría al error de atribuirle realidad a los contrarios, y ello sería lo que llevaría a la ilusión del cambio que solo podría efectuarse en el vacío¹⁸⁷. De ahí que según Popper, para Parménides, tanto la luz como la oscuridad, o cualquier otro par de contrarios, ante los ojos de la diosa Dikē¹⁸⁸, consentirían ser parte de lo mismo, y únicamente ante los seres finitos surgiría la ilusión de las cualidades contrarias. Por lo cual en dicho universo lleno no habría realmente

¹⁸³ *Ibíd.*, p. 210.

¹⁸⁴ *Ibíd.*, p. 123.

¹⁸⁵ *Ibíd.*, p. 163.

¹⁸⁶ *Ibíd.*, p. 35.

¹⁸⁷ *Ibíd.*, p. 36.

¹⁸⁸ Según Popper: “Parménides alude a ella como la guardiana y custodia de las llaves de la verdad, así como la fuente de todo su conocimiento”. En: PETERSEN, Arne; MEJER, Jorgen. Comps. *El mundo de Parménides*. Barcelona: Paidós, 1999, p. 337.

cabida alguna para el movimiento. Según Popper¹⁸⁹, Parménides concluyó que: «todo cambio, es una ilusión».

Desde luego que la respuesta que ofrece Parménides al problema del cambio resulta ser por mucho bastante extraña y por lo demás alejada del sentido común, pues no resulta nada fácil considerar que el cambio no existe, o que simplemente aquella obedece a una simple ilusión humana. Al respecto, Popper¹⁹⁰ denominó a dicha situación extraña como el *aparente anacronismo de Parménides*, y planteó las siguientes tesis hipotéticas sobre el porqué Parménides —pese a ser un gran pensador— insistió en aquellas peculiares ideas, según Popper¹⁹¹: (a) Parménides universalizó su teoría sobre Selene, que aseguraba que la luna no se mueve y que los supuestos cambios de fases lunares en donde la luna crece o mengua correspondían a un simple juego de luces y sombras pero no al movimiento, (b) Parménides invirtió *el estilo tradicional*¹⁹² de los pensadores de su época, al considerar que el mundo de las apariencias (el cual suponía que el cambio es verdadero) era efectivamente el mundo ilusorio, en similitud con lo que sucedería con la caverna de Platón¹⁹³, en tanto que el mundo real sería aquel donde el cambio se desenmascara y se muestra como unidad entre los contrarios, pues en el mundo real todo permanece, y ese es precisamente el mundo que solamente puede concebir la diosa, y (c) Parménides estuvo particularmente interesado en una respuesta más cercana a la razón y al método de la contra-prueba¹⁹⁴, que en ofrecer una respuesta de tipo *sensualista*, pues los sentidos —según él— nos engañan como si se tratase —al igual que supone que sucede con la luna—, de un juego de luces y sombras. Al respecto, Popper¹⁹⁵ encontró que la solución que ofrece Parménides sobre el problema del cambio no solo era inaceptable sino también absurda, pero como señaló el autor austriaco, “una teoría, aunque sea absurda, siempre es mejor que no tener ninguna”¹⁹⁶, y por otro lado, también habría que considerar que el pensamiento de aquel presocrático entrañaría varios logros, entre los cuales ha de mencionarse —por lo menos— los siguientes dos: (i) propuso —pese a su rechazo al sensualismo— el primer argumento deductivo susceptible de falsación empírica, y (ii) estimulo en la ciencia la búsqueda de lo que permanece, es decir, de las invariantes, que Popper¹⁹⁷ describe como la indagación de aquello que no cambia durante el cambio, y que posteriormente en el campo de la física haría referencia especialmente a las ecuaciones diferenciales¹⁹⁸. Resumiendo:

¹⁸⁹ *Ibíd.*, p. 157.

¹⁹⁰ *Ibíd.*, p. 118.

¹⁹¹ *Ibíd.*, p. 102 y 120.

¹⁹² *Ibíd.*, p. 127.

¹⁹³ *Ibíd.*, p. 134.

¹⁹⁴ *Ibíd.*, p. 125.

¹⁹⁵ *Ibíd.*, p. 211.

¹⁹⁶ *Ibíd.*, p. 128.

¹⁹⁷ *Ibíd.*, p. 205.

¹⁹⁸ En el prefacio del libro: *El mundo de Parménides*, Popper afirmó: “el más largo de los ensayos no publicados (el Ensayo 7), que originalmente se titulaba ‘La racionalidad y la búsqueda de invariantes’, se retrotrae a los años sesenta. Trata de mostrar que Heráclito (‘todo cambia’) y Parménides (‘nada

Parménides consideró que realmente todo permanece en una unidad como si se tratase de un universo en bloque, que los contrarios son una simple apariencia y que por ende el cambio tan solo es una circunstancia aparente e ilusoria ante la cual sucumben los seres mortales, pues para la diosa cualquier par de contrarios sería verdaderamente parte de lo mismo. Además, dicha circunstancia sobre el problema del cambio en el contexto de la modernidad también ha de considerar que según Popper:

Los historiadores de la ciencia o de la filosofía que se resisten a atribuir a un gran pensador como Parménides una doctrina tan gravemente no empírica como la del carácter ilusorio del cambio (no menos que una doctrina tan difícil de aceptar como la de que la conciencia es lo único del universo que de hecho sufre el cambio) tal vez se resistan menos al ver que unos científicos tan grandes como Boltzmann, Minkowski, Weyl, Schrödinger, Gödel y sobre todo Einstein, han visto las cosas de manera parecida a Parménides y se han expresado en términos extrañamente similares¹⁹⁹.

Según Popper, muchos de los planteamientos expuestos originalmente por Parménides, permanecerían y subyacerían en las reflexiones de algunos científicos contemporáneos, como estudiosos de la ciencia formal.

1.8.1.3. El atomismo de Leucipo y Demócrito

Por su parte, Leucipo y Demócrito fueron los primeros filósofos presocráticos que, interesados en ofrecer una refutación empírica al sistema deductivo de Parménides sobre el problema del cambio, ofrecieron una teoría exitosa que imagino la existencia de átomos indivisibles en el vacío; teoría que permaneció en la ciencia moderna hasta comienzos del siglo XX. La refutación que ofrecieron ambos presocráticos al sistema analítico de Parménides fue descrita por Popper, tal y como sigue:

- 4'. Es falso que el movimiento sea imposible, ya que existe el movimiento.
- 3'. Por tanto, es falso que el mundo sea pleno y que conste de un gran bloque indivisible. Por tanto, hay muchas cosas o pequeños bloques corpóreos o plenos que son indivisibles; esto es, hay muchos átomos.
- 2'. Dado que es falso que sólo exista lo pleno, también existe el vacío.
- 1'. Por tanto existe el vacío supuestamente inexistente²⁰⁰.

cambia') se han visto reconciliados y combinados en la ciencia moderna que busca la invarianza parmenídea en el flujo heraclíteo. (Como señalaba Émile Meyerson, eso se consigue en física con las ecuaciones diferenciales)". En: *Ibíd.*, p. 11-12.

¹⁹⁹ *Ibíd.*, p. 226.

²⁰⁰ *Ibíd.*, p. 165.

Leucipo y Demócrito arguyeron que la experiencia, al evidenciar la existencia de movimiento en la naturaleza, refutaba claramente los argumentos deductivos de Parménides. Pero al mismo tiempo se dieron cuenta de que al suponer la existencia de movimiento también estarían suponiendo la existencia de un espacio vacío. De modo que según Popper²⁰¹, para Leucipo y Demócrito «lo-que-es» no solo era atribuible a lo pleno y completamente lleno, sino que también, aquello podría constar de partes que se hallaban separadas por un espacio vacío. Es así como finalmente concluyeron que, en el mundo existen partículas, que son plenas en sí mismas, y que se pueden mover en un espacio vacío en el que se encuentran separadas en diferentes partes que constituyen un algo. Por lo tanto, los atomistas fueron los primeros en efectuar una teoría exitosa en el campo de la física capaz de explicar el cambio, donde “[...] todo cambio, especialmente todo cambio cualitativo, ha de explicarse mediante el movimiento espacial de trozos inalterables de materia; esto es, mediante átomos que se mueven en el vacío”²⁰². Al respecto vale la pena aclarar que lo que cambia no corresponde precisamente a los átomos en sí (como si se tratasen de cambios intrínsecos), puesto que el cambio obedece al movimiento, distribución, o reordenamiento²⁰³ de los mismos átomos en el espacio vacío. Según Popper el descrito atomismo de Leucipo y Demócrito ha sido una de las teorías con mayor éxito en la historia de la ciencia debido fundamentalmente a que logró perdurar durante más de dos mil años. No obstante, según Popper²⁰⁴, a comienzos del siglo XX dicha teoría habría sido amenazada por acontecimientos como: la creación y destrucción de par de partículas, y con el descubrimiento de partículas elementales que cambian intrínsecamente (por ejemplo, como sucede con la desintegración de elementos inestables o radiactivos). Popper advierte que pese a dicha circunstancia, es posible entender que en los cambios y transformaciones intrínsecos, se conserva el momento y la energía, pues “[...] hay algo que permanece idéntico a sí mismo incluso con ocasión de los cambios intrínsecos, la cantidad de energía o momento, que es el invariante esencial del cambio”²⁰⁵.

1.9. RELACIONES ENTRE LA CIENCIA Y LA METAFÍSICA, SEGÚN EL RACIONALISMO CRÍTICO DE POPPER

Una vez hemos reconocido los principales aspectos concernientes al criterio de demarcación falsabilista, e identificado qué son los programas metafísicos de investigación, resulta viable efectuar una caracterización (entre otras posibles) que agrupe las principales relaciones que el autor admitió entre ciencia y metafísica.

²⁰¹ *Ibíd.*, p. 36.

²⁰² *Ibíd.*, p. 36.

²⁰³ *Ibíd.*, p. 210.

²⁰⁴ *Ibíd.*, p. 216.

²⁰⁵ *Ibíd.*, p. 216.

- **Relación de apoyo o contribución:** el criterio de demarcación que pretende en palabras sencillas distinguir entre aquello que pertenece a la ciencia y lo que definitivamente no pertenece a ella (pseudociencia o metafísica), no equivale a aquel *criterio de significatividad* de los positivistas lógicos, que pretendió anular enteramente los enunciados metafísicos; sino que antes bien, aquel sería un criterio de *distinción* sobre qué enunciados serían asuntos que merecen ser estudiados y perfeccionados por la ciencia empírica. Al respecto, es de recordar que el criterio falsabilista de demarcación de Popper no rechaza tajantemente los enunciados metafísicos, pues encuentra que muchos de aquellos enunciados, al pretender responder a algunas inquietudes de la ciencia empírica, pueden ser discutidos racionalmente, por lo cual, habría enunciados metafísicos que valdrían la pena que fuesen investigados y desarrollados por la misma ciencia empírica por medio de la crítica racional. En aquella medida, Popper encontró que ciertos enunciados de la filosofía, o de la metafísica, pueden generar valiosos aportes al campo estrictamente científico. Por lo tanto, una vez se admite que la especulación metafísica, que es susceptible de discusión racional —como es el caso del atomismo de Leucipo y Demócrito—, puede influir profunda y constantemente en las teorías científicas, se reconoce que la metafísica ciertamente puede efectuar apreciables contribuciones para el desarrollo de la ciencia.
- **Relación de origen:** a diferencia del positivismo lógico que constantemente rechazó la metafísica, el racionalismo crítico de Karl Popper aseguró que ella no debe impugnarse enteramente, sino que antes bien, debe reconocerse que es incluso origen las teorías de la ciencia. Según Popper, la gran mayoría de las teorías de la ciencia, emergieron de enunciados —que en principio— fueron consideradas como meras especulaciones metafísicas, por ejemplo, la teoría corpuscular de la luz y el atomismo. Además, pese a que los enunciados metafísicos no son susceptibles de validez o falsedad empírica, aquellos enunciados sí podrían ser discutidos racionalmente, siempre y cuando obedezcan a un interrogante preciso del cual sea posible efectuar dicha discusión crítica. Por lo cual, aquellos mismos enunciados metafísicos, podrían con el tiempo seguir siendo desarrollados, e incluso adquirir un carácter contrastable, y, por ende, de científicidad.
- **Relación programática o investigativa:** Popper consideró que los problemas más acuciantes de la ciencia empírica podrían ser solucionados con la asistencia de ideas que son en principio metafísicas; en aquella medida, los planteamientos metafísicos, y su conjunción con algunos enunciados científicos, forjarían alternativas que pueden proporcionar mejoras y avances en los problemas vigentes de la ciencia física, especialmente, en aquellas investigaciones donde no se encuentra una ruta potencial de investigación y trabajo. Pero aquí no sólo se trata de que las ideas metafísicas auxilien la investigación científica con algún planteamiento aislado y ocasional, pues con los programas metafísicos de investigación, la tarea consiste en configurar todo un gran sistema metafísico, que sea consistente con algún enfoque epistemológico, y que pueda soportar los rigurosos requerimientos racionales de la ciencia; se trata de que, con dichos

programas, se pueda elaborar todo un sistema que señale un trasfondo filosófico o concepción general sobre la estructura del mundo y sus componentes, pues estos programas deben ser capaces de regular el abordaje de las problemáticas, y a su vez, deben orientar la búsqueda de soluciones. Por lo tanto, los enunciados de la ciencia y de la metafísica, podrían conjugarse armónicamente para configurar un programa metafísico de investigación que trate de responder a ciertos interrogantes precisos de la ciencia empírica.

CAPÍTULO 2: REALISMO E INDETERMINISMO EN LA CIENCIA

2.1. EL REALISMO SEGÚN EL RACIONALISMO CRÍTICO DE POPPER

“[...] si es posible definir ‘verdad’ como ‘correspondencia con los hechos’ o, lo que es lo mismo, como ‘correspondencia con la realidad’, entonces también es posible definir ‘realidad’ como ‘correspondencia con la verdad’²⁰⁶.”

En varias de las obras de Popper, entre ellas: *Conjeturas y Refutaciones* (1963), y *Conocimiento Objetivo* (1972), Popper parte de considerar al *realismo* como una actitud sensata, razonable, y por lo demás, una suposición absolutamente cuerda. El autor emprendió su reflexión con la referencia a un denominado *realismo del sentido común*, el cual afirma que no existe motivo alguno por el cual ofrecer cuestionamientos a quien pueda asumir obviedades tales como: que existe un mundo real, que contiene cosas reales, animales reales, personas reales, etc. No obstante, pese al declarado aprecio de Popper²⁰⁷ por aquel denominado *realismo del sentido común*, encontró que de su discurso puede emerger un enfoque completamente inadecuado, el cual el autor denominó como “la *teoría del conocimiento del sentido común*” o “teoría de la cubeta de la mente”. Ante dicha situación, Popper efectuó una amplia reflexión en torno al debate entre lo que serían aquellas dos caras del sentido común: (a) una cara en la cual el *realismo* es una cuestión claramente sensata y razonable, y (b) otra cara donde la teoría del *conocimiento del sentido común*, termina reduciendo al *realismo objetivo* a meras impresiones mentales.

Al respecto, no hay mayores inconvenientes para comprender en principio la sencillez del primer enfoque o cara del *sentido común*, que fundamentalmente se encuentra a favor del *realismo*, a razón de que es lo más sensato. Por su parte, para entender el segundo enfoque, que es la *teoría de la cubeta de la mente* o la teoría de la mente como *tabula rasa*, podríamos —como lo ejemplifica Popper²⁰⁸— figurarnos la mente como si esta fuese una gran cubeta, la cual se iría llenando poco a poco, con la información de lo que puede captar gracias a los diferentes sentidos; en esa medida “nuestra mente es una pizarra vacía en la que los sentidos graban

²⁰⁶ POPPER, Karl. *Conocimiento Objetivo*. Madrid: Tecnos, 1974, p. 296.

²⁰⁷ Según declaró Popper “[...] pienso que toda la filosofía debe comenzar desde puntos de vista del sentido común y desde su examen crítico”. En: MILLER, David, comp. *El problema de la inducción*. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 118, y en *Conocimiento Objetivo* dice que una de sus tesis es precisamente partir del sentido común, y luego emplear la crítica como instrumento de desarrollo. Véase: POPPER, Karl. *Conocimiento Objetivo*. Madrid: Tecnos, 1974, p. 42.

²⁰⁸ El ejemplo se encuentra en: MILLER, David, comp. *El problema de la inducción*. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 118-119.

sus mensajes”²⁰⁹. Por consiguiente, según este último enfoque descrito, se considera que aprendemos todas las cosas, o casi todas las cosas, gracias a la experiencia que adquirimos por medio de los sentidos; por lo cual, las bases seguras de todo conocimiento serían “los datos, elementos, e impresiones de los sentidos, o experiencias inmediatas”²¹⁰. Según Popper, el filósofo David Hume y el obispo George Berkeley habrían notado el evidente choque o contraposición entre los dos planteamientos del *sentido común*; esto debido a que sí los datos de la mente son las bases seguras de todo conocimiento (según el segundo enfoque del sentido común), su asociación con —en el caso de Hume— la respuesta lógica y psicológica al problema de la inducción sobre la falta de validez de los enunciados de la ciencia, o bien —en el caso de Berkeley— con la idea de que la ciencia no nos revela las normas de verdad, ocasionaría serios problemas con el primer enfoque realista del sentido común. Según Popper, aquellos filósofos habrían optado por inclinarse hacia el segundo enfoque que es la *teoría de la cubeta de la mente*, y por ende asumieron posturas antirrealistas. Al respecto, Popper declaró que dicha teoría conlleva considerar que:

“Si el conocimiento resulta de sensaciones, entonces las sensaciones son los únicos elementos ciertos (veraces) de conocimiento, y no nos asiste ninguna buena razón para creer que exista nada fuera de nuestras sensaciones”²¹¹.

Popper²¹² muestra cómo para algunos filósofos modernos: David Hume, George Berkeley y Gottfried Leibniz, lo único indisputablemente existente serían las sensaciones, impresiones e imágenes de la memoria. Lo cual llevaría, justamente, a reducir la realidad (o el realismo objetivo), a las meras impresiones sensoriales. Por lo tanto, dicho enfoque, equivaldría a una postura antirrealista, en tanto que todo conocimiento se revelaría como una simple forma de *creencia*; y lo anterior, ciertamente, también implicaría una postura idealista.

La postura antirrealista de Hume se nutre lo que sería su propia respuesta al problema de la inducción; pero especialmente, de la respuesta que ofrece al segundo interrogante que escinde Popper sobre el problema de la inducción, y el cual refiere al denominado *problema psicológico de la inducción* H_{PS} ²¹³. Brevemente recordemos que dicho problema psicológico plantea la siguiente pregunta: ¿por qué a pesar de que los enunciados de la ciencia no poseen validez lógica, aún seguimos creyendo o confiando en ellas? La particular respuesta de Hume aseguró que nuestra *creencia* en los enunciados del ‘conocimiento científico’ provendría

²⁰⁹ POPPER, Karl. Conocimiento Objetivo. Madrid: Tecnos, 1974, p. 66.

²¹⁰ *Ibid.*, p. 67.

²¹¹ MILLER, David, comp. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 119

²¹² *Ibid.*, p. 119.

²¹³ Como se afirmó antes, Popper concuerda con Hume en su respuesta al problema lógico de la inducción, pero discreparía absolutamente de la respuesta que ofrece el filósofo escocés al problema psicológico de la inducción.

principalmente de la *costumbre* o el *hábito*. De forma tal que la ciencia, para Hume, tan solo sería una forma de *creencia*, puesto que para él no existiría correlación alguna entre aquellas leyes de la ciencia que se suponen *reales* y ciertas, y aquella evidencia inductiva que trata de validarlas; pues no se puede obtener ningún tipo de justificación lógica que permita efectuar dicha correlación. Por consiguiente, para Hume lo que sustenta la ciencia recaería inevitablemente en puras presunciones hechas por el hábito y la costumbre; además, no existirían inferencias lógicamente justificadas, y, por lo tanto, nada que pueda decirse que corresponda efectivamente a las verdaderas situaciones que exhibe la naturaleza física. Siguiendo las ideas de Hume, es como si los seres humanos apelásemos a nuestra propia *psique* (o mente) de una forma característicamente pasiva, por lo cual, simplemente, nos induciríamos a percibir una presumible ficción que se nutriría constantemente del *hábito* y la *costumbre*. En síntesis, para Hume, al no existir justificación lógica para las inferencias inductivas, nos estaríamos eventualmente engañando con una supuesta *realidad* que puede ser meramente ficticia o mental; pues lo único que resulta evidente para el autor escocés, es que los seres humanos, estaríamos completamente impedidos para distinguir las verdaderas (o reales) conexiones que exhibe la naturaleza física y extramental.

En respuesta a ese enorme desconcierto de Hume, que le arrojó a un escepticismo radical —especialmente en torno a la noción de *realidad*—, el autor austriaco hizo referencia, inicialmente, a un denominado “realismo científico”. Dicho *realismo*, sencillamente estaría apelando a la idea según la cual, las conjeturables e hipotéticas teorías de la ciencia, si bien no pueden ‘validarse’ por completo como lo pretendieron los *positivistas lógicos*, claramente sostienen la posibilidad de aproximarse poco a poco, y efectivamente, a la verdad —entendida como ideal regulativo, o verosimilitud—.

Al respecto, resulta interesante la siguiente afirmación del filósofo de la ciencia Andrés Rivadulla:

Una de las aportaciones más importantes de Karl Popper a la discusión del realismo científico contemporáneo consiste en su explicación del progreso de la ciencia a través del incremento de la verosimilitud de las teorías sucesivas. La metodología de la ciencia tendría, pues, que proporcionar los medios a fin de mostrar, en un momento determinado, si una teoría B es más verosímil que otra teoría competidora A²¹⁴.

Como ya hemos visto, el *racionalismo crítico* de Karl Popper concibe explícitamente un recurso de la lógica deductiva conocido como: el *modus tollendo tollens*, con el cual, se considera completamente viable argüir la posibilidad de adquirir *verosimilitud* sobre ciertos aspectos de la realidad objetiva. Asimismo, vale la pena señalar que, para el *racionalismo crítico*, la noción de *realidad*, al igual que la noción

²¹⁴ RIVADULLA, Andrés. Probabilidad e inferencia científica. Barcelona: Anthropos, 1991, p. 31.

de *verdad*, sería un *ideal regulativo*, es decir, algo no asequible por completo y de forma concluyente; ya que solo alcanzaríamos a conocer *realidades* que son, hasta cierto punto, incompletas o parciales.

Es tan solo gracias a la ayuda de óptimas y arriesgadas conjeturas de la ciencia, que nosotros nos podemos aproximar, poco a poco, a lo que dicha noción estaría efectivamente indicando para ciertos aspectos singulares del mundo; por lo cual, la *realidad* no sería algo que se pueda conocer enteramente (como alguna vez consideraron los *realistas ingenuos*), sino que sería algo a lo que nos podemos ir acercando. Por consiguiente, aquel mencionado “*realismo científico*” notoriamente nos podría develar algunos aspectos —con *verosimilitud*— de nuestra realidad objetiva. Pero, advirtió Popper, el “*realismo científico*” no sería algo demostrable como lo son los enunciados de la ciencia formal, y tampoco sería algo refutable como lo son los enunciados de la ciencia empírica, en consecuencia, el autor prefiere que se denomine aquel mencionado ‘*realismo científico*’ como un ‘*realismo metafísico*’. Por lo tanto, en Popper encontramos un denominado *realismo metafísico*.

Sin embargo, a pesar de la peculiar circunstancia según la cual el *realismo* sería algo indemostrable, e irrefutable, no habría por qué recaer en posturas a fines con el escepticismo, el solipsismo, o el idealismo, pues para el autor austriaco, el *realismo metafísico* sería completamente argumentable, y “[...] el peso de los argumentos lo favorece abrumadoramente”²¹⁵. Por ello, si una teoría de la ciencia empírica no apela en ninguno de sus argumentos a la *realidad*, simplemente Popper no dudaría en considerarla —inmediatamente— como una teoría extremadamente absurda. Es así como la *realidad*, para el *racionalismo crítico* de Popper, debe ser un presupuesto indispensable para cualquier teoría de la ciencia empírica. Sin embargo, Popper señaló que existen y perduran posiciones antirrealistas en la ciencia, como las posturas idealistas de Ernest Mach o Eugene P. Wigner.

2.1.1. El realismo crítico de Popper

Públicamente Popper se concibe a sí mismo como un *realista metafísico*, pero también debemos señalar que el propio autor no incurre en ningún momento en aquel denominado *realismo ingenuo*, que considera acriticamente, que las cosas son tal y como se nos presentan ante los sentidos. Indudablemente, Popper es uno de los primeros filósofos en percatarse de la circunstancia, según la cual, la *observación* demanda ciertas expectativas, y que, si bien, la *observación* puede obedecer en muchas ocasiones a ciertas *expectaciones* que derivan de la tradición,

²¹⁵ MILLER, David, comp. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 235.

y la cultura, existe también la posibilidad de escapar a dichas *expectaciones*, gracias a la crítica racional.

Aquella simple circunstancia que muestra que la *observación* no es —como comúnmente suele pensarse— neutral, se le puede denominar como: la *carga teórica de la observación*²¹⁶. Dicha circunstancia nos advierte que, en el proceso del mismo ‘observar’, estamos empleando ciertos contenidos teóricos, pues recordemos que lo que ‘observamos’ lo hacemos a través de la luz que nos arrojan las mismas teorías. Por consiguiente, las observaciones que efectuamos en el mundo, no precisamente nos estarían indicando aquel mundo tal como es (es decir, las observaciones no reflejan las cosas tales como son), como supondría un realista ingenuo. Puesto que vemos al mundo sólo a través de hipótesis o teorías, habría que reconocer que basamos nuestras observaciones en simples conjeturas, que, por cierto, pueden ser posteriormente modificadas, y mejoradas gracias a la crítica racional. Esto último haría precisamente alusión al realismo crítico de Popper. Por consiguiente, el realismo metafísico de Popper, sería también un realismo crítico, en cuanto comprende que la *realidad* no es, por así decirlo, un objeto acabado que se nos presenta tal cual es, sino que ésta referiría a un interminable proceso en el cual podemos aproximarnos poco a poco, y a partir de arriesgadas conjeturas, a ciertas parcelas que poseen cierta *verosimilitud* sobre lo que involucraría efectivamente lo *real*.

Asimismo, debe comprenderse que según Popper²¹⁷ no podría existir una perpetua búsqueda de la verdad si no existiesen problemas reales, que a su vez nos refieran a una realidad desconocida y por descubrir; una realidad que, por cierto, requiere ser explicada por leyes estructurales de carácter universal. Por lo cual, las conjeturas de la ciencia no serían meras ficciones sofisticadas, sino que, ciertamente, serían intentos por descubrir parcelas de lo real; y la forma de descubrir que tan acertadas o erradas se encuentran aquellas conjeturas, sería precisamente, enfrentándolas con la experiencia real de los acontecimientos de la naturaleza física. Pues como señaló Popper:

“[...] las teorías son invenciones nuestras: esto lo han visto claramente los idealistas epistemológicos. Pero algunas de esas teorías son tan arriesgadas que pueden

²¹⁶ Moulines y A. Díez, aseguran que, en el campo de la filosofía de la ciencia, Karl Popper sería el primero, o uno de los primeros, en percatarse en aquello que denominan como: la *carga teórica de los hechos*. Dicho concepto lo emplean para referenciar —en un primer momento— aquella circunstancia que indica que la observación posee una carga teórica, y lo cual pone en entredicho el presunto carácter neutral de la observación; pero, además, aquella carga teórica de la observación poseería ciertas implicancias en el proceso de contrastación, ya que aquel también se vería teóricamente cargado. Por ello se aclara que, en la presente monografía, únicamente se emplea el término *carga teórica de la observación*, para indicar la primera parte de los aspectos antes mencionados. Véase: A. DÍEZ, José y MOULINES, Ulises. Fundamentos de la filosofía de la ciencia. Barcelona: Editorial Ariel S.A, 1999, p. 302, 304 y 430.

²¹⁷ POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 179.

chocar con la realidad: son las teorías contrastables de la ciencia. Y cuando chocan, entonces sabemos que hay una realidad: algo que puede informarnos de que nuestras ideas son erróneas”²¹⁸.

Según el racionalismo crítico de Popper, la ciencia consiste en la tarea cuyo propósito fundamental sería el de otorgar explicaciones satisfactorias sobre aquella realidad inmensamente desconocida. Pero no sería justamente la veracidad o ‘certeza’ de una teoría lo que implicaría lo *real*, sino que, aquella realidad, se vería implicada por la posibilidad de que la teoría pueda ser refutada; en otras palabras, una vez ponemos a prueba en el mundo nuestras conjeturas y suposiciones, con el propósito de identificar cuán acertados o errados estamos con nuestras suposiciones, es cuando podemos constatar fehacientemente la circunstancia de que existe una realidad independiente de nuestras conjeturas. Por ello, no hay que olvidar que, las teorías de la ciencia no expresan la realidad tal como es, pues no todo se encuentra expresado por la teoría, sino que las teorías son aproximaciones explicativas que pretenden arrojar luz sobre esa realidad desconocida, y que se busca develar.

También es de advertir que Popper²¹⁹ rechazó que se asocie el denominado «*realismo científico*», con el prejuicio de que las teorías científicas deben basarse en la simple observación, o en los meros ‘datos’ sustraídos de la realidad, pues como hemos visto, de aquella forma no habría ningún cuidado en el simple hecho de que toda observación, implica de por sí, una *carga teórica de observación*. Asimismo, no hay que olvidar que, para Popper, las conjeturas de la ciencia no se forjan a partir de la observación, ni de los meros datos, sino de la inquietud y del constante cuestionamiento, por ello acusa a la última concepción errónea del «*realismo científico*» con base a la observación, de propiciar en la ciencia, la intrusión de una interpretación subjetiva o idealista o solipsista o positivista.

2.1.2. La crítica al esencialismo

Popper fue un férreo crítico del *esencialismo aristotélico*, en tanto que dicho *esencialismo* procura salvaguardar la idea de que se pueden ofrecer explicaciones últimas de la realidad de la naturaleza. Según Popper: “el esencialismo considera nuestro mundo ordinario como una mera apariencia, detrás de la cual cree descubrir el mundo real”²²⁰. Pero según el racionalismo crítico de Popper, la pretensión de lograr una explicación última como si se tratase de un descubrimiento definitivo, o una suerte de conocimiento que permitiese un *realismo absoluto*, resultaría

²¹⁸ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 27.

²¹⁹ *Ibid.*, p. 27.

²²⁰ POPPER, Karl. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 150.

ciertamente improcedente, pues si bien, la ciencia empírica pretende encontrar las leyes de la naturaleza física, estas no pasarían de ser, nada más, que sorprendentes conjeturas e hipótesis de la ciencia; e incluso, estas mismas conjeturas, podrían estar equivocadas, y por ende, tendrían que requerir eventuales modificaciones, o simplemente tendrían que ser rechazadas por otras. Por consiguiente, no hay que olvidar que, contrario a ésta presunción esencialista de alcanzar *explicaciones últimas*, —según el racionalismo crítico de Popper— el desarrollo de la ciencia sólo podría darse a través del ensayo y error, ya que las auténticas teorías científicas, nunca podrían alcanzar una certeza absoluta.

El mencionado esencialismo aristotélico se apoyaría en la consideración de que cada cosa posee algo así como una esencia (algo que le es *inherente*) que lo determina, y que hace que esa cosa, sea precisamente esa cosa, y no otra. En aquella medida, el *esencialista* buscaría las “esencias” que permitiesen una explicación última de la realidad de cada cosa. Al respecto, Popper²²¹ en *Conjeturas y refutaciones*, aseguró que su crítica al esencialismo no pretende aseverar que no existan las esencias, pues más allá de si aquellas existen o no, el autor señaló que la *creencia* en ellas genera un papel *oscurantista* en la ciencia, en tanto que muchas veces ha impedido el planteamiento de preguntas más profundas, y puesto que al mismo tiempo, dicha concepción, también ha sido un obstáculo serio para el desarrollo de nuevas ideas fructíferas en la ciencia. Hay que enfatizar que la concepción esencialista que cuestiona férreamente Popper, refiere especialmente, a la idea de que en la ciencia se puede obtener *explicaciones últimas* (o definitivas); pero también es de entender que, aquel tipo de esencialismo, no buscaría precisamente cualquier clase de explicación, sino que demandaría cierto tipo de características que aquellas explicaciones debiesen cumplir, entre ellas:

- **La definición esencialista:** el esencialismo consideraría que es completamente posible “definir” de forma precisa, el significado de una palabra, término, o de un concepto. Popper señaló que, para el esencialismo, especialmente en su versión aristotélica: “[...] una definición es un enunciado sobre la esencia o la naturaleza propia de una cosa, que al mismo tiempo enuncia el significado de una palabra, es decir, del nombre que designa a la esencia. (Por ejemplo. Descartes, y también Kant, sostienen que la palabra "cuerpo" designa algo que es, esencialmente, extenso)”²²². En aquella medida, la explicación esencialista exigiría una definición por medio de la esencia, y por ende una definición que se pueda considerar que obedece enteramente a la realidad tal como es. Una explicación de este tipo,

²²¹ *Ibíd.*, p. 139.

Es de aclarar que Popper en otro de sus escritos, contenido en la compilación de: *Escritos Selectos*, señaló que: “debemos descartar el punto de vista, característico del esencialismo, de que en cada cosa hay una esencia, una naturaleza o principio inherente”. Pero el autor austriaco no estaría rechazando enteramente la noción de esencia, pues allí mismo también propone un *esencialismo modificado*. Cita en: MILLER, David, comp. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 182.

²²² POPPER, Karl. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 42.

pretendería responder a la pregunta «qué es», y de esa manera, ofrecer una *explicación última*, en la que ya no habría necesidad de efectuar alguna pregunta ulterior. De modo que ésta concepción, resultaría encontrarse muy afín con los planteamientos de Wittgenstein, según los cuales, la ciencia requeriría indispensablemente de un lenguaje preciso, pues, según aquel autor, si alguien no es capaz de explicar una palabra que utiliza, entonces “no le ha dado ningún significado”²²³, y por lo tanto, lo que dice no tendrían sentido alguno. Por circunstancias como estas, Popper señaló que ésta concepción esencialista, es parte de la doctrina del positivismo lógico (o del justificacionismo), doctrina que también habría considerado que es posible establecer la verdad última de una teoría. Frente a ello, Popper combate dicha concepción con su falsabilismo, y hace referencia a la *explicación conjetural* que emanaría de éste, el cual, posibilitaría exigir nuevas explicaciones, y por ende continuar indagando en las diferentes explicaciones ofrecidas por las conjeturas de la ciencia con preguntas del tipo: «¿por qué?». Por consiguiente, el autor austriaco considera que las palabras, los términos, y los conceptos enteramente bien definidos no son realmente cruciales para resolver las incógnitas de la ciencia, pues lo que realmente interesa en la ciencia, es qué tan acertadas o erradas se encuentran las conjeturas, es decir indagar acerca de su verdad. Además, siguiendo las ideas del autor austriaco, y considerando el carácter conjetural de nuestro conocimiento, aquella labor de ofrecer definiciones precisas resulta imposible. Asimismo, como señaló Popper, lo que realmente resulta ser sustancial, —en lugar de definir— es aclarar para evitar las confusiones, ya que: “no podemos definir, pero a menudo hemos de distinguir”²²⁴.

- **Las propiedades esenciales:** el esencialismo al considerar que se puede descubrir la verdadera esencia de las cosas, estaría estipulando que las propiedades reales de la naturaleza solamente se refieren a las propiedades que le son inherentes a las cosas mismas. Es decir, que las propiedades reales, exclusivamente, referirían a aquello que les pertenece a las cosas mismas de forma inherente, intrínseca, o esencial, y las cuales permitirían establecer su particularidad; éstas serían pues, —para el esencialista— las propiedades verdaderas y absolutas que permitirían las explicaciones últimas en la ciencia.

Esta postura, según Popper, es perceptible en las ideas de Descartes, para quien “la esencia de una cosa debe ser propiedad verdadera o absoluta de la cosa (es decir, una propiedad que no depende de la existencia de otras cosas)”²²⁵. Lo *real*, para el esencialista, solamente hace referencia a las cosas mismas y no a la posible relación (o interacción) que pudiese sostener una cosa con otras cosas. Por lo cual, la doctrina del esencialismo está excluyendo u omitiendo que en lo que llamamos

²²³ Véase: POPPER, Karl. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 339.

²²⁴ PETERSEN, Arne; MEJER, Jorgen. Comps. El mundo de Parménides. Barcelona: Paidós, 1999, p. p 51.

²²⁵ POPPER, Karl. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 141.

real también se pueda hacer referencia a otras propiedades diferentes a aquellas que popularmente denominamos como *propiedades físicas* (o *cualidades primarias*); pues en la realidad de la naturaleza también hay otro tipo de propiedad que no es precisamente *intrínseca* o inherente a una especie particular de cosa, y por ende, aquella es más abstracta, como lo es, una ***propiedad relacional***, que según Popper es: “[...] una propiedad que, como la gravedad, determina las relaciones (interacciones en el espacio) entre un cuerpo y otros cuerpos”²²⁶.

Popper señaló que Newton sostuvo una doctrina esencialista, que le llevó a la idea de que la inercia y la extensión eran propiedades esenciales a la materia. Pero una vez que el gran físico no supo cómo encontrar en su teoría de la gravedad una propiedad que fuese *inherente* a los cuerpos, se habría sentido insatisfecho con su teoría. Por ello Popper aseveró: “esta concepción [...] ha llevado a los esencialistas (como Newton) a omitir las propiedades relacionales, en teorías como la de la gravedad, y a creer, con fundamentos que se consideran válidos a priori, que una explicación satisfactoria debe estar en términos de propiedades inherentes (en vez de en términos de propiedades relacionales)”²²⁷.

Pero, Popper además declaró que también existieron planteamientos esencialistas sobre la teoría gravitacional de Newton, uno de ellos se debe, especialmente a Roger Cotes, para quien la esencia de la materia era la inercia y su poder de atraer otra materia. Cotes creyó encontrar en la teoría de la gravedad explicaciones esencialistas, que ya no requerirían ulteriores indagaciones. Sin embargo, según Popper: “esta concepción esencialista de la teoría fue aceptada, en conjunto, hasta las últimas décadas del siglo XIX”²²⁸. Por lo cual, según Popper, la gravedad, hoy por hoy, no sería precisamente una propiedad esencialista²²⁹. Sobre éstas cuestiones, el filósofo de la ciencia Andrés Rivadulla afirmó:

Una interpretación esencialista de la teoría newtoniana de la gravitación implicaría que las leyes del movimiento describen la naturaleza esencial de la materia. El problema es sin embargo que esta concepción impide el planteamiento de cuestiones fructíferas, como la de si tal vez no pudiéramos explicar la gravedad deduciendo la teoría newtoniana, o una buena aproximación suya, de una teoría más general que fuese independientemente testable. Para Popper pues la creencia en esencias tiende a crear obstáculos al planteamiento de problemas nuevos y fructíferos. Además, tampoco puede

²²⁶ *Ibíd.*, p. 141.

²²⁷ MILLER, David, comp. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 182.

²²⁸ POPPER, Karl. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 140.

²²⁹ Por otro lado, Popper dice: “Maxwell, en un principio, se inclinó hacia una interpretación esencialista de su teoría, una teoría que, por último, contribuyó más que ninguna otra a la decadencia del esencialismo.” En: *Ibíd.*, p. 149.

formar parte de la ciencia, pues, aunque por buena suerte diéramos con una teoría que describiera esencias, nunca podríamos estar seguros de ella²³⁰.

Popper rechazó enfáticamente la postura esencialista porque aquella impediría el seguir cuestionando las teorías de la ciencia, además, impediría el considerar la existencia *real* (aunque abstracta) de otras propiedades diferentes a las que son propiamente *intrínsecas* a los cuerpos, como lo son, las propiedades relacionales o disposicionales, que son intrínsecas a la situación (pero no a las cosas). Por lo tanto, la *realidad* para el autor austriaco, se constituye tanto de propiedades que son físicas y concretas, como también, de propiedades que son relacionales y abstractas.

Finalmente, si bien Popper está de acuerdo con el esencialismo en que se puede realizar en la ciencia descubrimientos que son reales, el autor no considera posible un realismo absoluto, como el implicado por la doctrina esencialista. Asimismo, Popper²³¹ propondría un *esencialismo modificado*, el cual, en breves palabras, considera lo siguiente: (1) no hay explicaciones que no necesiten una ulterior explicación, ya que siempre se pueden mejorar las conjeturas, (2) se rechaza las preguntas acerca de la esencia, o sobre la "verdadera" naturaleza de una cosa, y las cuales remitirían a preguntas del tipo: "¿qué es?", y (3) se renuncia a la importancia concedida a las propiedades esenciales, es decir, ya no se considera que las propiedades inherentes en cada cosa individual sean necesarias para explicar el comportamiento de una cosa, pues aquello realmente no permitiría explicar la diversidad que hay en la naturaleza.

2.2. DETERMINISMO VS INDETERMINISMO

"[...] soy ante todo un indeterminista, en segundo lugar, un realista y, en tercer lugar, un racionalista"²³².

En varias ocasiones Popper representa alegóricamente el debate sobre indeterminismo/determinismo en analogía con las nubes y relojes. Las nubes representarían aquellos acontecimientos que son completamente azarosos y por ende considerados indeterminados, mientras que los relojes representarían lo opuesto, es decir, lo exacto o preciso, por lo que constituirían aquellos acontecimientos que pueden ser determinados, incluso en cualquier momento del tiempo. Aunque el mismo autor reconoce que la analogía no es por completo

²³⁰ RIVADULLA, Andrés. La filosofía de la ciencia hoy: problemas y posiciones. En: perspectivas del pensamiento contemporáneo, vol. 2, 2004, p. 21-22.

²³¹ Véase: MILLER, David, comp. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 182.

²³² *Ibíd.*, p. 227.

perfecta, en especial cuando se pretende ampliar sus consecuencias o derivaciones interpretativas, ella —sin embargo— nos sirve para introducir algunas reflexiones en torno al debate que se ha generado sobre esta cuestión en la ciencia física.

En consideración de Popper, los físicos suelen ver en los albores de la *física clásica* una visión donde el universo, en consonancia con todas sus leyes físicas, ostenta un extraordinario y estupendo mecanismo semejante al de un reloj. Pero como sabemos, el advenimiento de la *física cuántica*, especialmente a partir de la famosa relación de incertidumbre de Heisenberg, rápidamente destruyó aquella visión mecánica del cosmos; y el determinismo, si bien no logró ser por completo destruido, por lo menos pasó —para algunos físicos— a ser restringido exclusivamente para los niveles macroscópicos de la naturaleza. Por su parte, en lo que respecta a los niveles subatómicos y microfísicos, la *física cuántica* señaló experimentalmente aparentes discontinuidades que contrariaban cualquier tipo de conexión causal-determinista, por lo que los objetos cuánticos sugerían ser en gran medida azarosos y por ende evocaban la idea del indeterminismo, circunstancia que ocasionó que su imagen alegórica, fuese aceptablemente relacionada con el caos que persiste en una nube.

Sin embargo, más allá de aquella postura dominante que consideraba: (1) que la física clásica exhibe un determinismo presente en la naturaleza física y (2) que la mecánica cuántica es de condición indeterminista, el autor austriaco sentenció que, tanto la *física clásica* como la *física moderna*, o mecánica cuántica, han sido siempre, ambas, indeterministas.

Para abordar la crítica de Popper al determinismo y reconocer su postura indeterminista, hace falta comprender en primer momento, los diferentes tipos de argumentos filosóficos, del sentido común y esencialmente científicos, que se han empleado como fundamento del determinismo. Por lo tanto, a continuación, veremos un conciso esbozo de los diferentes tipos de determinismo y luego retomaremos e insistiremos en el análisis sobre el denominado determinismo «científico».

2.2.1. Tipos de determinismos

En este apartado mencionaremos brevemente, utilizando algunas descripciones del propio autor, los principales tipos de determinismo esbozados en el segundo volumen del *Post Scriptum: El universo abierto*. Seguidamente, nos concentraremos principalmente en el determinismo laplaciano o determinismo «científico», el cual es el tipo de determinismo que —fundamentalmente— predominó en la ciencia física hasta la segunda década del siglo XX. De este modo, conozcamos los diferentes tipos de determinismo y comencemos primero, con una pequeña descripción de lo

que sería la idea básica e intuitiva sobre lo que es el determinismo, y la cual estaría implícita en todos los demás tipos de determinismo que describe Popper.

a) Idea intuitiva del determinismo:

Según Popper, es posible comprender intuitivamente la idea sustancial que propone cualquier alternativa determinista, a través de una simple analogía que emplea ciertas características que posee una película de cine. Como sabemos las películas de cine están hechas a partir de una serie de fotogramas que transitan a cierta velocidad, las cuales para ser debidamente visibles se transmiten por medio de un proyector. Ahora bien, al momento de ver una película, los fotogramas que se están proyectando en aquel instante conformarían lo que denominamos comúnmente el *presente*. Por su parte, los fotogramas que ya fueron proyectados serían parte del *pasado*, y como habría de suponerse, aquellos fotogramas que aún no han sido proyectados, conformarían parte de un eventual *futuro*. Pues bien, lo que nos dice el determinismo en su forma intuitiva es que *tanto el pasado como el futuro coexisten en la misma película*, o lo que es lo mismo, que ambos (pasado y futuro) ya se encuentran completamente prefijados. Esta simple idea intuitiva, subyacerá en adelante en todos los demás tipos de determinismo.

b) Determinismo religioso: según Popper este tipo de determinismo “[...] está relacionado con las ideas de divina omnipotencia —poder total para determinar el futuro— y divina omnisciencia, que entraña que el futuro es conocido por Dios ahora, y, por tanto, **cognoscible de antemano y fijado de antemano**”²³³.

El *determinismo religioso* es la forma más primigenia entre las diversas formas de determinismo; además de éste tipo de determinismo se derivan algunas ideas sustanciales que permitirían el surgimiento de otras formas de determinismo más sofisticadas como el denominado *determinismo «científico»*.

c) Determinismo «científico» o laplaciano: según Popper “[...] la idea fundamental de determinismo «científico» es que la estructura del mundo es tal que todo suceso futuro puede, en principio, ser calculado racionalmente de antemano sólo con que conozcamos las leyes de la naturaleza y el estado presente o pasado del mundo”²³⁴.

Este tipo de determinismo es quizá el más evaluado por Popper²³⁵, ya que éste habría adquirido gran aceptación en los tiempos modernos debido al enorme éxito de las leyes de Kepler y la dinámica de los cielos de Newton. Un extraordinario éxito que posibilitó la predicción del movimiento de los planetas o ‘vagabundos’ y esclarecer por completo lo que antes parecía un mero capricho de la naturaleza. Sin

²³³ POPPER, Karl. El universo abierto: un argumento a favor del indeterminismo. Post Scriptum a la lógica de la investigación científica. Vol II. Madrid: Editorial Tecnos, 1994, p. 29.

²³⁴ *Ibíd.*, p. 30.

²³⁵ *Ibíd.*, p. 30.

embargo, Popper no consideró que el enorme éxito de la física moderna, implicase la validez del determinismo «científico». Como veremos más adelante, para Popper, ninguno de aquellos éxitos mencionados de las teorías físicas clásicas, validaría por completo el determinismo laplaciano, antes bien indicarían que el determinismo «científico» intenta ser salvaguardado por la existencia de otro planteamiento determinista, al cual denominaría como determinismo *prima facie*.

- d) **Determinismo metafísico:** según Popper “[...] afirma sencillamente que todos los sucesos de este mundo son fijos, o inalterables, o predeterminados. No afirma que sean conocidos por nadie; o predictibles por métodos científicos. Pero afirma que el futuro es tan inmutable como el pasado. Todos sabemos lo que quiere decir que no se puede cambiar el pasado. Es en este mismo sentido, precisamente, en el que el futuro no puede cambiarse, según el determinismo metafísico”²³⁶.

Como vemos el determinismo metafísico, a diferencia del determinismo «científico», considera que, si bien todos los sucesos se encuentran predeterminados, aquellos en esencia no necesariamente tienen que ser conocidos por alguien (sea un Dios o un científico). De modo que a pesar de que tanto el pasado como el futuro se encuentren completamente prefijados, puede suceder, que dicho determinismo no sea del todo aprehensible para el científico o ser humano.

- e) **Determinismo del sentido común o *prima facie*:** sobre este tipo de determinismo Popper ofrece varias versiones argumentativas, que si bien, pueden parecer diferentes, apuntan a que el determinismo *prima facie* ocasiona un supuesto triunfalismo del ideal determinista a razón del presumible éxito de la física clásica, especialmente debido a las leyes de Kepler y la mecánica de los cielos de Newton. Comúnmente, se tiende a considerar que dichos logros de la física ofrecen fuertes argumentos a favor del determinismo laplaciano (o por lo menos así lo consideraron gran parte de los físicos hasta 1927). Es decir, el determinismo *prima facie*, es considerado como aquel que permite otorgarle validez o pertinencia al determinismo «científico», arguyendo especialmente el éxito *predictivo* que poseen las teorías. Además, como veremos más adelante, éste tipo de determinismo, según nos dice Popper, también conduciría a que se asocie erróneamente dos nociones que realmente debiesen ir por separado: (1) la causalidad y (2) el determinismo. Pues como señaló Popper:

Otra forma en la que el sentido común aborda la idea del determinismo es por medio de la idea popular de causalidad. Uno de los argumentos más sencillos y plausibles a favor del determinismo es éste: siempre podemos preguntar, de todo suceso, por qué ocurrió, y de toda pregunta tal de-por-qué, siempre podemos obtener, en principio, una respuesta que nos ilumine. Así, todo suceso es ‘causado’; y esto parece significar que debe estar determinado, de antemano, por los sucesos que constituyen su causa²³⁷.

²³⁶ *Ibíd.*, p. 31.

²³⁷ *Ibíd.*, p. 32.

Popper muestra que la idea de determinismo es asociada comúnmente con la idea de causalidad, pues para el *sentido común* cualquier evento que es causado sería por ende susceptible de ser determinado, y esto último representaría, según el autor, un error muy común para una adecuada apreciación sobre la causalidad. Volveremos sobre éste interesante punto en torno a la causalidad, en la exposición más detallada sobre el determinismo «científico». De momento, para adentrarnos adecuadamente en el desarrollo del *determinismo prima facie*, comencemos por considerarlo primeramente como una distinción del *sentido común* que separa o distingue los sucesos predictibles (como por ejemplo el movimiento mecánico de un reloj), de aquellos sucesos que se consideran impredecibles (como por ejemplo la posición exacta de una partícula de gas), es decir, una distinción común entre lo que es predecible (relojes), y lo que no es predecible enteramente (nubes). Pero como es posible sospechar, aquella distinción, para un determinista, solo sería simplemente momentánea o aparente, ya que a éste le resultaría factible suponer que algún día se podría predecir con exactitud aquello que le sucede a una partícula singular en una nube, pues “[...] si supiéramos tanto sobre nubes como sabemos sobre relojes”²³⁸.

En esta medida, el *determinismo prima facie* comienza siendo una distinción del sentido común, entre lo que es *predictible* y lo *no predecible*. Pero luego, también tiene una versión más sofisticada que pretende ofrecer convicción al *determinismo laplaciano*; ya que, a partir del *determinismo del sentido común o prima facie*, el científico pudiese considerar que, conforme avanza el conocimiento, y se conocen las diferentes leyes naturales, resultaría enteramente viable adoptar una especie de *convicción* acerca del carácter enteramente *predictible* de la naturaleza física, pues aquello sería lo que supuestamente evidenciaría los extraordinarios triunfos de la física clásica y de la mecánica de los cielos de Kepler y Newton. Resumiendo, el determinismo *prima facie* en su versión básica adecua la distinción entre lo predecible y lo no predecible (las teorías que posibilitan la *predicción* serían *prima facie*), y en su versión sofisticada puede ser empleado con la pretensión de conferirle *convicción* o *validez*, al presunto carácter determinista de la naturaleza, recurriendo al éxito de las *predicciones* de la física clásica, y a la idea de que es posible desarrollar cada vez más, y conforme se obtiene mayor conocimiento de las leyes de la naturaleza, una determinación absoluta que posibilite aquellas predicciones hasta ahora no posibles.

²³⁸ *Ibíd.*, p. 30.

2.2.2. Aspectos generales sobre el determinismo

Popper rechazó rotundamente el determinismo, especialmente el determinismo metafísico y «científico». Pero además, el autor²³⁹ afirmó que la mayoría de los determinismos antes descritos no podrían ser contrastables, y por ende, solamente quedaría cuestionarlos. Al respecto, interesa especialmente el análisis popperiano sobre el denominado determinismo «científico» o laplaciano, al cual el autor²⁴⁰ no solo cuestiona, sino que además esboza una serie de fuertes argumentos con el firme y serio propósito de refutarlo. Ahora bien, como lo sugiere el mismo Popper, si se refuta el *determinismo «científico»*, el denominado *determinismo metafísico* quedaría a su vez desvirtuado, y ello propiciaría que surja, ante nosotros, la necesidad de concebir un mundo de carácter indeterminista.

Por otro lado, resulta necesario precisar que aquella indeterminación que es indicada por Popper, y que finalmente es situada en su propuesta propensivista de la mecánica cuántica, posee un carácter totalmente diferente al indeterminismo que es adoptado por la propuesta interpretativa de la escuela de Copenhague, pues según la interpretación ortodoxa —por lo menos tal y como lo concibió en sus inicios—, la indeterminación derivaría principalmente del desconocimiento o nesciencia que posee el sujeto sobre el objeto cuántico, y dicha circunstancia sería la que obligaría al científico a emplear términos extraídos de la teoría de la probabilidad; mientras que, desde la perspectiva popperiana, la indeterminación sería de carácter objetivo (es decir, nada tendría que ver el conocimiento o nesciencia del sujeto) y el indeterminismo derivaría, principalmente, de la misma condición cosmológica de la naturaleza, según la cual el universo es indeterminista, o como también lo expresa Popper: lo que realmente estaría sucediendo es que *el universo es abierto*, ya que el futuro no se encontraría enteramente determinado por el pasado; es decir, el futuro estaría abierto a la novedad, y por ende, sería emergente, y no cerrado.

Otro aspecto a resaltar versa sobre el determinismo de sentido común o *prima facie*, cuyo análisis lleva a Popper a distinguir, por un lado, el *determinismo*, y por el otro, la *causalidad*; conceptos que tradicionalmente han sido estrechamente asociados en nuestro pensamiento occidental. Al respecto la crítica de Popper establece que, asociar la idea de determinismo con la *causalidad*, no sería de ningún modo viable, en cuanto aquello requeriría satisfacer el *principio de poder dar razón*, y esto último

²³⁹ Al respecto Popper afirmó: “el determinismo metafísico, claramente, no es contrastable. Porque incluso aunque el mundo nos sorprendiera constantemente y no diera ninguna señal de predeterminación ni de regularidad siquiera, el futuro podría seguir estando predeterminado e incluso ser conocido para aquellos capaces de leer el libro del destino. El indeterminismo metafísico es igualmente incontrastable”. En: POPPER, Karl. El universo abierto: un argumento a favor del indeterminismo. Post Scriptum a la lógica de la investigación científica. Vol II. Madrid: Editorial Tecnos, 1994, p. 31.

²⁴⁰ *Ibíd.*, p. 22.

sería algo que no cumplen todas las tareas de predicción. Como profundizaremos más adelante, el *principio de dar razón*, es cuestionado por Popper²⁴¹, porque para ser realmente efectivo, cada vez que el científico somete su teoría a la experimentación empírica, dicho principio tendría que posibilitar predecir, para la misma teoría que es puesta en cuestión, incluso, aquellos mismos grados de imprecisión resultantes en las predicciones efectuadas, o en otras palabras “[...] nuestra teoría tendrá que dar razón de la imprecisión de la predicción”²⁴², y eso sería algo que —según Popper— no se satisface universalmente en la práctica empírica.

Más adelante retomaremos éstos argumentos, mientras tanto, profundicemos en el denominado determinismo «científico» y en las críticas que efectúa Popper.

2.2.3. Aproximación al determinismo laplaciano o determinismo «científico»²⁴³

Como vimos anteriormente, una primera aproximación a este tipo de determinismo afirmaría que, si logramos conocer todas las leyes físicas y la situación del universo (o las condiciones iniciales) de un momento específico como lo es —por ejemplo— el *presente*, se podría llegar a conocer la situación del universo en cualquier otro momento del *futuro*. No obstante Popper afirmó lo siguiente:

“Yo considero este determinismo laplaciano —aunque parezca confirmado por las teorías deterministas *prima facie* de la física y por sus maravillosos éxitos— como el obstáculo más sólido y serio en el camino de la explicación y la defensa de la libertad, la creatividad y la responsabilidad humanas”²⁴⁴.

En la anterior sentencia de Popper se puede apreciar claramente: (1) un fehaciente rechazo al determinismo laplaciano, (2) una breve referencia al éxito del determinismo *prima facie*, que presume validar u otorgar *convicción* al determinismo «científico», y finalmente, (3) una preocupación evidente por cuestiones como la creatividad y la libertad humana, pues aquellas cuestiones se verían seriamente amenazadas por las diversas implicaciones que poseería la supuesta validez de un determinismo «científico» en la naturaleza física. Al respecto, es necesario precisar que, en el marco propiamente discursivo de los problemas que suscita la interpretación de la mecánica cuántica, el tercer y último elemento descrito, no corresponde directamente a un asunto que amerite en la presente monografía un despliegue ulterior, es decir, no se considera pertinente desarrollar un análisis

²⁴¹ *Ibíd.*, p. 35.

²⁴² *Ibíd.*, p. 34.

²⁴³ Popper afirmó: “[...] para evitar malentendidos, quiero dejar bien claro que cuando hablo del determinismo «científico» (siempre entre comillas) estoy pensando en una doctrina supuestamente «científica», en un determinismo supuestamente «científico»”. En: *Ibíd.*, p. 23.

²⁴⁴ *Ibíd.*, p. 22.

profundo de dicho aspecto, que por cierto requeriría de una discusión detallada de algunas posturas filosóficas como el determinismo adoptado por Immanuel Kant, o el problema entre el determinismo y la libertad presente en la filosofía de David Hume. No obstante, se puede afirmar que dicho problema entre la libertad humana y el determinismo laplaciano, ocasiona según la perspectiva del *racionalismo crítico*, fuertes dificultades que deben ser discutidos críticamente, y que desembocan fundamentalmente en problemas de índole ético e incluso político, puesto que la presunción de una postura determinista laplaciana, según Popper, finalmente se contrapone enteramente a las ideas de libertad, creatividad y de libre albedrío. A diferencia de filósofos como Immanuel Kant²⁴⁵ y David Hume (quienes asumieron posturas deterministas y a su vez —extrañamente para el autor— creyeron asimismo en la libertad humana), en Popper la idea del determinismo ineludiblemente se opone a la posibilidad de conciliar de forma coherente (sin contradicción o antinomias) las ideas de creatividad, libertad humana y libre albedrío, con el determinismo. Según Popper el auténtico carácter de la naturaleza que experimentaríamos —tanto exteriormente como en nuestro interior²⁴⁶— sería auténticamente de índole indeterminístico. Pero debe advertirse que aquello no equivale a decir —de ninguna manera— que la naturaleza sea completamente caótica, o que gobierne completamente la aleatoriedad o el azar: antes bien, Popper solo enfatizó en el hecho de que en el universo ciertamente habría cabida para que *emerjan* nuevos acontecimientos, además, que tampoco resulta posible una predeterminación absoluta de los hechos, eventos o circunstancias naturales e incluso psicológicas. Lo cierto es que a juicio de Popper el determinismo es una amenaza tanto para la idea de libertad, como para la idea de creatividad humana; aunque para explicar enteramente esas ideas, el indeterminismo no basta. Ahora bien, consideramos que para nuestro interés y para el tratamiento de los problemas interpretativos de la mecánica cuántica, otros argumentos nos resultan más adecuados al contexto de la ciencia física. Quedémonos pues con la idea de que el determinismo «científico», según Popper, niega la creatividad y la libertad humana, y, además, consideremos que dicho argumento crítico a la postura determinista no es en efecto el único, como tampoco el más relevante con relación a los argumentos que surgen a partir del estudio de la ciencia física. Una vez aclarado lo anterior, prosigamos con el análisis de los principales argumentos que atacan la validez del determinismo «científico». En los siguientes apartados comenzaremos a abordar

²⁴⁵ Según Popper: “el poder de la creencia en el determinismo «científico» puede calibrarse por el hecho de que Kant que por razones morales rechazaba el determinismo, se sintiera, no obstante, impelido a aceptarlo como un hecho innegable, establecido por la ciencia. Esto condujo a una antinomia en su sistema filosófico que nunca consiguió resolver a su entera satisfacción”. En: *Ibíd.*, p. 30.

²⁴⁶ Un adecuado análisis del problema de la libertad y la creatividad humana, también exige un desarrollo descriptivo concerniente a la teoría de los tres mundos de Karl Popper, en el cual se muestre cómo el mundo uno (mundo tangible o físico) se interrelaciona con el mundo dos (mundo psicológico), y el mundo tres (mundo de las teorías). En aquel sentido, es de entender que la indeterminación de la naturaleza física o del mundo uno, también posee su correlato o implicaciones en el mundo dos.

los aspectos (1) y (2) descritos anteriormente, y que refieren respectivamente, al rechazo del determinismo «científico» y a los supuestos argumentos del determinismo *prima facie* que pretenden ofrecerle cierta validez y *convicción*. Pero antes de proseguir con dicha labor, contextualicemos un poco.

Ya sabemos que el determinismo «científico» fue notoriamente aceptado en todo el conjunto de la ciencia física, especialmente por la gran mayoría de físicos hasta la segunda década del siglo XX, y que a partir de dicha época comenzaría a emerger una postura indeterminista debido a la naciente física cuántica. No obstante, luego de aquella revolución científica persistiría en muchos de aquellos físicos la posición según la cual dicho determinismo aún podría ser en cierta medida válido pero —eso sí— con la advertencia de que dicha noción únicamente podría ser lícita en restricción exclusiva a los niveles macrofísicos de la naturaleza; es decir, algunos de aquellos físicos continuarían considerando que la física clásica es de índole determinista, en tanto que comenzaban por consentir con cierto desgano o apatía el carácter indeterminista de la física cuántica. Aunque también es de considerar otra posición, en donde resalta la postura del gran genio de la física Albert Einstein²⁴⁷, quien gran parte de su vida concibió la posibilidad de una nueva teoría física (completa) que finalmente lograrse retornar el ideal determinista a su antiguo resplandor, y que otorgase tanto a la física clásica como a la cuántica el mismo carácter determinista; dicha postura suele ilustrarse con la famosa frase «Dios no juega a los dados». Finalmente, como ya se habrá podido notar, la postura de Popper resulta encontrarse en férrea oposición con las posiciones antes descritas, pues dicho filósofo de la ciencia, no solo consideró indeterminista a la física cuántica, sino que, además, también consideró indeterminista a la física clásica. De modo que, para Karl Popper, tanto la física cuántica, como la clásica, serían ambas, indeterministas. Así que para entender la crítica de Popper al determinismo «científico», como también su crítica al *determinismo prima facie* que pretende otorgarle validez al primero, conviene realizarnos la siguiente pregunta: ¿por qué Popper consideró que la física clásica siempre ha sido indeterminista?

2.2.4. El carácter indeterminista de la física clásica

La gran mayoría de físicos y filósofos han considerado que la física clásica es determinista, debido fundamentalmente a la seguridad que otorgarían las leyes de la física que, al ser expresiones matemáticas, ofrecerían un conocimiento mecanicista, predictivo y regular de la naturaleza física. Por lo tanto, se presume

²⁴⁷ Aunque, según relata Popper, al parecer Albert Einstein poco antes de su muerte, en el año de 1954, había cambiado considerablemente de opinión con respecto al determinismo. Véase nota 2 de POPPER, Karl. Clases de determinismo. El universo abierto: un argumento a favor del indeterminismo. Post Scriptum a la lógica de la investigación científica. Vol II. Madrid: Editorial Tecnos, 1994, p. 26.

que las leyes de la física clásica serían expresiones formales de las regularidades presentes en la naturaleza física y, de ese modo, sería completamente posible determinar el comportamiento de los diferentes eventos que cobijan dichas leyes. En el segundo volumen del *Post scriptum Universo Abierto*, Karl Popper afirmó:

[...] los exponentes de la teoría cuántica presentan con frecuencia la situación como sigue. La física clásica, dicen, entraña lo que yo llamo determinismo «científico»; y sólo la teoría cuántica nos fuerza a abandonar la física clásica y, con ella, el determinismo «científico». Por el contrario, yo trato de mostrar que ni siquiera la validez de la física clásica nos impondría una doctrina determinista sobre el mundo²⁴⁸.

Son varios los argumentos que Popper brinda para mostrar lo inadecuado de una concepción determinista, además de lo ineludible de un planteamiento indeterminista que permita una nueva concepción *emergente* de la naturaleza y el universo. De modo que para comprender en qué medida la mecánica clásica es indeterminista, pese a que ésta también reviste un determinismo *prima facie*, es necesario reflexionar, detenidamente, sobre varios argumentos ofrecidos por Popper en favor del indeterminismo en toda la ciencia física; especialmente los dos siguientes argumentos que Popper²⁴⁹ consideró son los más significativos: (i) el carácter aproximativo del conocimiento científico (o la representación de las teorías como redes), y (ii) la asimetría pasado y futuro. Para comprender claramente esto además debemos comprender previamente otros argumentos, siendo los argumentos que describiremos a favor del indeterminismo en la presente monografía: (1) la distinción entre determinismo y causalidad, (2) la crítica al principio de poder dar razón, (3) la distinción entre determinismo *prima facie* y determinismo científico, (4) la crítica a la versión fuerte del determinismo laplaciano que recurre a las ideas del matemático Hadamard y la teoría del caos, (5) la consideración de que las teorías son como redes y (6) la asimetría pasado y futuro. Se aclara que las anteriores cuestiones mencionadas forman buena parte —aunque no todos— de los principales argumentos que ofrece Popper para señalar el carácter indeterminista de toda la ciencia física.

2.2.4.1. El determinismo y la causalidad

En el segundo volumen del *Post scriptum: Universo abierto*, el autor austriaco desarrolló con preferencia ciertas distinciones que consideró necesarias, y que posibilitarían escapar a ciertas ideas tradicionales que no obedecerían efectivamente a la forma en que realmente comprenderíamos y explicaríamos la

²⁴⁸ POPPER, Karl. Clases de determinismo. El universo abierto: un argumento a favor del indeterminismo. *Post Scriptum a la lógica de la investigación científica*. Vol II. Madrid: Editorial Tecnos, 1994, p. 26.

²⁴⁹ *Ibid.*, p. 85.

naturaleza de los sucesos físicos. En aquella medida Popper comenzó por diferenciar (i) el *principio de causalidad* del (ii) *determinismo* (que, en términos generales, presume un universo enteramente *predictible* y mecánico). Aunque diferenciar lo anterior pareciera bastante extraño, pues aquellas dos nociones (*determinismo* y *causalidad*) denotan dos ideas que históricamente se han vinculado estrechamente y que en apariencia son indisolubles, lo cierto es que para Popper no existiría realmente una relación enteramente subyugada entre las mismas. Cómo señaló Popper, cuando se profieren “algunas preguntas de-por-qué”²⁵⁰ cómo por ejemplo: “¿Por qué hay eclipse de Luna hoy?” o “¿por qué almacenan miel las abejas?”, en cierta medida lo que se busca es obtener una *explicación causal* o una ‘cadena causal’ de sucesos consecutivos de explicación, sin que necesariamente se pretenda conseguir una respuesta que señale una suerte de *determinaciones* en el sentido de que “[...] les permita *predecir* sucesos del tipo en cuestión”²⁵¹, por lo cual el autor afirma que la causalidad “[...] no tiene, pues, en sí misma, nada que ver con el determinismo, sea «científico» o de otro tipo.”²⁵² Pero si bien, lo dicho anteriormente compete a una idea popular de la *causalidad* (es decir, a una explicación que —a diferencia del determinismo *prima facie*— no necesariamente procura *predecir* eventos similares), podría exigirse una versión más sofisticada, en la cual aquellas preguntas de-por-qué supongan que siempre hay ‘causas’ (condiciones iniciales) y leyes universales, que nos permitan deducir el ‘suceso’ en cuestión; pero aun así, y pese a que esta sería una *suposición fuerte*, Popper insiste que no habría tampoco *determinismo* en la correspondiente respuesta causal (sofisticada), y por tres razones a saber: en primer lugar, el sentido común cuando trata de explicar un ‘suceso’ causalmente, lo hace principalmente de forma cualitativa, por lo cual, cualquier exigencia del determinismo «científico» que pretenda ofrecer *predicciones* (con el grado de precisión que se desee) va más allá del sentido común de la causalidad. En segundo lugar, el sentido común de *causa* es también cualitativo, además las causas (o condiciones iniciales) nunca se alcanzan de forma absoluta o precisa, por lo cual solo podemos resignarnos “[...] con condiciones iniciales que son hasta cierto punto imprecisas”²⁵³; una situación que, desde luego, no le sería favorable al determinismo laplaciano, pues aquel pretendería una absoluta precisión en las *predicciones*. Y en tercer lugar, el determinismo «científico» exige el *principio de poder dar razón*²⁵⁴, y dicho principio sería realmente demasiado vago cómo para ofrecer condiciones iniciales ‘suficientemente precisas’. Las anteriores consideraciones popperianas disocian el

²⁵⁰ *Ibíd.*, p. 33.

²⁵¹ *Ibíd.*, p. 33.

²⁵² *Ibíd.*, p. 33.

²⁵³ *Ibíd.*, p. 34. En relación con este argumento, Popper en *Conocimiento Objetivo* manifestó lo siguiente: “[...] incluso la fórmula “Todo acontecimiento físico observable o medible posee una causa física observable o medible” sigue siendo compatible con el indeterminismo físico, por la sencilla razón de que ninguna medida puede ser infinitamente precisa”. En: POPPER, Karl. *Conocimiento Objetivo*. Madrid: Tecnos, 1974, p. 205-6.

²⁵⁴ Véase: POPPER, Karl. *El universo abierto: un argumento a favor del indeterminismo*. Post Scriptum a la lógica de la investigación científica. Vol II. Madrid: Editorial Tecnos, 1994, p. 35.

determinismo y la *causalidad* como dos nociones que son en gran medida separadas o autónomas, debido a que cada una de aquellas obedece a pretensiones particularmente diferentes. Además, como explica el filósofo de la ciencia Roberto Ávila: “el asunto es que no debe identificarse causalidad con determinismo pues hay casos en los que se puede hablar de determinismo prescindiendo de la idea de causa como en la definición de estado inercial de la primera ley de Newton, que es un caso de un estado determinista pero sin causa”²⁵⁵. Asimismo, Popper piensa que la idea intuitiva o popular de causalidad como explicación causal (causa-efecto) es válida, mientras que el determinismo (en su sentido más fuerte) por su parte no sería legítimamente válido.

En síntesis, el determinismo «científico», en comunión con el determinismo *prima facie*, exigiría principalmente *predicciones* exactas, que se deberían efectuar a partir de ciertas leyes universales que reclaman una información completa de las condiciones iniciales del suceso, en tanto que la causalidad, en su sentido común, representaría cualitativamente aquellas *causas iniciales* que manifestaría un característico suceso o evento, y las cuales, yendo más allá de aquel sentido común, se referirían a todo un conjunto de datos cuantitativos o magnitudes físicas que tan solo podríamos conocer —o sospechar— con algún grado aproximativo de precisión. Por consiguiente, Popper afirmó: “así, tenemos que precavernos contra el error que cometen tantos filósofos, que creen que es válido argumentar en favor del determinismo señalando que cada suceso tiene una causa”²⁵⁶.

2.2.4.2. El principio de poder dar razón

El *principio de poder dar razón* se refiere a la *predictibilidad* de los sucesos físicos, y el cual simplemente estaría sentenciando que: todo suceso, o evento, posee inexorablemente una razón suficiente para que acontezca en su forma determinada y predecible. Al respecto Popper afirmó que, para efectos de una particular *predicción* a la cual pretendamos atribuirle un principio de poder dar razón, “[...] el resultado de un cálculo no será más preciso que el menos preciso de sus datos, y, en consecuencia, una predicción no será, en principio, más precisa que ninguna de las condiciones iniciales dadas sobre las que se basa”²⁵⁷. De modo que, si quisiéramos exigir una predicción completamente exacta de cierto evento, tal cual como lo pretende el determinismo laplaciano, tendríamos, forzosamente, que acrecentar cada vez más, la precisión de las condiciones iniciales que reviste ese mismo suceso, y tanto como lo deseemos, ya que “[...] las condiciones iniciales tendrán que ser suficientemente precisas para obtener la solución del problema

²⁵⁵ ÁVILA, Roberto. Aproximación al concepto de determinismo. En: revista Cuestiones de Filosofía No. 10. p 128.

²⁵⁶ POPPER, Karl. El universo abierto: un argumento a favor del indeterminismo. Post Scriptum a la lógica de la investigación científica. Vol II. Madrid: Editorial Tecnos, 1994, p. 35.

²⁵⁷ *Ibíd.*, p. 35.

planteado por la tarea de predicción”²⁵⁸. De lo anterior debe quedar claro que el determinismo laplaciano requiere para su adecuada definición imperiosamente del recurso del *principio de poder dar razón*; pues este sería el principio que garantizaría la presumible predicción exacta de los diferentes eventos que son objeto del estudio científico.

No obstante, Popper advirtió que dicho *principio de poder dar razón* poseería bastante *vaguedad*, pues ¿cuándo se podría afirmar que poseemos satisfactoriamente una presunta exactitud de todas las condiciones iniciales de un suceso? en otras palabras, ¿cuándo poseemos condiciones iniciales *suficientemente precisas* del evento? Según Popper siempre se podría argumentar —a conveniencia— la satisfacción (con cierto grado estipulado) de las condiciones iniciales, como además, el determinista, cada vez que falla la predicción, podría siempre alegar que “[...] las condiciones iniciales no eran ‘suficientemente precisas’”²⁵⁹. Por lo cual, para corregir aquella *vaguedad*, Popper propone que habría que demandar, incluso antes de contrastar las mismas predicciones que efectúa cierta teoría para un evento particular “[...] si las condiciones iniciales son suficientemente precisas o no [...]”²⁶⁰. Lo anterior según Popper implicaría que:

“[...] debemos *poder dar razón de antemano* de cualquier fallo en predecir un suceso con el grado deseado de precisión, señalando que nuestras condiciones iniciales no son bastante precisas y estableciendo lo precisas que tendrían que ser para esa tarea de predicción”²⁶¹.

Lo anterior correspondería a lo que Popper denominó el *sentido débil del principio de poder dar razón*, que puede ser efectivamente satisfecho por algunas tareas predictivas. Aunque para evitar posibles confusiones es de aclarar que el sentido débil del principio de *poder dar razón* es precisamente débil en tanto que no otorga una determinación precisa o absoluta de la predicción, sino que contempla la existencia de ciertos grados de error en la misma tarea predictiva. También sería posible pensar en un *sentido fuerte* del mismo principio que concierne a la predicción, y ello sería posible, según afirmó Popper, “[...] haciendo referencia a la precisión de los resultados de las mediciones posibles a partir de los cuales pueden calcularse las condiciones iniciales, en lugar de hacer referencia a la precisión de las condiciones iniciales”²⁶². Sin embargo Popper advirtió que: “[...] en este sentido más fuerte, una tarea de predicción puede no ser capaz de dar razón porque no podemos determinar a partir de ella (y de la teoría) el grado requerido de precisión de las mediciones posibles sobre las que vayamos a basar nuestras predicciones”²⁶³. De modo que, si bien Popper concibe que el proceso de predicción

²⁵⁸ *Ibíd.*, p. 35.

²⁵⁹ *Ibíd.*, p. 35.

²⁶⁰ *Ibíd.*, p. 35.

²⁶¹ *Ibíd.*, p. 36.

²⁶² *Ibíd.*, p. 36.

²⁶³ *Ibíd.*, p. 36.

sí puede satisfacer un principio de poder dar razón en un sentido débil, aquel mismo proceso predictivo no podría satisfacer dicho principio en un sentido fuerte. Ahora bien, según Popper, si una teoría ofrece una predicción en el sentido débil, pero no en el fuerte, entonces se trata de una teoría cuyo carácter determinista no se podría contrastar, pues, dicho de otra manera, el determinismo laplaciano requiere del principio de poder dar razón en su sentido más fuerte, y ello sería algo que, como se ha señalado, no logra. Por ello el autor austriaco manifestó lo siguiente:

Los únicos argumentos razonablemente fuertes que yo conozco en favor del determinismo son aquellos que sustentan el determinismo «científico»; y, en vista del hecho de que los argumentos del sentido común en favor del determinismo científico parecen desbaratarse cuando se los enfrenta al problema de la capacidad de dar razón, da la impresión de que la balanza del sentido común se inclina a favor del indeterminismo²⁶⁴.

Por consiguiente, según Popper, el indeterminismo laplaciano no sería viable, en tanto que este no puede satisfacer un principio de poder dar razón, en su sentido fuerte; ello sería un indicativo de que es preciso concebir una postura indeterminista de la naturaleza.

2.2.4.3. El determinismo *prima facie* de la mecánica clásica

Popper²⁶⁵ en el segundo volumen del *Post scriptum: Universo Abierto*, señaló que la mecánica cuántica es una teoría de probabilidades, en tanto que la física clásica poseería un carácter diferente, el cual consistiría en que reviste un determinismo *prima facie*. El autor austriaco expone el carácter atribuido a la mecánica clásica, a partir de la idea del famoso *demonio de Laplace*, que básicamente consiste en considerar lo siguiente: el mundo se compone de corpúsculos que interactúan siguiendo la mecánica de Newton; conociendo las condiciones iniciales de un evento, en un determinado momento del tiempo, como pudiese ser el presente, se podría conocer deductivamente, el estado de ese evento, en cualquier otro momento o tiempo futuro.

Según Popper, la idea de Laplace recoge la ficción de un demonio, puesto que un simple ser humano, claramente, no tendría aquella capacidad sobrehumana de conocer todas las condiciones iniciales del mundo (o un sistema complejo) en un momento preciso. No obstante, aquella misma idea pretende mostrar que, a partir de las ecuaciones de la mecánica clásica, que expresan leyes de la naturaleza, y con la ayuda del conocimiento de las condiciones iniciales del sistema, se puede deducir el futuro de cualquier evento, y por ende, “[...] el futuro del mundo estaría

²⁶⁴ *Ibíd.*, p. 50.

²⁶⁵ *Ibíd.*, p. 52.

implícito en cualquier instante de su pasado”²⁶⁶. Lo anterior supondría, —si obviamos las múltiples dificultades que se esconden—, nada más y nada menos, que la presunta autenticidad y veracidad del determinismo. Pero según Popper, aunque Laplace es consciente de algunas dificultades, como la circunstancia de que no se pueden conocer todas las condiciones iniciales de todos los cuerpos del universo, habría considerado que es posible conocer —por lo menos— las condiciones iniciales, de por ejemplo, un sistema solar con pocos planetas; cómo también habría considerado que si bien muchas veces no se puede conocer absolutamente todas las condiciones iniciales de forma precisa, el científico sí podría adquirir, cada vez más, y sin límite, un mayor grado en la precisión de las mediciones de las condiciones iniciales. Asimismo, ante la seria y complicada dificultad que supone la predictibilidad en el problema de los *n-cuerpos* (o problema sobre el cómo calcular la interacción gravitatoria newtoniana de más de dos cuerpos), Laplace habría considerado que dicho problema eventualmente podría ser resuelto por algún científico, por lo cual había sido entonces completamente legítimo facultar al denominado ‘demonio’ con dicho conocimiento; pues es de considerar que el demonio de Laplace simplemente sería un científico idealizado.

A partir de aquellas consideraciones, ahora podemos retornar a la idea expresada en torno al característico determinismo *prima facie* de la mecánica clásica. Popper circunscribe el sentido del término: “las teorías que, para sistemas físicos apropiados, respondan plenamente al propósito de Laplace pueden ser denominadas ‘deterministas *prima facie*’”²⁶⁷. Y posteriormente sugiere una definición genérica de lo que denotaría el determinismo *prima facie*, la cual, debido a su importancia, se muestra tal cual y como sigue:

“Una teoría física es determinista *prima facie* si, y sólo si, nos permite deducir, a partir de una descripción matemáticamente exacta del estado inicial de un sistema físico cerrado que se describe en términos de la teoría, la descripción, con cualquiera que sea el grado finito de precisión estipulado, del estado del sistema en cualquier instante dado del futuro”²⁶⁸.

Una vez señalada la definición anterior, cabe preguntar si el *determinismo prima facie* (es decir, el carácter predictivo de una teoría) ofrecería adecuados argumentos para inferir la validez del determinismo «científico». Ahora bien, para responder adecuadamente aquella pregunta planteada, debemos previamente señalar algunas breves consideraciones que nos sirven para distinguir, ciertamente, cuáles serían las propiedades características del determinismo «científico».

²⁶⁶ *Ibíd.*, p. 53.

²⁶⁷ *Ibíd.*, p. 54.

²⁶⁸ *Ibíd.*, p. 54.

2.2.4.4. Características del determinismo «científico»

En términos generales, el determinismo «científico» o laplaciano, despliega las tres siguientes características:

- a) **Predictibilidad:** la característica primordial del determinismo laplaciano consiste en sentenciar el carácter predecible de un suceso o evento de la naturaleza física, a partir del conocimiento de las leyes mecánicas de la naturaleza, y claro está, cada vez que se conozca, en determinado momento, la totalidad de sus condiciones iniciales. En aquella medida, se considera que el futuro de cualquier posible suceso puede ser enteramente susceptible de ser deducido racionalmente. Por lo cual, el determinismo laplaciano entraña un *determinismo prima facie*.
- b) **No existe ningún hecho fortuito:** puesto que todo suceso futuro podría ser efectivamente deducido si conocemos cada una de sus condiciones iniciales que manifiesta (o manifestó) su sistema físico, no habría cabida alguna para pensar en acontecimientos aleatorios o azarosos, pues todo suceso, aunque no lo veamos explícitamente, estaría concluyentemente sujeto a ciertas normas rígidas que lo determinan.
- c) **Reducción del grado de complejidad:** según Popper, el éxito atribuido a la mecánica clásica hace suponer que el determinismo se nutre de la experiencia humana. Dicha experiencia indicaría que el conocimiento que logramos adquirir no deriva de la intuición, sino que procede de un proceso racional, según el cual, cada vez más, el ser humano supera los límites de su propio conocimiento. Por lo tanto, si bien resulta claro que —de momento— no es posible conocer todas las condiciones iniciales de un sistema físico como lo son ciertos sistemas solares en el universo, resulta factible que, poco a poco, se pueda obtener una mayor precisión de la medición de aquellas condiciones, lo cual sugiere una reducción en el grado de complejidad conforme se desarrolla el conocimiento.

Ahora bien, respecto a la tercera condición —en ésta monografía— denominada como: la *reducción de grado de complejidad*, Popper afirmó que ningún ser humano o computadora “[...] podría nunca, en la práctica, hallar las coordenadas de todos los corpúsculos en un sistema como un gas, que contiene un número muy grande de ellos”²⁶⁹. Por tal motivo, sugiere para el determinismo laplaciano, dos requisitos con los cuales cree que el mismo Laplace también hubiese estado de acuerdo: (1) no se puede obtener una precisión absoluta de las condiciones iniciales, por lo cual habría que ‘conformarse con un grado finito de precisión’²⁷⁰, y (2) en lo que respecta a la idea del demonio laplaciano (o de un súper científico) debe considerarse que él hace parte del sistema físico que va predecir, o como lo

²⁶⁹ *Ibíd.*, p. 57.

²⁷⁰ *Ibíd.*, p. 57.

aclara Popper, “[...] debe predecir el sistema desde dentro de él y no desde fuera”²⁷¹. De modo que, el determinismo entrañaría predictibilidad desde dentro. Según Popper²⁷², estos dos últimos requisitos, junto al principio de poder dar razón (en su versión débil), conformarían los ingredientes que poseería el determinismo «científico» en su *versión más débil*; se aclara que la adhesión del *principio de poder dar razón* (débil) obedece a que el *grado de complejidad* estipularía la necesidad de establecer ciertos grados de imprecisión, tanto como se desee. No obstante, Popper consideró que también es posible pensar una *versión más fuerte* de aquel determinismo, si tan solo añadimos el “[...] requisito de que pueda predecirse, de cualquier estado dado, si el sistema en cuestión estará alguna vez en ese estado o no”²⁷³, es decir, si dicho determinismo laplaciano pretendiese una predicción precisa u absoluta, lo cual implicaría claramente enfatizar las condiciones a) y b), en tanto se deja a un lado, especialmente, el primer requisito de la condición c), y si se asume, un principio de poder dar razón (en su versión fuerte).

Popper indicó que las explicaciones antes ofrecidas sobre el determinismo «científico» (tanto en su versión débil como fuerte) muestran una supuesta relación muy estrecha con el determinismo *prima facie*; pues la *predictibilidad* que posibilitaría, y ofrece, el determinismo *prima facie*, presuntamente garantizaría la veracidad del propio determinismo «científico». Según Popper²⁷⁴ así lo habría considerado —por ejemplo— reconocidos pensadores como Kant, Laplace y Einstein, quienes habrían visto en la *predictibilidad* que ofrece el determinismo *prima facie* de la mecánica de Newton, argumentos incuestionables que garantizarían una supuesta veracidad del determinismo «científico».

No obstante, según Popper, inferir la validez del determinismo laplaciano, a partir de los éxitos predictivos del determinismo *prima facie*, sería un enorme error que no contemplaría una diferencia crucial entre aquellos dos tipos de determinismo. Pues según Popper²⁷⁵, el determinismo *prima facie*, señalaría una determinada propiedad que le pertenece —principalmente— a la teoría (una propiedad que por cierto, se caracterizaría por posibilitar, una explicación de ciertos sucesos *predictibles*); mientras que el determinismo «científico» señalaría, por su parte, una determinada propiedad, pero la cual, se le atribuiría que pertenece —fundamentalmente— al mundo físico.

Por consiguiente, el determinismo *prima facie* poseería pretensiones —principalmente, aunque no exclusivamente— de índole epistemológicas, en tanto que habríamos que valernos de este para describir ciertas conjeturas sobre algunos aspectos cognoscibles de nuestra realidad. En aquella medida, las teorías,

²⁷¹ *Ibíd.*, p. 58.

²⁷² *Ibíd.*, p. 59.

²⁷³ *Ibíd.*, p. 59.

²⁷⁴ *Ibíd.*, p. 66. Según Popper, Kant creyó que la teoría de Newton era válida a priori. Véase: *Ibíd.*, 70.

²⁷⁵ *Ibíd.*, p. 60.

hipótesis, o conjeturas de carácter *prima facie*, nos posibilitan entender un poco más aquellos fenómenos de nuestro mundo físico que encontramos son *predictibles*. Por otro lado, el determinismo «científico» estaría demandando para las teorías de la ciencia, correspondencias —principalmente, aunque no exclusivamente— de índole ontológicas y que sean además absolutas, puesto que supondría que para todos y cada uno de los profusos y complejos elementos conjeturables, formales e interpretativos de las teorías científicas, debe existir un absoluto correlato en la realidad física. Esto último implicaría que los aspectos *determinados* por la teoría, —para un determinista laplaciano— obedecería a una suerte de explicación última como la pretendida por los esencialistas. Pero como afirmó Popper: “es cosa admitida que, si una teoría es verdadera, entonces describe ciertas propiedades del mundo. Pero esto no significa que para cada propiedad de una teoría verdadera haya la correspondiente propiedad del mundo”²⁷⁶. De modo que, si se entiende bien que las teorías de la ciencia solamente nos permiten un acercamiento meramente parcial —y con verosimilitud— a ciertas propiedades que efectivamente puedan corresponder con la realidad ontológica del mundo, no resulta válido inferir la validez del determinismo laplaciano a partir del determinismo *prima facie*.

Por otro lado, Popper cuestionó el determinismo laplaciano, ya que: “mientras no haya perspectivas serias de resolver el problema general de-n-cuerpos de la dinámica de Newton, no hay ninguna razón para creer que la dinámica de Newton es capaz de dar razón, ni siquiera en el sentido más débil de ‘capaz de dar razón’”²⁷⁷. Además también lanzó una crítica contra la versión fuerte del determinismo laplaciano, según la cual, dicha versión no puede ser más que falsa, pues: (1) presume ofrecer una predicción absoluta que requiere ineludiblemente de un *principio de poder dar razón* (en su versión fuerte) que, como vimos anteriormente, es demasiado *vago* cómo para establecer criterios únicos y totalmente claros, y (2) el determinismo laplaciano, en su versión fuerte, también sería duramente cuestionado por las investigaciones del matemático Hadamard, quien junto a Henri Poincaré, Stephen Smale, y Pierre Duhem, sería uno de los más representativos pioneros en torno al desarrollo de un nuevo paradigma en la ciencia física sobre el azar y la aleatoriedad, y que aproximadamente a comienzos del siglo XX, desarrolló varios aspectos sustanciales de lo que hoy en día conocemos cómo teoría del caos.

²⁷⁶ *Ibíd.*, p. 60. Además, Popper también apeló al carácter conjetural e hipotético de las teorías para señalar la diferencia entre determinismo *prima facie* y determinismo laplaciano, pues cómo afirmó: “si tenemos bien presente que nuestras teorías son nuestra propia obra, que somos falibles y que nuestras teorías reflejan nuestra falibilidad, entonces dudaremos de que las características generales de nuestras teorías, tales como su simplicidad o su determinismo *prima facie*, correspondan a las características del mundo real”. En: POPPER, Karl. El universo abierto: un argumento a favor del indeterminismo. Post Scriptum a la lógica de la investigación científica. Vol II. Madrid: Editorial Tecnos, 1994, p. 66.

²⁷⁷ *Ibíd.*, p. 74.

2.2.4.5. Hadamard y la teoría del caos

Según Popper, la versión fuerte del determinismo se vería gravemente cuestionada al considerar las investigaciones del matemático Hadamard, quien en el año de 1898 demostró matemáticamente que el movimiento constante que describe las trayectorias (u órbitas) de un punto-masa, sobre una geodésica de superficie infinita, con curvatura negativa variable, podrían (i) mostrar trayectorias cerradas o (ii) tender al infinito²⁷⁸. Al respecto, Popper consideró que Hadamard había demostrado formalmente que aquellas trayectorias de los sistemas físicos son inmensamente dependientes de las condiciones iniciales, por lo cual, cualquier variación, por muy diminuta que sea, en un sistema que vincule más de dos cuerpos, arrojaría con el paso de tiempo resultados inmensamente diferentes, y aquello impediría conocer con precisión absoluta si la trayectoria es cerrada, o si tiende al infinito.

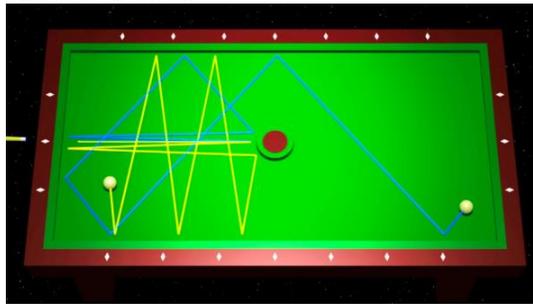
La crítica que efectuó el autor austriaco al determinismo laplaciano, y que se basa en las ideas de Hadamard, puede ser más fácilmente comprendida a través de las reflexiones del matemático y filósofo de la ciencia Pierre Duhem; quien, a principios del siglo XX, ansió desarrollar con mayor profundidad las ideas del matemático Hadamard. Si bien resulta claro que Popper en este preciso argumento, ciertamente, no hace nunca alusión a Duhem, en la presente monografía se considera que, a través de este último autor, podemos reconocer más claramente, aquellos elementos teóricos que Popper rescata de Hadamard para sentenciar —una vez más— su rechazo al determinismo «científico».

Aclarado lo anterior, comencemos por señalar que Duhem imaginó una maravillosa e interesante imagen explicativa, que mostraría la representación matemática de cómo diminutas e insignificantes variaciones de las condiciones iniciales podrían producir con el paso del tiempo colosales diferencias en las trayectorias u órbitas de un punto-masa sobre una superficie compleja. Aquella atrayente imagen que emplea Duhem es nada más y nada menos que la figura de un cuerpo de toro, que se caracterizaría por la circunstancia imaginativa de que su testuz (o cuernos) tendería al infinito. Pero antes de adentrarnos en el toro de Duhem, partamos de algo más simple: el billar de Duhem. Veamos la siguiente figura²⁷⁹:

²⁷⁸ *Ibíd.*, p. 62. Además, Duhem explicó: “las investigaciones de H. Hadamard trataban concretamente de las geodésicas de las superficies de curvaturas opuestas, de conexiones múltiples, que presentan capas infinitas”. En: DUHEM, Pierre. *La teoría física, su objeto y estructura*. Barcelona: Herder Editorial S.L., 2003, p. 184.

²⁷⁹ Ésta imagen, y la siguiente, son extraídas de CAOS, una película matemática que trata sistemas dinámicos. Dicha película es difundida bajo la licencia Creative Commons y fue realizada por Jos Leys, Étienne Ghys y Aurélien Alvarez. Disponible en internet: <https://www.chaos-math.org/es/caos-v-billares.html>

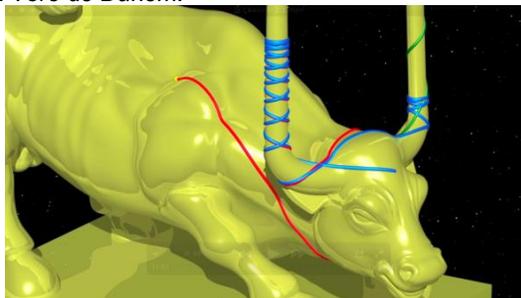
Figura 1: Billar de Duhem.



En la anterior imagen, podemos observar las trayectorias (u órbitas) de dos bolas de billar que son impulsadas con una muy ligera variación entre sus condiciones iniciales y donde ambas bolas terminan impactando contra un obstáculo (o cuerno) que se encuentra en el centro de la mesa de billar. Cómo se aprecia en la imagen, las dos trayectorias pese a manifestar una muy sutil variación entre sus condiciones iniciales, muestran rumbos completamente disimiles, lo cual revelaría que los sistemas físicos manifiestan una alta sensibilidad de las condiciones iniciales y, por ende, con respecto a las posibles trayectorias que podrían ser descritas —en el transcurso del tiempo— por un punto-masa.

Considerando las anteriores apreciaciones, partamos está vez de otra imagen explicativa. Imaginemos el cuerpo de un toro, pero no de un toro cualquiera, sino de un toro cuya testuz (o cuernos) se extienden perpetuamente hasta el infinito; tal cual y cómo nos sugiere Duhem: “imaginemos la cabeza de un toro, con las protuberancias de donde salen los cuernos y las orejas, y las partes hundidas entre estas protuberancias. Alarguemos indefinidamente esos cuernos y esas orejas de manera que se extiendan hasta el infinito [...]”²⁸⁰. Luego, imaginemos que, sobre el cuerpo de aquel toro, ubicamos algún cuerpo-masa, y que lo impulsamos, para observar cuál es la trayectoria que persigue sobre aquel cuerpo. Al respecto, veamos la siguiente imagen:

Figura 2: Toro de Duhem.



²⁸⁰ DUHEM, Pierre. Ejemplo de deducción matemática que no se puede utilizar nunca. La teoría física, su objeto y estructura. Barcelona: Herder Editorial S.L., 2003, p. 183-184.

Frente a dicha situación imaginativa, Duhem muestra que las líneas geodésicas que describen una trayectoria en el cuerpo del toro pueden exhibir situaciones muy diferentes, pues cómo señaló éste filósofo de la ciencia, y matemático:

[...] hay unas geodésicas que se detienen sobre sí mismas. Las hay también que, sin volver a pasar nunca exactamente por su punto de partida, nunca se alejan de él infinitamente; unas giran sin cesar alrededor del cuerno derecho, otras alrededor del cuerno izquierdo, o de la oreja derecha, o de la oreja izquierda; otras, más complejas, van alternando según ciertas reglas las vueltas que describen alrededor de un cuerno con las vueltas que describen alrededor del otro cuerno, o de una oreja. Finalmente, sobre la frente de nuestro toro de cuernos y orejas ilimitadas, habrá geodésicas que irán al infinito, unas escalando el cuerno derecho, otras escalando el cuerno izquierdo, y otras siguiendo la oreja derecha o la oreja izquierda²⁸¹.

Ahora bien, según Duhem si conocemos con exactitud matemática las condiciones iniciales cómo (i) la posición inicial y (ii) la dirección de la velocidad inicial, entonces es posible determinar con precisión absoluta y sin ambigüedad la trayectoria que describirá el punto-masa sobre el cuerpo del toro, pudiéndose conocerse así con prelación matemática la trayectoria (u órbita) de aquel punto-masa: si se detiene, o si permanece cerca de la cabeza del toro, si se extiende al infinito girando en torno a uno de sus cuernos o si su movimiento se alterna entre varios movimientos complejos; es decir, conociendo matemáticamente las condiciones iniciales no habría ninguna ambigüedad en la predicción matemática de la trayectoria²⁸². No obstante, Duhem es consciente de la circunstancia según la cual en la investigación física no existiría aquella precisión absoluta que concedería el conocimiento teórico y matemático de las condiciones iniciales, puesto que aquellas condiciones iniciales, en la física, se extraerían fundamentalmente de procedimientos empíricos o prácticos; es decir, deben substraerse por medio de ciertos instrumentos de medición, que ciertamente arrojarían datos que precisamente no corresponderían con lo que sería un punto-masa (o en otras palabras, un punto local que es completamente exacto sobre las geodésicas). De modo que —según Duhem²⁸³—, en dicho caso habría que conformarse con distinguir una suerte de '*contorno de una mancha*', pues —entre otras cosas— los datos empíricos sobrellevarían cierto margen de error e imprecisión. Por lo cual, lo que se ha denominado cómo: '*contorno de una mancha*' revelaría todo un conjunto de eventuales posibilidades para las trayectorias, donde las más ligeras variaciones posibles, que podría manifestar un supuesto punto preciso al interior de aquel '*contorno*', pueden generar —con el transcurso del tiempo— significativas diferencias en las trayectorias que se extienden sobre el cuerpo del toro.

²⁸¹ DUHEM, Pierre. Ejemplo de deducción matemática que no se puede utilizar nunca. La teoría física, su objeto y estructura. Barcelona: Herder Editorial S.L., 2003, p. 184.

²⁸² Pero como veremos, según Duhem: "otra cosa sería si las condiciones iniciales no se dieran matemáticamente sino prácticamente." En: *Ibíd.*, p. 184.

²⁸³ *Ibíd.*, p. 184.

En conclusión, los sistemas físicos evidencian poseer una alta sensibilidad a las condiciones iniciales, que en el mundo de la física, solo podemos distinguir de forma aproximada (o como *'contorno'*) por medio del recurso de la práctica experimental y empírica; esto indicaría que más allá del mero cálculo matemático y de la axiomatización de la teoría misma, en los procedimientos experimentales y físicos, resulta completamente desacertado hablar de predicciones absolutas —que se dan a lo largo del tiempo— para las órbitas o trayectorias en los sistemas físicos complejos²⁸⁴.

Al respecto, Popper mostró ser plenamente consciente de aquella situación demostrada por primera vez por Hadamard, y cuyos aspectos más interesantes son enfatizados por la anterior reflexión señalada de Duhem. Por ello, a partir de la demostración matemática de Hadamard y de las reflexiones filosóficas que genera, Popper sentenció:

[...] la versión más fuerte del determinismo «científico» [...] es refutada por los resultados de Hadamard. Porque, como señala Hadamard, ningún grado finito de precisión de las condiciones iniciales nos permitirá predecir si un sistema planetario (de muchos cuerpos) será estable en el sentido de Laplace, o no. **Esto es debido al hecho de que los estados iniciales matemáticamente exactos que determinan las órbitas y otros que determinan las geodésicas que van al infinito no pueden ser desenredados, como hemos visto, por ninguna medición física**²⁸⁵.

Popper consideró que las formulaciones matemáticas de Hadamard serían una prueba (o demostración) fulminante en contra de la postura fuerte del determinismo laplaciano; aunque dichas formulaciones no impugnarían una postura débil del mismo determinismo, ya que esta última postura posibilitaría algunas predicciones, pero aquellas mismas indicarían que lo que “[...] *no podemos* predecir es el comportamiento del sistema **para todos los instantes del tiempo**”²⁸⁶.

²⁸⁴ Para Popper una posición realista en la ciencia física, indicaría que no se pueden adquirir empíricamente condiciones iniciales de forma absoluta y precisa. Véase: POPPER, Karl. El universo abierto: un argumento a favor del indeterminismo. Post Scriptum a la lógica de la investigación científica. Vol II. Madrid: Editorial Tecnos, 1994, p. 62.

²⁸⁵ POPPER, Karl. Determinismo «científico». El universo abierto: un argumento a favor del indeterminismo. Post Scriptum a la lógica de la investigación científica. Vol II. Madrid: Editorial Tecnos, 1994, p. 62. La negrilla se ha añadido.

²⁸⁶ *Ibíd.*, p. 63. La negrilla se ha añadido. En *Universo abierto* Popper señaló que existe una diferencia entre «*para todo*» y «para cualquier... dado» en la tarea predictiva, en analogía con las formulaciones de Gödel en torno a los teoremas de la incompletitud matemática. En otras palabras, Popper se propuso mostrar que, así como existen axiomatizaciones matemáticas cuyos enunciados aritméticos no son todos enteramente resolubles, también habría circunstancias empíricas que no posibilitarían una predictibilidad absoluta para todo momento del tiempo. Véase nota 11 de *Universo abierto*.

2.2.4.6. Las teorías como redes

Como se mencionó anteriormente, uno de los principales argumentos empleados por Popper para establecer el carácter indeterminista de la física clásica y de mecánica cuántica, consiste en el simple hecho de pensar que las teorías físicas son meros constructos conjeturables, con los cuales tratamos de explicar y comprender los diferentes eventos o sucesos que acaecen en la naturaleza física.

En aquella medida, Popper nos invita a imaginar a las teorías de la ciencia empírica como si éstas fuesen redes o mallas, con las cuales tratamos de capturar algunos elementos de la realidad; y, además, como si aquellos elementos que pertenecen a la realidad se tratasen de peces. Por ello pronunció: “yo considero nuestras teorías científicas como invenciones humanas, redes creadas por nosotros para atrapar el mundo”²⁸⁷. De ese modo, las teorías de la ciencia serían como una especie de malla o red, con la cual el científico e investigador se equiparía y aventuraría en el gran océano de los fenómenos naturales en un intento por capturar y pescar alguna explicación satisfactoria sobre la *realidad* de los sucesos naturales; una explicación que le permita obtener algún conocimiento y saciar sus inquietudes. Pero las redes, que serían las sorprendentes conjeturas de la ciencia, serían meras construcciones —a partir de muchos hilos— que podrían estar bien o mal entrelazados, y por ello resulta que no siempre aquellas redes logren capturar por completo todos los profusos elementos de la realidad que se hallan inmersos en aquel enorme y desconocido océano. Por lo tanto, puede que algunas redes (que son las teorías) sean aproximativamente finas o buenas en su tarea o, por otro lado, puede que sus hilos se encuentren tan mal trenzados, que no permitan capturar nada, y que incluso, enormes peces, lograsen atravesarla; en aquella medida, dependiendo de qué tan bien hecha —o acertada— se encuentre aquella red o malla, con la que se trata pescar los elementos de la realidad, aquella será más o menos efectiva en la tarea que se le ha encomendado. De ese modo, resulta fundamental identificar que las redes (o conjeturas) puede que no logren capturar por completo todos los peces, puesto que puede haber peces muy pequeños, o muy grandes para aquellas redes, o puesto que simplemente, aquella red puede poseer hilos mal entrelazados. Ninguna red (o teoría) puede capturar (o determinar) de forma absoluta toda la realidad de los fenómenos naturales, pues como afirmó Popper “[...] incluso nuestros esfuerzos de mayor éxito no pueden producir más que una red cuya malla es demasiado tosca para el determinismo. Intentamos examinar el mundo exhaustivamente con nuestras redes; pero sus mallas siempre dejarán escapar algún pequeño pez: siempre habrá suficiente juego para el indeterminismo”²⁸⁸. En conclusión, el determinismo laplaciano se vería cuestionado, por la simple

²⁸⁷ POPPER, Karl. El argumento en favor del indeterminismo. El universo abierto: un argumento a favor del indeterminismo. Post Scriptum a la lógica de la investigación científica. Vol II. Madrid: Editorial Tecnos, 1994, p. 65.

²⁸⁸ POPPER, Karl. El universo abierto: un argumento a favor del indeterminismo. Post Scriptum a la lógica de la investigación científica. Vol II. Madrid: Editorial Tecnos, 1994, p. 70.

circunstancia, de que las teorías de la ciencia no son en lo absoluto perfectas (no son teorías categóricas), antes bien, éstas son conjeturas que nos ofrecen cierto rango, o aproximación (es decir, algo no determinado absolutamente) frente a ciertas parcelas de lo real. Estas conjeturas podrían ser luego desarrolladas o simplemente reemplazadas por otras teorías; las teorías de la ciencia, no pueden consentir un determinismo enteramente absoluto (determinismo laplaciano), a pesar de que, para ciertos propósitos precisos, las teorías señalen cierta utilidad predictiva, o lo que es igual, un determinismo *prima facie*.

Al respecto, vale la pena reiterar que, el determinismo *prima facie*, refiere a la forma en que tratamos de comprender el mundo a partir de teorías predictivas, y que por su parte, el determinismo laplaciano, haría referencia al quimérico supuesto de que las teorías de la ciencia corresponden de forma absoluta, y con todos sus profusos elementos teóricos (leyes, axiomas, e hipótesis auxiliares o *ad hoc*) a la realidad ontológica, y esto último, ciertamente nunca sucede, pues ninguna teoría, pese a revestir capacidad predictiva, corresponde de forma absoluta, con todos sus diversos elementos teóricos, a la realidad, ya que las teorías nunca escapan de ser simples conjeturas; o, en otras palabras, no se debe confundir una construcción teórica (la red o malla) con la realidad misma.

2.2.4.7. El pasado y futuro en las concepciones de la ciencia

Otro de los principales planteamientos que empleó Popper para rebatir la postura del determinismo laplaciano se refiere a los argumentos sobre la asimetría pasado y futuro. Dichos argumentos abarcan diversas, numerosas, y extensas reflexiones en torno a cuestiones como: la evolución histórica, el historicismo, el tiempo, la flecha del tiempo, la entropía, la asimetría pasado y futuro y los argumentos que enfrentan al universo cerrado (universo en bloque de Parménides) con el universo abierto (universo emergente o propensional). Dichas cuestiones Popper las abordó en un contexto más próximo a la ciencia, y con mayor profundidad, en sus escritos tardíos, en obras como los tres volúmenes del *Post scriptum* (1982), y *El mundo de Parménides* (obra publicada en 1993); sin embargo, en *La miseria del historicismo* (1944) y en *La sociedad abierta y sus enemigos* (1945) Popper ya había emprendido algunas meditaciones al respecto: sus primeras reflexiones surgen a partir de su crítica fundamental a lo que él mismo denominó *historicismo*. Es de considerar que aquellos preliminares planteamientos en torno a la evolución histórica emergen en un contexto cercano a la filosofía política y se despliegan en fuerte contraposición crítica con los planteamientos *historicistas* de filósofos representativos como Platón, Hegel y Marx.

Puesto que el historicismo (o determinismo histórico) posee cierta relación con la discusión en torno a la evolución del tiempo, y ya que éste argumento contiene las primeras reflexiones sobre la asimetría pasado y futuro, se considera pertinente una

muy breve explicación sobre esta cuestión; luego veremos otros principales argumentos de Popper para afirmar que el pasado no determina completamente el futuro, o, en otras palabras, que hay una asimetría entre el pasado y el futuro.

2.2.4.7.1. El historicismo

En síntesis, el historicismo afirma que “[...] la historia está regida por leyes históricas o evolutivas específicas cuyo descubrimiento podría permitirnos profetizar el destino del hombre”²⁸⁹. En aquella medida, el historicismo agruparía todo un conjunto de diferentes teorías sociales que pretenden, de alguna manera, proporcionar profecías a largo plazo sobre el futuro de la humanidad.

Al respecto, el análisis de Popper en *La miseria del historicismo*, recae primeramente en el filósofo griego Platón, al cual Popper le atribuye un denominado historicismo clásico; pues para Platón todo cambio era concebido como degeneración y corrupción, por lo que dicho filósofo griego pretendió solventar el problema de la diferencia y el cambio con su teoría de las ideas. Sin embargo, las consecuencias negativas del planteamiento historicista de Platón, solamente serían evidentes una vez que este es trasladado al ámbito político, puesto que su historicismo clásico, lo arrojaría a considerar un tipo de organización social que es estática (sociedad cerrada), en donde cualquier tipo de cambio y la supuesta degeneración que produce, no tendrían cabida alguna en la sociedad. Por ello, según Popper²⁹⁰, el ideal de Platón en *La república* era el de cimentar un *estado perfecto* e ideal donde reinara la armonía. No obstante, cómo explica la profesora Blanca Inés Prada Márquez, aquello implicaría que “[...] para lograr dicho estado ideal es necesario admitir que las leyes reposan sobre la naturaleza de las cosas, en otras palabras, reducir lo humano a la naturaleza, mientras que los abanderados del progresismo democrático –en particular los sofistas– habían afirmado la dualidad de la naturaleza y de la convención y en particular la autonomía del hombre en relación con una naturaleza de la cual es parte, pero al mismo tiempo puede modificarla”²⁹¹. Como vemos, Platón creyó haber hallado las leyes inmutables que subyacen a los fenómenos sociales, y negó la dualidad manifestada por Protágoras entre las leyes de la naturaleza y las leyes normativas (o convenciones humanas), pues estas últimas sí que pueden ser modificadas.

Por su parte, el historicismo de Hegel abriría paso al denominado historicismo moderno. Según Popper, el autor alemán en su *Filosofía de la historia* registró que existen leyes históricas inevitables que se deben descubrir y supuso que el hombre y la humanidad tienden al espíritu absoluto, o lo que es igual, que la humanidad

²⁸⁹ POPPER, Karl. *La sociedad abierta y sus enemigos*. Madrid: Editorial Paidós, 2006, p. 23-24.

²⁹⁰ *Ibíd.*, p. 54.

²⁹¹ PRADA, Blanca. *Ciencia y política en Karl Popper*. Bucaramanga: Editorial UIS, 2006, p.128.

tiende paulatinamente a un progreso histórico. Al respecto Popper controvierte este historicismo afirmando que “[...] el futuro depende de nosotros mismos y nosotros no dependemos de ninguna necesidad histórica”²⁹².

Por último, Popper también cuestionó la presencia de un planteamiento historicista en la obra de Karl Marx, a cuya teoría le atribuiría tres rasgos fundamentales: (1) fe o creencia en un destino mejor, (2) necesidad de grandes hombres o de héroes que conduzcan hacia ese destino y (3) la necesidad de la revolución; además dicha postura ideológica creyó encontrar en la historia de la humanidad una suerte de leyes históricas que posibilitarían realizar pronósticos sobre el porvenir de los hombres, según los cuales la ciencia social posibilitaría efectuar profecías como: ‘el ineludible advenimiento de una comunidad socialista’.

Según Popper, todas aquellas posturas historicistas, considerarían que la historia de la humanidad se encuentra sujeta, o determinada, por leyes históricas que son inevitables, las cuales pueden ser completamente predichas por el científico social. Cualquier tipo de acontecimiento social se encontraría enteramente predeterminado, por una cadena causal de eventos o sucesos históricos que resultarían ser eventualmente inevitables.

Aquella idea historicista sobre acontecimientos forzados que son producto de leyes históricas, nos recuerda, tal y como lo señaló Popper, la figura arquetípica de Edipo. Aun antes de su nacimiento su padre Layo (rey de Tebas) había sido advertido de los acontecimientos que sería desatados por su hijo, puesto que, según el oráculo, Edipo le mataría y se casaría con su esposa, Yocasta. Pero según el mismo mito, el rey de Tebas en un intento por evitar tan nefasto futuro, abandonó a su hijo, con tan mala suerte que de aquella manera habría contribuido a que se produjese la misma cadena causal que le llevaría al destino trágico profetizado por el oráculo. A partir de este mito, es posible reflexionar sobre varios aspectos en torno a la naturaleza de los acontecimientos históricos. Una primera aproximación indicaría —según el historicista— que existe una suerte de determinaciones históricas (o leyes históricas) que no consiguen evadir un orden que es rígido e inalterable de los acontecimientos históricos, pues a pesar de que se pueda conocer predictivamente el futuro, no se podría evitar —de ninguna forma— que acontezcan aquellos mismos sucesos predichos. El historicismo estaría planteando la existencia de un rumbo inevitable, una suerte de destino imperturbable en los acontecimientos históricos; además, estaría planteando la posibilidad de que aquellos mismos acontecimientos puedan ser conocidos previamente por el científico social.

No obstante, en contra del supuesto historicista, según Popper, la leyenda de Edipo también consentiría reflexionar en torno a lo que él mismo denomina: *el efecto Edipo*, el cual mostraría que, en el hipotético caso de que sean revelados —en el presente— algunos presumibles acontecimientos predictivos sobre un específico

²⁹² POPPER, Karl. La sociedad abierta y sus enemigos. Madrid: Editorial Paidós, 2006, p. 18.

futuro, aquella misma predicción podría afectar aquel presumible futuro predicho, debido a que la información predictiva obtenida en el presente puede influenciar, o emplearse, para alterar el supuesto rumbo de los acontecimientos predichos; pues así como dice el popular refrán: ‘soldado avisado no muere en batalla’, resulta posible perturbar el orden de los presuntos acontecimientos predichos con base en la información que se obtiene en un presente, y ello indicaría que, “toda predicción de un sistema desde dentro del mismo puede influirlo”²⁹³; en otras palabras, no es cierto que una predicción acerca del futuro predetermine o fije un rumbo que sea inevitable, tal y como lo aseveran los historicistas. De esta manera, el efecto Edipo mostraría que en la evolución de los sucesos históricos, si acaso es posible una predicción exacta sobre los acontecimientos eventuales, el mismo conocimiento que se obtiene en un presente sobre lo que podría acontecer, puede trastornar o derrumbar lo predicho, por lo cual el autor concluyó que no podría existir una absoluta predeterminación de los sucesos históricos; pues, como ejemplifica el autor, en el caso de la economía: “[...] que se dijera que la cotización de las acciones iba a subir durante tres días para luego caer. Claramente, todos los relacionados con ese mercado venderían al tercer día, causando una caída prematura en las cotizaciones y refutando la predicción”²⁹⁴.

Asimismo, contrario a la suposición historicista, existiría otra razón por la cual no resultaría válido efectuar una predicción histórica que sea completamente exacta, y ella radica, en el simple hecho, de que el mismo curso de la historia humana, se encontraría enormemente influenciado por el aumento de información, o en otras palabras, por la adquisición de nuevos conocimientos; como señaló el autor austriaco, no es posible saber con anticipación qué tipo de conocimientos tendrá la humanidad en su posteridad. Lo anterior llevó a Popper²⁹⁵ a la idea de que es imposible una posible *auto-predicción* completa desde dentro, pues como no es posible saber de antemano qué información poseerá el mismo científico en el futuro, aquel tampoco podrá conocer, a su vez, completamente los estados de su propia ‘vecindad’ o entorno en el que él también influye; “porque, si no sabe lo que sabrá mañana, tampoco puede saber cómo actuará mañana sobre su entorno”²⁹⁶. Una entera predicción *desde dentro* del mismo sistema, resulta algo imposible para Popper. No obstante en Popper²⁹⁷ permanece abierta la posibilidad de una determinación *desde fuera*.

²⁹³ POPPER, Karl. El universo abierto: un argumento a favor del indeterminismo. Post Scriptum a la lógica de la investigación científica. Vol II. Madrid: Editorial Tecnos, 1994, p. 89, nota 19.

²⁹⁴ Karl Popper, La miseria del historicismo. Madrid: Taurus, 1961, p. 28.

²⁹⁵ Véase: POPPER, Karl. El universo abierto: un argumento a favor del indeterminismo. Post Scriptum a la lógica de la investigación científica. Vol II. Madrid: Editorial Tecnos, 1994, p. 86.

²⁹⁶ *Ibíd.*, p. 86.

²⁹⁷ *Ibíd.*, p. 109.

2.2.4.7.2. La asimetría pasado y futuro

Según Popper, puesto que nadie puede cambiar el pasado, este se encontraría totalmente determinado, mientras que el futuro no estaría del todo determinado —o fijado— por las circunstancias pretéritas. En otras palabras, Popper afirmó que el pasado no determina completamente el futuro. Al respecto, es de advertir que, la reflexión de Popper entra en conflicto con el sentido común sobre la idea de *porvenir*, pues según aquella idea, el pasado sí determinaría considerablemente el futuro. Pero, como señaló el mismo autor, una pesquisa más detallada sobre el asunto del *porvenir* invita a considerar que, si bien resulta incuestionable que tanto las acciones que por ejemplo efectuó cierto individuo “X” en su pasado, como las acciones que realiza en su presente inmediato, se encaminan muchas veces adrede a forjar ciertos efectos sobre su futuro, aun así, dichas acciones —pese a generar muchas influencias en su futuro—, no alcanzan a determinar de forma completa u absoluta, todas las características de su eventual futuro. En su pequeño libro *Un Mundo de Propensiones* Popper aseveró:

“Las pasadas situaciones, sean físicas, psicológicas o mixtas, no determinan la futura situación. Antes bien, determinan *propensiones en cambio que ejercen su influjo en las situaciones futuras sin determinarlas de un modo único*”²⁹⁸.

Popper sentenciaría que el pasado al ser inalterable se encontraría cerrado, en tanto que el futuro se revelaría siempre abierto a muchas posibilidades y contingencias. En palabras de Popper: “[...] el futuro no está todavía completamente fijado; al contrario que el pasado, que está cerrado, por decirlo así, el futuro está todavía abierto a influencias; todavía no está completamente determinado”²⁹⁹. Lo anterior quiere decir que el futuro no se encontraría nunca sujeto a una predeterminación absoluta, que se suponga pueda efectuarse a partir de las meras circunstancias acaecidas en el pasado; y ello revelaría, una evidente asimetría, pues el pasado sería cerrado, pero el futuro sería abierto o emergente.

Popper no pretendió basar su argumentación sobre la asimetría pasado y futuro ni en argumentos del sentido común ni en argumentos que chocan contra el sentido común, pues el autor consideró encontrar en la misma ciencia física motivos por los cuales no dudar de su postura, y aseverar contundentemente que aquella mencionada asimetría se encontraría manifiesta en las condiciones de la misma naturaleza física. Es así como Popper en uno de sus múltiples argumentos, recurre a *la teoría de la relatividad especial de Einstein* para apoyar su meditación acerca de que el *porvenir* es siempre abierto y emergente, y que este no se encontraría determinado enteramente por el pasado.

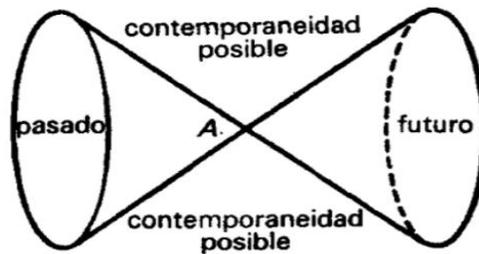
²⁹⁸ POPPER, Karl. *Un mundo de propensiones*. Madrid: Editorial Tecnos, 1992, p. 39.

²⁹⁹ POPPER, Karl. *El universo abierto: un argumento a favor del indeterminismo*. *Post Scriptum a la lógica de la investigación científica*. Vol II. Madrid: Editorial Tecnos, 1994, p. 79-80.

Es de advertir que, si bien buena parte de los autores que estudian a Popper referencian los diferentes argumentos del autor sobre la asimetría pasado y futuro, y en términos generales la encuentran adecuada, rescatable e importante, evaden aquel preciso argumento que recurre a la teoría de la relatividad especial de Einstein; este ha sido un argumento frecuentemente ignorado, y poco discutido (sin apreciaciones a favor o en contra). De modo que, en ausencia de exámenes, reflexiones o un debate sobre éste argumento, y puesto que éste puede generar cierta dificultad para ser comprendido, en los siguientes párrafos se efectuará una descripción que, por cierto, se encuentra muy apegada a las mismas afirmaciones del propio Popper.

Este argumento de Popper³⁰⁰ se basa en la teoría de la relatividad de Einstein y hace recurso de las representaciones geométricas de Minkowski, donde el pasado y futuro absolutos son figurados como un doble cono (que, como señaló el autor, debiese ser exactamente un doble cono cuatridimensional), como se muestra en la siguiente figura³⁰¹:

Figura 3: cono espacio-tiempo 1.



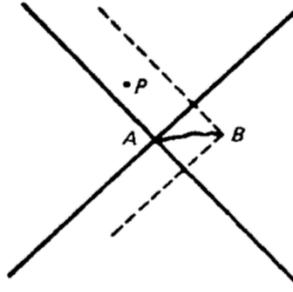
La anterior ilustración y las siguientes que contiene este apartado, son tomadas del segundo volumen del *Post scriptum: El Universo Abierto*. El vértice «A» representa un observador en un sistema de inercia local, el cual se ubica en un presente inmediato: «aquí y ahora», mientras que, cualquier otro punto que se ubique al interior de alguno de los conos (izquierda-pasado y derecha-futuro) indicaría otros momentos del tiempo de aquel observador «A». Parafraseando a Popper³⁰², la asimetría pasado y futuro, indicaría que, una cadena causal física como por ejemplo un rayo de luz, le resultaría viable viajar del pasado al futuro, pero de ninguna manera, dicho rayo de luz, podría desde un punto espacio-temporal ubicado en el futuro, viajar al pasado. De modo que, para «A» el pasado sería, por lo tanto, cerrado, mientras que el futuro permanecería siempre abierto. Ahora bien, veamos otro caso que nos plantea la siguiente ilustración:

³⁰⁰ *Ibíd.*, p. 80-81.

³⁰¹ Ésta imagen, y las dos siguientes, con relación a los conos espacio-tiempo de Minkowski, son extraídas del segundo volumen del *Post Scriptum: Universo abierto*. *Ibíd.*, p. 80-84.

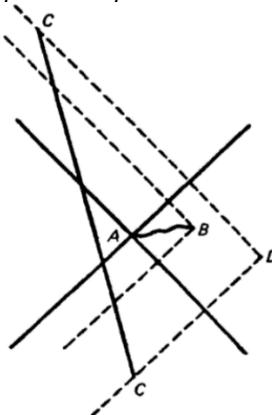
³⁰² *Ibíd.*, p. 81.

Figura 4: cono espacio-tiempo 2.



A partir de esta segunda gráfica de nuevo vemos el vértice «A», el cual representa un observador. Pero ahora imaginemos que se solicita efectuar una predicción completa del estado de cosas del sistema que es propuesto gráficamente cuando «A» se traslada hasta alcanzar al punto espacio-temporal «B» (es decir, en últimas lo que se pretende es conocer las condiciones de todo el cono-pasado de «B», a partir de las condiciones que conocemos de «A»). ¿Qué sucede? Según Popper aquello que se solicita no sería del todo posible, pues existen puntos espacio-temporales como «P» que harían parte del cono pasado de «B», pero no de «A». Veamos esto más detenidamente. En el caso propuesto, podemos ver que a partir de «A», no podríamos conocer las condiciones del punto espacio-temporal «P». Por otro lado, podemos sospechar que desde «P» pueden existir efectos que alcancen a «B». Ahora bien, como inicialmente solo tenemos pleno conocimiento del cono-pasado de «A», entonces no sería viable predecir todo sistema propuesto cuando «A» alcanza a «B», pues llegados a «B» ciertamente desconoceríamos las condiciones de «P», y éste punto espacio-temporal, como se aprecia, pertenece al cono-pasado de «B». De modo que no se puede efectuar una predicción completa de todo el estado de cosas de «B». Así que nuevamente, el futuro se torna abierto al no existir una completa predictibilidad del sistema. Finalmente, Popper emplea otro ejemplo basado en las ilustraciones de Minkowski para sentenciar, desde su consideración, el carácter emergente del futuro.

Figura 5: cono espacio-tiempo 3.



En ésta última gráfica, Popper señaló un problema algo más complejo: supóngase que «A» es un observador en el presente, y «B» es otro un punto espacio-temporal sobre el que se pretende efectuar una predicción. Pero como vimos anteriormente, no es posible efectuar una predicción completa sobre el sistema que refiere al estado de cosas cuando «A» llega a «B». Por lo cual, esta vez Popper sugiere que supongamos la existencia de un demonio laplaciano el cual posee una capacidad mayor al de cualquier científico humano, pues aquel sería capaz de conocer enteramente las condiciones iniciales de una región limitada en el espacio para cierto instante de tiempo (es decir, es capaz de conocer una región «simultánea» en el sentido de la relatividad especial) y que en la anterior grafica es representada por el segmento «C». Parafraseando a Popper, para conocer predictivamente el estado de cosas de «B», el segmento «C» debe alcanzar mínimamente las líneas punteadas que refieren a los límites del cono-pasado de «B»; pero imaginemos que el segmento «C» se extiende en ambas direcciones de su argumento un poco más allá, de aquel lugar que nos ofrece información predictiva de las condiciones de «B», y que dicha extensión alcanza finalmente las líneas punteadas que indican los límites de otro cono-pasado de un nuevo punto espacio-temporal al cual denotaremos como «D». Entonces, el segmento que consta de muchos puntos espacio-temporales, que son simultáneos «C», indicaría la región limitada en la cual el demonio laplaciano posee una profusa información, pero donde «D» representaría aquel lugar espacio-temporal donde se ubica el demonio laplaciano cuando ha recibido la información completa de todos aquellos puntos espacio-temporales del segmento «C»; de aquella manera, debido a que el segmento «C» se extiende más allá de los límites punteados del cono-pasado de «B», sabemos que «B» pertenecería al pasado de «D». Por lo tanto, afirmó Popper³⁰³, cuando el demonio laplaciano está calculando las condiciones o estado de cosas de «B», en realidad lo que está efectuando es una retrodicción, y no una predicción, pues para efectuar dicho cálculo el demonio laplaciano debía estar ubicado en «D» (que es el lugar donde aquel puede recibir información completa del estado de las cosas de «C», y los efectos de «B»), y donde precisamente «B» ostenta pertenecer al pasado de «D». Recapitulando, es consideración de Popper, en cuanto a la presente problemática planteada, que a partir de un instante «A» para conocer todo el estado de cosas cuando alcanza el punto «B», el supuesto demonio laplaciano requiere de la existencia otro punto espacio-temporal «D», pues ese sería el único lugar donde aquel puede obtener información completa del estado de cosas del cual si posee pleno conocimiento y, que como sabemos, se refiere al segmento «C»; pero una vez el demonio laplaciano calcula desde «D» el estado de cosas de «B», lo que realmente efectúa es una retrodicción. Por ello Popper aseveró: “[...] si tratamos de introducir al demonio laplaciano en la relatividad especial, encontramos que podemos calcular, a partir de la región de información del demonio, un límite inferior para la posición espacio-temporal «D» del demonio; y además encontramos que el demonio sólo calculó un suceso que estaba dentro de su propio pasado”³⁰⁴. Ahora

³⁰³ *Ibíd.*, p. 84.

³⁰⁴ *Ibíd.*, p. 84.

bien, siendo el caso de que el segmento «C» se extienda ilimitadamente, según Popper, aquel demonio laplaciano podría calcular cualquier evento, pero ello solamente indicaría, que el demonio laplaciano se encuentra en un futuro infinito, por lo que dicho demonio laplaciano, no sería realmente un demonio laplaciano, pues en vez de predecir (cosa que haría el verdadero demonio laplaciano) lo que realmente haría es calcular sucesos de su pasado. Por lo tanto Popper concluyó que: “[...] de acuerdo con la relatividad especial, el pasado es aquella región que puede, en principio, ser conocida; y que el futuro es aquella región que, aunque influida por el presente, está siempre «abierta»: no sólo es desconocida, sino que además, en principio, no es plenamente cognoscible, ya que el hacerse conocida por completo, incluso para un demonio, se convertiría en parte del pasado del demonio”³⁰⁵.

A partir de los anteriores argumentos descritos en este apartado, Popper³⁰⁶ elaboró dos tesis sobre el porqué la teoría de la relatividad especial de Einstein no puede emplearse a favor del determinismo laplaciano: (1) en primer lugar, el determinismo laplaciano visto a partir de la teoría de la relatividad especial no ofrecería realmente predicciones sino retrodicciones, y (2) en segundo lugar, no habría predictibilidad desde dentro, como lo exige el determinismo laplaciano. Por lo tanto, la teoría de la relatividad especial (la cual Popper considera que es una teoría *prima facie*), no estaría de ninguna manera respaldando al determinismo laplaciano, sino que antes bien, lo refutaría.

Es de recordar que en este apartado solamente se hace referencia a la predictibilidad completa de un sistema (desde dentro) del que solo se conocen aproximativamente sus condiciones iniciales; por lo cual, no se niega o rechaza, el carácter predictivo o *prima facie* de las teorías, sino que solo se hace hincapié en la circunstancia, según la cual, no es posible, conforme señala la interpretación popperiana de la teoría especial de la relatividad de Einstein, una predicción absoluta (determinismo laplaciano) que se efectuó al interior del mismo sistema a evaluar.

Por otro lado, Popper³⁰⁷ señaló ser consciente de que puede surgir la inquietud, del por qué el propio Einstein, pese a ser quien forjó la teoría de la relatividad especial, fue asimismo un declarado determinista. Al respecto, Popper afirmó que en los primeros años de formación, Einstein habría sido un firme defensor del determinismo laplaciano, pero años más tarde —según nos dice el autor austriaco³⁰⁸— el propio Einstein habría defendido un determinismo de carácter

³⁰⁵ *Ibíd.*, p. 84.

³⁰⁶ *Ibíd.*, p. 84.

³⁰⁷ *Ibíd.*, p. 111.

³⁰⁸ Según describe Popper, poco antes de fallecer Einstein, aquel habría abandonado completamente la idea de un determinismo en la naturaleza física. Véase: POPPER, Karl. *El universo abierto: un argumento a favor del indeterminismo*. Post Scriptum a la lógica de la investigación científica. Vol II. Madrid: Editorial Tecnos, 1994, p. 111 y notas.

religioso y metafísico. Debido a que este último asunto posee cierta relación con el presente debate en torno al tiempo, veamos brevemente, algunas consideraciones.

En primer lugar, dicha postura atribuida a Einstein mereció que Popper le llamase en sus conversaciones privadas, con el seudónimo de Parménides, pues como afirmó Popper al respecto: “la cosmología determinista de Einstein es la de un universo parmenídeo en un bloque de cuatro dimensiones”³⁰⁹, ya que “[...] él creía en un universo cerrado de cuatro dimensiones, inmutable, como el universo cerrado de tres dimensiones de Parménides (la cuarta dimensión era el tiempo, naturalmente).”³¹⁰ Además, según Popper, Einstein consideró que ante los ojos de Dios, cualquier cambio realmente conformaría ser parte de lo mismo, es decir, para el gran físico “[...] el cambio era una ilusión humana, al igual que la diferencia entre el pasado y el futuro”³¹¹.

Ciertamente, también existen otras constancias que evidencian la postura de Einstein al respecto. Por ejemplo, en el ensayo de Daniel A. Morales, que titula: “Determinismo, indeterminismo y la flecha del tiempo en la ciencia contemporánea”, se indica la existencia de otros documentos que mostrarían las ideas filosóficas de Einstein sobre el tiempo y la irreversibilidad: unas cartas que intercambiaba Einstein con su amigo Michele Besso, donde el gran físico le decía a su amigo palabras similares a lo siguiente: “[...] la irreversibilidad era una ilusión, una impresión suscitada por unas condiciones iniciales improbables. No hay irreversibilidad en las leyes fundamentales de la física. Debes aceptar la idea de que el tiempo es subjetivo, con su insistencia sobre el 'ahora' no debe tener ninguna significación objetiva”³¹². De hecho, Einstein en su libro *Mi visión del mundo* realizó la siguiente afirmación: “el futuro no es ni menos importante ni está menos determinado que el pasado”³¹³.

Dicha perspectiva, que involucra reflexiones en torno al cambio del tiempo, Popper³¹⁴ la discutió personalmente con Einstein-Parménides empleando dos simples argumentos: (1) no existen motivos empíricos en el mundo que validen aquella visión metafísica parmenídea, pues la experiencia indica que existe realmente el cambio (2) en lo que se refiere a la predictibilidad absoluta (o determinista laplaciana) existen por lo menos tres consecuencias difíciles de aceptar: (2.1) si el futuro está completamente sujeto causalmente por el pasado,

³⁰⁹ PETERSEN, Arne; MEJER, Jorgen. Comps. El mundo de Parménides. Barcelona: Paidós, 1999, p. 219.

³¹⁰ POPPER, Karl. El universo abierto: un argumento a favor del indeterminismo. Post Scriptum a la lógica de la investigación científica. Vol II. Madrid: Editorial Tecnos, 1994, p. 112.

³¹¹ *Ibíd.*, p. 112.

³¹² MORALES, Daniel. Determinismo, indeterminismo y la flecha del tiempo en la ciencia contemporánea. En: Revista Boletín de la Asociación Matemática Venezolana, Vol. XI, No. 2, 2004, p. 217.

³¹³ EINSTEIN, Albert. Mi visión del mundo. Editor digital: Titivillus. 1980, p. 20.

³¹⁴ POPPER, Karl. El universo abierto: un argumento a favor del indeterminismo. Post Scriptum a la lógica de la investigación científica. Vol II. Madrid: Editorial Tecnos, 1994, p. 112.

entonces el pasado contendría el futuro; (2.2) habría que considerar —pese al realismo de Einstein— que nuestra forma humana de experimentar el cambio y el flujo del tiempo obedecen a una concepción subjetiva e idealista, y donde el tiempo tan solo sería una ilusión humana; y (2.3) si el tiempo y el cambio son ilusiones humanas, entonces por lo menos una cosa cambia: ‘nuestra experiencia consciente’, es decir que habría por lo menos un cambio en nosotros que produce la ilusión de cambio temporal, pero como nosotros hacemos parte del mundo, entonces también habría un cambio en el mundo, circunstancia que contradice la misma idea de Parménides. Aquellos argumentos descritos, y los cuales comenta el mismo Popper discutió con Einstein, aseguró que fueron escuchados con interés por el físico.

Estos últimos argumentos de Popper, junto con los otros expresados a lo largo de los apartados que abordan las cuestiones sobre el determinismo, pretenden refutar al determinismo laplaciano y desvirtuar a la vez los argumentos a favor del determinismo metafísico, el cual, como se dijo anteriormente, es irrefutable; no obstante, las ideas principales del determinismo metafísico han sido previamente minadas indirectamente con los argumentos expuestos en contra del determinismo laplaciano. De esta manera Popper³¹⁵ dictaminó que, el camino más sencillo es rechazar cualquier concepción metafísica que no consienta la asimetría entre pasado y futuro, y admitir que el futuro no se encuentra fijado o contenido por el pasado, lo cual finalmente equivale a reconocer una concepción indeterminista de la naturaleza física, es decir, un universo abierto.

2.3. EL INDETERMINISMO Y LAS PROPENSIONES

Popper³¹⁶ consideró que el respaldo al determinismo conlleva inevitablemente el dictamen, según el cual, no existe una probabilidad objetiva; pues a partir de la visión determinista cualquier empleo de la teoría de la probabilidad derivaría fundamentalmente de nuestra falta de conocimiento de las condiciones iniciales, lo cual propiciaría una interpretación subjetiva de la probabilidad.

Si bien la mayoría de físicos durante los orígenes de la mecánica cuántica, empezaron a rechazar el *determinismo «científico»* de Laplace, según Popper todavía se adherían al denominado *determinismo metafísico*, el cual supondría que el pasado influye de forma *determinante* en el futuro (pese a que no logremos ver por completo cómo sucede aquel mecanismo). Por consiguiente, ésta clase de determinismo resulta incompatible con una probabilidad objetiva, pues como explicó el filósofo de la ciencia William Bartley III:

³¹⁵ *Ibíd.*, p. 114.

³¹⁶ POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, Vol.III: Teoría cuántica y el cisma en la física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 125.

Tal determinismo metafísico es simplemente incompatible con la probabilidad física objetiva. Para el determinista metafísico no existe tal cosa. En su opinión, nada es realmente, objetivamente, solo probable: todo está fijo, exactamente. En relación con un conocimiento completo de todas las leyes de la naturaleza y todas las condiciones iniciales, la probabilidad de cualquier posible evento será uno o cero. Por lo tanto, la probabilidad con valores intermedios —donde tenemos que usarla, como en la mecánica cuántica— puede referirse únicamente al estado de nuestra información³¹⁷.

De modo que, el malentendido que sugiere que la probabilidad es fruto de la nesciencia encuentra una fuente principal en el *determinismo metafísico*, pues a partir de dicha postura, se piensa que de conocerse las leyes físicas, y todas las condiciones iniciales de un suceso, se sabría a ciencia cierta (o determinante) los resultados que arrojaría cierto proceso; pero como no existe tal conocimiento perfecto de las condiciones iniciales, entonces —consideran los deterministas metafísicos— habríamos de conformarnos con resultados aproximados, y valores intermedios, los cuales, presumen, se deberían a nuestra nesciencia.

La creencia en el determinismo promueve en la ciencia física una interpretación subjetiva de la probabilidad. Por tal motivo Popper insistió en repetidas ocasiones en sacar a la luz la relación entre el determinismo y la probabilidad subjetiva, por ello efectuó afirmaciones como la siguiente:

La interpretación subjetivista de la probabilidad, que hace que la aplicabilidad de la probabilidad sea una consecuencia de nuestra ignorancia, es una de las apologías parmenídeas más importantes de nuestro tiempo. Se origina en el determinismo de Parménides. El determinista difícilmente puede explicar el azar de otro modo que no sea subjetivista, esto es, como una ilusión debida a nuestra ignorancia³¹⁸.

Ahora bien, según Popper, cuando se rechaza el determinismo, surgen varias implicaciones que resultan positivas y beneficiosas para la investigación. Al respecto Popper afirmó:

[...] un beneficio —y quizá uno de la mayor importancia— para la propia ciencia lo proporciona quizá el argumento positivo de mayor fuerza en favor del indeterminismo: al rechazar el determinismo abrimos camino a un enfoque que podría ser de auténtica significación para la ciencia. Estoy pensando en una interpretación física de la teoría de las probabilidades bajo la forma de

³¹⁷ BARTLEY III, William en: *The Philosophy of Karl Popper*, edited by Paul Arthur Schilpp, Two Volumes, La Salle: Open Court, Library of Living Philosophers, 1974, p. 687. La cita ha sido traducida por el autor de la presente monografía.

³¹⁸ PETERSEN, Arne; MEJER, Jorgen. Comps. *Algunas consideraciones críticas sobre la interpretación subjetivista de la teoría de la información. El mundo de Parménides*. Barcelona: Paidós, 1999, p. 255.

una teoría física de las propensiones. [...] después de descartar el determinismo ganamos la libertad necesaria para una consideración seria de la interpretación propensivista como teoría física³¹⁹.

Para Popper, la crítica al determinismo es lo que prepara el terreno en el que puede brotar una adecuada teoría de las propensiones, que como se puede de momento intuir, requiere de un necesario respaldo a la indeterminación de la naturaleza física, pues el futuro no estaría enteramente determinado por el pasado, lo cual indica que, para la cosmología propensivista, pueden emerger nuevos sucesos según la relación con el entorno; su acaecimiento escaparía a las simples consideraciones deterministas. Como explicó Popper en su tercer volumen del *Post scriptum*, las propensiones entrarían a considerar otras propiedades que son relacionales, y dependientes de toda la situación objetiva, las cuales se manifestarían continuamente en la naturaleza física y experimentable. Por consiguiente, para Popper³²⁰ el indeterminismo garantizaría la ocurrencia o evolución de nuevos sucesos, lo cual señalaría el carácter emergente del universo, o lo que es igual, indicaría que el universo es abierto. Como veremos más adelante, para Popper el indeterminismo en la ciencia no conduce de ninguna manera al subjetivismo ni a la errónea interpretación de que la probabilidad en el estudio de los objetos microfísicos surge de una presunta indeterminación a causa de la nesciencia del científico sobre la naturaleza del mundo cuántico; pues según Popper³²¹ los enunciados de probabilidades (o propensiones) se refieren a tendencias físicas ocultas tras las frecuencias relativas en la naturaleza (no serían observables directamente), y aquellas no podrían ser —en ningún momento— fruto de la nesciencia.

2.4. OBJETIVISMO, REALISMO E INDETERMINACIÓN

Como sabemos, la teoría metafísica de la propensión de Karl Popper, procede de su programa metafísico de investigación, el cual se edifica a partir de la necesidad de solventar algunos problemas (ontológicos y epistemológicos) identificados en la teoría científica, particularmente, en la teoría cuántica. Para Popper, la teoría cuántica, vista a partir de la interpretación de Copenhague, ha generado en el ámbito de la ciencia física varios cambios conceptuales, cuyas implicaciones adquieren notorios alcances epistemológicos y ontológicos, que han ocasionado un cisma en la física, una crisis general en la comprensión adecuada de los fenómenos subatómicos.

³¹⁹ POPPER, Karl. Cuestiones metafísicas. El universo abierto: un argumento a favor del indeterminismo. *Post Scriptum a la lógica de la investigación científica*. Vol II. Madrid: Editorial Tecnos, 1994, p. 114-115.

³²⁰ *Ibid.*, p. 146

³²¹ POPPER, Karl. *Realismo y el objetivo de la ciencia*. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 326.

Según Popper, a causa de la interpretación de Copenhague: “la realidad objetiva se ha esfumado’ y [...] la mecánica cuántica no presenta partículas, sino más bien nuestro conocimiento, nuestra observación, nuestra conciencia de las partículas”³²². Una circunstancia que ocasiona tanto serias dudas sobre la realidad de un mundo que existe independientemente de nuestra conciencia, como también problematiza la objetividad de la teoría cuántica. Aquella crisis de comprensión se habría nutrido, principalmente, de ciertas confusiones en torno al realismo, el indeterminismo, y el objetivismo; nociones que la interpretación de Copenhague habría tergiversado y, que claramente, poseen un evidente origen en la discusión filosófica y metafísica. Al respecto, vale la pena traer a colación la siguiente aseveración del filósofo de la ciencia Evandro Agazzi:

“Cuando se discute de cuantos, se plantean a la vez dos puntos metafísicos interconectados: el realismo y el determinismo. Einstein aprobó ambos; Bohr rechazó a ambos. Tiene poco sentido respaldar el determinismo y rechazar el realismo, pero al revés es posible y propuesto por Karl Popper, Alfred Landé, Mario Bunge y muchos otros”³²³.

En lo que compete a Popper, el autor pretende, a partir de su programa metafísico de investigación, ofrecer inicialmente criterios racionales sobre aquellos puntos o nociones metafísicas que influyen en la interpretación de la teoría cuántica. Es así como el autor defiende, primeramente, la objetividad y el objetivismo; en palabras de Popper:

La objetividad no es el resultado de la observación desinteresada y sin prejuicios. La objetividad, y también la observación imparcial, son el resultado de la crítica, incluida la crítica de las descripciones de observaciones. Porque no podemos evitar ni suprimir nuestras teorías, ni impedir que influyeran en nuestras observaciones; pero podemos intentar reconocerlas como hipótesis y formularlas explícitamente, de modo que puedan ser criticadas³²⁴.

La objetividad de Popper no pretende ofrecer razones positivas, es decir, razones para justificar la validez o certeza de nuestras teorías y observaciones. La objetividad refiere a la constante crítica racional que debe efectuarse tanto a las teorías e hipótesis de la ciencia, como a las presuntas observaciones que muchos suponen “puras”, “desnudas”, desinteresadas y sin prejuicios. Si bien nunca sería posible alcanzar una teoría a la que podamos válidamente considerar indudablemente definitiva, ni observaciones que supongamos sin ningún tipo de lente, filtro, interés o prejuicios originarios por alguna expectación o teoría, es

³²² POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 57.

³²³ AGAZZI, Evandro. Quanta in context. Einstein Symposium. Lecture Notes in Physics, Berlin: Springer, Vol. 100, 1979, p. 180-203.

³²⁴ POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 88. Se han eliminado los paréntesis que contienen la cita en su texto original.

posible que gracias a la constante crítica racional podamos obtener una mayor verosimilitud sobre nuestras teorías y observaciones.

Popper también defiende el realismo, es decir, la posición de que existe un mundo independiente de nuestras *creencias*, el cual, sólo lograríamos conocer parcialmente a través de arriesgadas conjeturas que nos revelan parte de aquella realidad (que por cierto podemos seguir discutiendo y depurando críticamente).

Luego el autor reconoce el indeterminismo, pero no un indeterminismo como el promulgado por la escuela de Copenhague, pues ese —según Popper³²⁵— derivaría principalmente de la consideración errónea de que el principio de indeterminación de Heisenberg supone que la ‘indeterminación’ es fruto de una limitación al conocimiento o en otras palabras que es debido a “la interferencia del proceso de medición con los objetos medidos”³²⁶. En consecuencia, la ‘indeterminación’ para Heisenberg procedería de la nesciencia del sujeto; aquellos no verían, adecuadamente, que la indeterminación es una circunstancia cosmológica que garantiza el universo abierto y emergente, y según la cual pueden generarse nuevos sucesos antes no acaecidos.

De esta manera, el indeterminismo aparece en la cosmología propensivista como el generador que posibilita el surgimiento de nuevas posibilidades o propensiones físicas en el universo. Puesto que el indeterminismo de Popper no se encuentra sujeto a la interpretación subjetiva de la probabilidad, es posible concebir un indeterminismo realmente objetivo, ello gracias a la propuesta propensivista de la probabilidad. Popper procuró con su programa metafísico de investigación afianzar un racionalismo crítico que promoviese el realismo y el indeterminismo, y, por ende, la objetividad del mundo físico, aspectos que, según el autor, se requieren para una concepción adecuada de las teorías científicas. Por consiguiente, el autor austriaco consideró que —pese a lo que podría considerar un convencido determinista— el indeterminismo es enteramente compatible con el realismo. Así lo afirmó:

“Mi propia perspectiva es que el indeterminismo es compatible con el realismo y que la percepción de este hecho hace posible adoptar consistentemente una epistemología objetivista, una interpretación objetivista de toda la teoría cuántica y una interpretación objetivista de la probabilidad”³²⁷.

³²⁵ PETERSEN, Arne; MEJER, Jorgen. Comps. El mundo de Parménides. Barcelona: Paidós, 1999, p. 258, y POPPER, Karl. El universo abierto: un argumento a favor del indeterminismo. Post Scriptum a la lógica de la investigación científica. Vol II. Madrid: Editorial Tecnos, 1994, p. 58.

³²⁶ *Ibid.*, p. 58. Nota 5 de aquella obra.

³²⁷ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 190.

PARTE II: PROBABILIDAD Y MECÁNICA CUÁNTICA

CAPÍTULO 3: PROBABILIDAD

3.1. USOS O SENTIDOS DE LA PALABRA 'PROBABILIDAD'

Popper³²⁸ no se encontró en completo desacuerdo con el empleo corriente de expresiones como: “aquella es una suposición probable” o “una conjetura improbable” o “una hipótesis improbable”, aquellas serían para el autor expresiones legítimas, aunque señaló que podrían ocasionar cierta confusión. Por consiguiente, frases como: “debe usted tratar de pensar en una hipótesis más probable” o “de las diferentes hipótesis que se han presentado hasta el momento, la suya me parece, a la luz de las contrastaciones, la más probable” las encontró completamente entendibles, en tanto aquellas expresiones referirían a lo que él mismo denominó *grado de corroboración*, y que bien podría sugerir —a partir de la perspectiva de Popper— emplear expresiones más artificiales como: “de las diversas hipótesis presentadas hasta el momento, la suya me parece ser la que, a la luz de las contrastaciones, tiene el más alto grado de corroboración”. En todos aquellos casos, dichas expresiones pretenden aludir a los motivos que nos sugieren que una hipótesis es preferible a otras. Como se indicó previamente en las secciones 1.3.1.2 y 1.5. de la presente monografía, Popper³²⁹ prefiere denominar a dicho uso corriente de la palabra 'probabilidad' respecto a la preferencia de una hipótesis, como *grado de corroboración* más que su probabilidad (en el sentido del cálculo de probabilidades). No obstante, la palabra 'probabilidad' también poseería otros usos diferentes que aquella que corresponde a la «*probabilidad*» de una hipótesis. Pero antes de adentrarnos en la distinción que realizó Popper, primero veamos la distinción que efectuó Carnap.

3.1.1. Los tipos de 'probabilidad' según Carnap

Carnap³³⁰ diferenció entre *probabilidad*₁ o grado de confirmación (lógica) y *probabilidad*₂ o frecuencia (estadística). La *probabilidad*₁ de Carnap, es la probabilidad lógica, la cual corresponde a las relaciones lógicas entre los elementos

³²⁸ Las frases entrecomilladas que aparecen en el presente párrafo se encuentran en: POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 263.

³²⁹ Popper afirmó: “mi sentir es que conviene más reservar el término 'probabilidad' para lo que pueda satisfacer las bien conocidas reglas de este cálculo (que han formulado Laplace, Keynes, Jeffreys y otros muchos, y para el cual he dado varios sistemas formales de axiomas)”. En: MILLER, David, comp. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 192.

³³⁰ CARNAP, Rudolf. Fundamentación lógica de la física. Buenos Aires: Editorial Sudamericana, 1969, p. 39. Véase, además: POPPER, Karl. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 364-365.

de juicio y a sus atribuciones teóricas o conjeturables en torno a la estimación de un valor de probabilidad. A partir de la concepción de Carnap, presente en su obra *Fundamentación de la lógica de la física*, la probabilidad lógica también sería una probabilidad inductiva, porque según dice “este es el tipo de probabilidad que se alude cuando hacemos una inferencia inductiva”³³¹. Por consiguiente, para Carnap³³² la probabilidad lógica, también podría designarse con el uso la expresión 'probabilidad inductiva'. Además, Carnap³³³ también señaló que la probabilidad lógica sería analítica y, por ende, también podría considerarse *a priori*; esto lo explicó Carnap a partir de la siguiente afirmación de probabilidad lógica que podría efectuar un científico:

'Esta hipótesis se halla confirmada en el grado 0,8, sobre la base de los elementos de juicio disponibles' [y si además a la anterior afirmación el científico agrega: 'con respecto a tales y cuáles elementos de juicio', aquel enunciado] [...] es analítico porque no requiere ninguna investigación empírica. Expresa una relación lógica entre una oración que enuncia los elementos de juicio y una oración que enuncia la hipótesis³³⁴.

Carnap advirtió que al construir un enunciado de probabilidad analítico (como el expresado en el ejemplo anterior) siempre resulta necesario mostrar explícitamente los elementos de juicio, ya que, si el científico no agrega esto, su enunciado podría ser confundido por un enunciado de probabilidad estadística. Carnap³³⁵ también afirmó que pese a que los autores clásicos de la teoría de la probabilidad como Jacobo Bernoulli, Thomas Bayes, Fierre Simón de Laplace, etc., no distinguieron los diferentes usos de la palabra 'probabilidad', cuando se referían al grado de certeza o al nivel de confianza que podían poseer nuestras creencias sobre ciertos sucesos futuros, en aquellos casos estarían considerando la probabilidad lógica (o *probabilidad*₁), y no precisamente la probabilidad en el sentido estadístico (o *probabilidad*₂).

La *probabilidad*₂ de Carnap, es la probabilidad de frecuencia o probabilidad estadística, y evidentemente se relaciona con los resultados estadísticos de un proceso empírico, por lo cual, el valor de probabilidad no haría referencia a enunciados precisamente lógicos sino a enunciados fácticos. En palabras de Carnap:

³³¹ Además, Carnap aclaró que: “por ‘inferencia inductiva’ entiendo, no sólo la inferencia de hechos a leyes, sino también toda inferencia que sea ‘no demostrativa’, esto es, una inferencia tal que la conclusión no se desprende con necesidad lógica cuando se admite la verdad de las premisas. Tales inferencias deben ser expresadas en grados de lo que yo llamo ‘probabilidad lógica’ o ‘probabilidad inductiva’. En: CARNAP, Rudolf. *Fundamentación lógica de la física*. Buenos Aires: Editorial Sudamericana, 1969, p. 39.

³³² *Ibíd.*, p. 54.

³³³ *Ibíd.*, p. 58.

³³⁴ *Ibíd.*, p. 56. Entre corchetes oración aclaratoria.

³³⁵ *Ibíd.*, p. 58.

La probabilidad estadística es un concepto científico, empírico. Los enunciados acerca de probabilidades estadísticas son enunciados 'sintéticos', enunciados que no pueden ser demostrados mediante la lógica, sino que se basan en investigaciones empíricas. [...] Cuando decimos, 'con este dado particular, la probabilidad estadística de sacar un as es de 0,157', estamos enunciando una hipótesis científica que sólo puede ser sometida a prueba por una serie de observaciones. Es un enunciado empírico porque sólo una investigación empírica puede confirmarlo³³⁶.

Por consiguiente, la probabilidad lógica (*o probabilidad₁*) de Carnap correspondería —según su concepción— a las estimaciones de grado de confirmación de una hipótesis (más específicamente al *grado de confirmación* de la hipótesis *h* sobre la base de la evidencia *e*) que para él resulta ser igual a la 'probabilidad inductiva'; en cambio, la probabilidad estadística (*o probabilidad₂*) concerniría fundamentalmente a los valores de probabilidad obtenidos experimentalmente o a los valores que sólo pueden ser confirmados por una contrastación empírica. Según Carnap:

«Ambos tipos de probabilidad —la estadística y la lógica— pueden aparecer en la misma cadena de razonamientos». La probabilidad estadística forma parte del lenguaje objeto de la ciencia. A los enunciados acerca de la probabilidad estadística les podemos aplicar la probabilidad lógica, que forma parte del metalenguaje de la ciencia. Es mi convicción la de que este punto de vista brinda un cuadro mucho más claro de la inferencia estadística que el que se encuentra comúnmente en los libros sobre estadística, y que ofrece un cimiento esencial para la construcción de una adecuada lógica inductiva de la ciencia³³⁷.

Popper controvierte la anterior distinción de Carnap en torno a los sentidos de la palabra 'probabilidad', pues además de considerar que contiene elementos de juicio errados como el *prejuicio inductivo*, aquella distinción resultaría insuficiente. Popper consideró por su parte, que existen por los menos tres sentidos en los que usualmente se emplea el mismo rotulo de la palabra 'probabilidad' para nombrar cosas muy diferentes, y que —antes de él— en la historia de la filosofía y de la ciencia, no se había explicitado adecuadamente su distinción: (1) la *probabilidad de una hipótesis*, que Popper prefiere denominar *grado de corroboración*, y el cual —contrario a lo que supuso Carnap— no obedece el cálculo de probabilidades, (2) la *probabilidad de un evento* (o una hipótesis), en relación con sus oportunidades para ocurrir, el cual sí obedece el cálculo de probabilidades, y (3) la *probabilidad*

³³⁶ *Ibíd.*, p. 55-56.

³³⁷ *Ibíd.*, p. 62. Por otro lado, resulta pertinente la siguiente afirmación de Carnap, en la que además de suponer que ambos tipos de probabilidad obedecen el cálculo de probabilidades, exhorta a los físicos, dice: "en la teoría cuántica, por ejemplo, a menudo es difícil saber si un físico quiere expresar una probabilidad estadística o una probabilidad lógica. Los físicos habitualmente no establecen esta distinción. Hablan como si sólo trabajaran con un único concepto de probabilidad. 'Nos referimos a ese tipo de probabilidad que satisface a los axiomas corrientes de la teoría de la probabilidad', quizás digan. Pero ambos conceptos satisfacen a los axiomas corrientes de la teoría de la probabilidad, de modo que esta observación no aclara cuál es exactamente el tipo de probabilidad al que se refieren". En: *Ibíd.*, p. 57.

inferencial, el cual puede ser admitido en el cálculo de probabilidades. Veamos a continuación cada una de ellas.

3.1.2. La «probabilidad» de una hipótesis

Según Popper, algunos positivistas lógicos como Reinchenbac se preguntaron que, si las teorías de la ciencia no pueden ser verificables completamente, pudiesen ser quizá probables. Este planteamiento sería posteriormente retomado y desarrollado por Carnap quien acabó considerando que la probabilidad es ampliativa, es decir, que mientras aumentase el número de ejemplos, evidencias o casos en los cuales las consecuencias de una hipótesis son observadas en el procedimiento experimental, entonces aquella hipótesis obtendría cierta probabilidad de ser verdadera; en palabras de Popper “la idea es que la evidencia hace al menos un poco más probables cosas que están más allá de lo que realmente afirma”³³⁸. En aquella medida, los empiristas lógicos consideraron que, si bien la inducción no podría probar definitivamente una hipótesis de la ciencia, sí podría concederle grados de confirmación o probabilidad de ser cierta. A este planteamiento Popper³³⁹ lo designó *el prejuicio inductivo*.

Popper³⁴⁰ rechazó la postura de Carnap donde *grado de confirmación* o la «probabilidad» de una hipótesis es interpretado como si fuese semejante a la *probabilidad de eventos* el cual si obedece el cálculo de probabilidades. Según el autor austriaco³⁴¹, los inductivistas creyeron que sería posible establecer la «probabilidad» de una hipótesis, y que aquella sería similar a la *probabilidad de eventos*; esto por ejemplo se muestra en la circunstancia de que Carnap supuso—sin mayor discusión— en su libro *Logical Foundations and Meaning*, que la «probabilidad» de una hipótesis—que en su concepción corresponde al *grado de confirmación*—satisface las reglas del cálculo de probabilidades. No obstante, el autor austriaco advirtió que la «probabilidad» de una hipótesis no podría asemejarse adecuadamente a la *probabilidad de eventos*, ya que este último tipo de probabilidad se caracterizaría por la circunstancia de que al aumentar su contenido informativo disminuiría su valor de probabilidad (y viceversa). Veamos el siguiente cuadro explicativo³⁴²:

³³⁸ POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 327-328.

³³⁸ *Ibid.*, p. 41.

³³⁹ *Ibid.*, p. 257.

³⁴⁰ Véase: POPPER, Karl. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 237-238.

³⁴¹ POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 268.

³⁴² El esquema ha sido elaborado por el autor de la presente monografía, con base en las afirmaciones de Popper en: *ibid.*, p. 264-268.

Esquema 3: Probabilidad de eventos.

- **Ejemplo 1:**
Sea 'a' el enunciado 'el viernes lloverá'.
Sea 'b' el enunciado 'el sábado hará buen tiempo'.
Y sea 'ab' el enunciado 'el viernes lloverá y el sábado hará buen tiempo'.

De lo anterior Popper³⁴³ afirmó que: el contenido informativo de la conjunción 'ab', será mayor que el de su componente 'a' y que el de su componente 'b'. También es evidente que la probabilidad de 'ab' será menor que la de cualquiera de sus componentes ('a' o 'b').
- **Ejemplo 2:**
Consideremos la siguiente circunstancia factual³⁴⁴: 'es más probable una tirada de 6 con un dado, que una tirada de 12 con dos dados'.

(Debido a que aumenta el contenido empírico, entonces la segunda tirada señalada se torna menos probable (o improbable) en el sentido del cálculo de probabilidades).

Según Popper, los anteriores ejemplos mostrarían que, en la probabilidad de un suceso o evento, se cumpliría las siguientes relaciones:

(+)	contenido informativo ³⁴⁵ ,	entonces	(-)	probabilidad lógica ³⁴⁶ (absoluta)
(-)	contenido informativo,	entonces	(+)	probabilidad lógica (absoluta)

Todo lo anterior implica dos leyes que cumple la *probabilidad de eventos*:
I. $Ct(a.b) \geq Ct(a)$ y $Ct(a.b) \geq Ct(b)$ esta es la norma de contenido, donde $Ct(a)$ representa "el contenido de la afirmación 'a'", y $Ct(a.b)$ representa "el contenido de la conjunción 'a' y 'b'"; esta norma se corresponde con
II. $P(a.b) \leq P(a)$ y $P(a.b) \leq P(b)$ este es el axioma de monotonía del cálculo de probabilidades, que indica que la probabilidad de la conjunción de dos enunciados 'ab', es menor o igual a la probabilidad de cada uno de los enunciados singulares por separado ('a' o 'b').

Según Popper, las dos mencionadas leyes juntas: "aseveran que, con el incremento del contenido, la probabilidad disminuye, y viceversa; o, en otras palabras, que el contenido se incrementa al aumentar la improbabilidad"³⁴⁷.

³⁴³ MILLER, David, comp. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 190.

³⁴⁴ POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 264.

³⁴⁵ Vale la pena traer a colación la siguiente afirmación del profesor Jorge Antonio Mejía Escobar, quien, en su libro *Lógica, evolución y ontología*, dice: "toda teoría tiene dos contenidos diversos: uno es el contenido lógico, la clase de todas las consecuencias que puede deducirse de la teoría y otro el contenido empírico. Y dada esta duplicidad, podrían elaborarse dos tipos diversos de verosimilitud que, si bien podrían tender a ser casi iguales, no lo son de hecho. Para salvar esta dificultad, [Popper] propone considerar solamente los aspectos empíricos de las teorías: así los dos contenidos coincidirán, pues con esta restricción $C(l)t \rightarrow C(e)t$; el contenido lógico de t, tenderá a ser igual al contenido empírico de t". Entre corchetes se ha añadido una palabra aclaratoria. En: MEJÍA, Jorge. *Lógica, evolución y ontología*. Bogotá: Editorial San Pablo, 2009, p. 84.

³⁴⁶ Según Popper: "la probabilidad lógica (no analizamos aquí la probabilidad física) representa la idea de acercamiento a la certeza lógica o verdad tautológica, a través de una disminución gradual del contenido informativo". En: POPPER, Karl. *Conjeturas y refutaciones*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 290.

³⁴⁷ MILLER, David, comp. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 191.

La «*probabilidad*» de una hipótesis (primer sentido de la palabra probabilidad) no puede asemejarse a la *probabilidad de eventos* (segundo sentido de la palabra probabilidad), porque este último sentido poseería un rasgo característico: la probabilidad de cada uno de los sucesos no puede exceder la probabilidad del menos probable de los dos sucesos; este rasgo característico corresponde a lo que se denomina ley de monotonía del cálculo de probabilidades o el axioma de multiplicación de las probabilidades. Ahora bien, considerando que en la ciencia pretendemos obtener hipótesis y teorías cada vez más poderosas y explicativas, es decir con alto contenido informativo, el primer sentido de la palabra 'probabilidad' que es la «*probabilidad*» de una hipótesis, no puede satisfacer el axioma antes mencionado. Veamos esto más detenidamente.

Admitamos que el aumento de contenido informativo es inversamente proporcional a una alta probabilidad en el sentido del cálculo de probabilidades. Luego, si pensamos en las teorías e hipótesis de la ciencia, tenemos que considerar que estos deben poseer un alto contenido informativo (especialmente debido a que contienen leyes universales, además, debido a la especificación de ciertas condiciones, presupuestos, hipótesis auxiliares, etcétera). De modo que, en lo que respecta a la «*probabilidad*» de una hipótesis, aparece una situación que según reconoce el mismo Popper, muchos considerarían algo "paradójica", ya que las teorías más poderosas y explicativas de la ciencia serían de hecho más improbables en el sentido del cálculo de probabilidades. Al respecto Popper afirmó:

Lo anterior puede sonar paradójico a algunas personas. Pero si la elevada probabilidad fuera un objetivo de la ciencia, los científicos deberían decir lo menos posible, y con preferencia, exclamar solamente tautologías. Pero su objetivo es hacer "avanzar" la ciencia, esto es, aumentar su contenido informativo. Pero esto significa disminuir su probabilidad. Y dado el rico contenido de las leyes universales, no cabe sorprenderse de hallar que su probabilidad sea cero, ni que los filósofos para quienes la ciencia debe buscar elevadas probabilidades no pueden hacer justicia a hechos como los siguientes: que la mayoría de los científicos considere su objetivo más importante la formulación (y la testación) de leyes universales o que la testabilidad intersubjetiva de la ciencia dependa de esas leyes³⁴⁸.

Lo anterior implica que la «*probabilidad*» de una hipótesis no puede identificarse con el *grado de confirmación* de Carnap, pues las hipótesis de la ciencia sencillamente son más improbables en el sentido del cálculo de probabilidades, y por ende es mejor hablar, en cuanto se refiere a la asignación de una "nota" sobre la preferencia de una hipótesis entre varias competidoras, de *grado de corroboración* en vez de su probabilidad.

³⁴⁸ POPPER, Karl. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 347.

Desde la perspectiva de Popper, y considerando el desarrollo de la ciencia, estamos interesados en teorías o hipótesis con alto *grado de corroboración* y no precisamente en teorías altamente probables (es de recordar que en la terminología de Carnap decir 'teoría altamente probable' sería igual a decir 'teoría con alto *grado de confirmación*'); esto porque la «*probabilidad*» de una hipótesis no puede satisfacer la ley de monotonía o el principio general de multiplicación de las probabilidades, y porque el poder explicativo de las teorías de la ciencia es equivalente a su improbabilidad lógica en el sentido del cálculo de probabilidades. Por consiguiente, el *grado de confirmación* de Carnap no puede identificarse adecuadamente con la probabilidad lógica. Según Popper:

[...] si el desarrollo del conocimiento significa que operamos con teorías de contenido cada vez mayor, también debe significar que operamos con teorías de decreciente probabilidad (en el sentido del cálculo de probabilidades). Así, si nuestro objetivo es el avance o desarrollo del conocimiento, entonces un alto grado de probabilidad (en el mismo sentido del cálculo de probabilidades) no puede ser al mismo tiempo nuestro objetivo: ambos objetivos son incompatibles³⁴⁹.

Para los inductivistas, el objetivo de la ciencia es alcanzar hipótesis confirmables, o lo que es igual para ellos, con probabilidades altas. Pero según Popper³⁵⁰, el objetivo de la ciencia no puede consistir en ello, porque de ser así la evidencia e tendría que ir lo más lejos posible, y en un universo infinito $P(h, e) = 0$. En otras palabras, la probabilidad lógica (absoluta) de una ley universal h , es decir $p(h)$, en un universo infinito será igual a cero, o casi igual a cero, porque las leyes universales hacen afirmaciones conjeturales sobre un número infinito de posibles situaciones observacionales, pero los enunciados observacionales o evidenciales extraídos de la experiencia son siempre finitos; y tenemos que, observaciones finitas de la experiencia dividido por un número infinito de posibles situaciones observacionales en el universo —y aunque aumente el número de observaciones finitas que se ubican en el numerador—, siempre nos arrojaría un valor cercano a cero. Es por ello que Popper afirmó lo siguiente: “las leyes universales no son [...] altamente confirmables, sino que su confirmabilidad será cero, debido a su alto contenido informativo”³⁵¹.

Lo anterior implicaría que la «*probabilidad*» de una hipótesis no puede ser ampliativa como supone el *prejuicio inductivo*, además, que la apelación a la probabilidad (en el sentido del cálculo de probabilidades) no respaldaría a la inducción. De hecho, Popper³⁵² señaló que no existen lazos lógicos que conecten la inducción con la

³⁴⁹ MILLER, David, comp. Propensiones, probabilidad y la teoría cuántica. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 191.

³⁵⁰ POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 262 y 386.

³⁵¹ POPPER, Karl. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 348-349.

³⁵² POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 257.

teoría de la probabilidad; y que aquel malentendido es ocasionado por el *prejuicio inductivo*, y por una solución errónea al problema de la inducción. Por su parte, el *grado de corroboración* de Popper implica que lo que se denomina comúnmente la «*probabilidad*» de una hipótesis debe considerar lo siguiente: una hipótesis con mayor contenido empírico implicaría que ésta posee más posibilidades de ser refutada puesto que tendría mayor riesgo de contener elementos errados (en otras palabras, a mayor contenido empírico, mayor grado de testabilidad); y, por otro lado, un menor contenido empírico disminuiría la posibilidad de que la hipótesis pueda ser falsada. De esta manera, Popper³⁵³ identificó el contenido informativo con el grado de testabilidad, y muestra que el riesgo del contenido informativo de ser refutado o la falta de validez de contenido, destruye la identificación del *grado de confirmación* con la probabilidad lógica (absoluta) del cálculo de probabilidades.

En lo que respecta a la «*probabilidad*» de una hipótesis, si la probabilidad lógica es igual a 1, entonces la hipótesis no es falsable, y si posee alto contenido empírico entonces la probabilidad lógica es baja.

Ahora recordemos, como vimos en la sección 1.5. de la presente monografía, que el *grado de corroboración de una hipótesis* (y no el *grado de confirmación* de una hipótesis en el sentido de Carnap), recurre a la noción de *verosimilitud* (es decir, el acercamiento a la verdad junto con la idea de contenido empírico), y que esta noción difiere considerablemente de la noción de 'probabilidad' en el sentido del cálculo de probabilidades, y, por ende, que también difiere de la noción de *grado de confirmación* de Carnap.

A través de la noción de *verosimilitud* de Popper, no se pretende que las hipótesis adquieran mayor probabilidad, ya que esto lo prohíbe el axioma de monotonía del cálculo de probabilidades, sino que se pretende que las hipótesis adquieran, en primer lugar, mayor riqueza, mayor poder explicativo, mayor riesgo de ser contrastadas, o lo que es igual, mayor contenido informativo; y en segundo lugar, se pretende que las hipótesis también adquieran un mayor acercamiento a la verdad, por medio de la discusión crítica, de la superación de severos test y de constantes contrastaciones empíricas. Por lo tanto, el objetivo de la ciencia, según Popper, no consiste en buscar hipótesis con alto grado de probabilidad (o en los términos de Carnap, con alto *grado de confirmación*), sino que su objetivo sería realmente buscar hipótesis con alto *grado de corroboración*.

Como vemos, Popper³⁵⁴ no se opone a clasificar las teorías de la ciencia según el grado en que resistan las contrastaciones. La «*probabilidad*» de una hipótesis o su *grado de corroboración*, correspondería una suerte de “nota” provisional sobre el desempeño que ha tenido una hipótesis, en relación con otras hipótesis, y que sólo resulta válido hasta el momento en el que se han efectuado las últimas

³⁵³ *Ibíd.*, p. 339. Véase la nota 63 de aquella obra.

³⁵⁴ POPPER, Karl. *Realismo y el objetivo de la ciencia*. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 260.

contrastaciones comparativas. No obstante, es de advertir que el mismo Popper pone en duda la presunta importancia de asignarle al *grado de corroboración* un valor que sea íntegramente numérico y, por ende, que quizá pueda considerarse perfectamente preciso en aquella tarea asignada.

Resumiendo, si la ciencia busca el aumento de contenido empírico, tenemos que sus afirmaciones se tornan más improbables en el sentido del cálculo de probabilidades; en otras palabras, la capacidad explicativa de una hipótesis, es equivalente a su improbabilidad lógica (absoluta).

Por consiguiente, teorías más complejas como la teoría de la luz y del electromagnetismo de Maxwell, contrario a la supone la generalidad de físicos, sería realmente más improbable en el sentido del cálculo de probabilidades; pero una vez consideramos que teorías como ésta han sido más contrastadas, incluso en otros campos donde una teoría rival no puede ser contrastada, puede mostrarse que adquiriría un mayor *grado de corroboración*.

Al respecto, puede verse el siguiente cuadro esquemático³⁵⁵.

³⁵⁵ Cuadro esquemático realizado por el autor de la presente monografía, y que se basa en las afirmaciones de Popper en: *Ibíd.*, p. 264-265.

Esquema 4: Perspectivas sobre la «probabilidad» de una hipótesis.

<p>Φ Perspectiva de la mayoría de físicos: la teoría de Maxwell es más probable que la teoría de Fresnel.</p>	
<p>Teoría de Maxwell</p>	<p>Teoría de Fresnel</p>
<p>Posee más evidencia o casos favorables ($e_1, e_2 \dots e_n$).</p> <p>Se considera que el apoyo de la evidencia es ampliativo; formalmente esto corresponde a $p(h, eb) > p(h, b)$, es decir, “la evidencia favorable e hace h más probable, aunque h dice más que e. Y esto es válido para cada nueva $e_1, e_2 \dots$ que satisfagan las mismas condiciones”³⁵⁶.</p> <p>∴ la teoría de Maxwell es más probable que la de Fresnel.</p>	<p>Posee menos evidencia o casos favorables ($e_1, e_2 \dots e_m$).</p> <p>Se considera que el apoyo de la evidencia es ampliativo.</p> <p>∴ la teoría de Fresnel es más improbable que la teoría de Maxwell.</p>
<p>Φ Perspectiva de Popper: la teoría de Maxwell posee mayor <i>grado de corroboración</i> que la teoría de Fresnel.</p>	
<p>Teoría de Maxwell</p>	<p>Teoría de Fresnel</p>
<p>Posee mayor contenido informativo que la teoría de Fresnel, ya que la teoría de Maxwell es una teoría ondulatoria de la luz y una teoría del electromagnetismo (es decir, se cumple la norma de contenido).</p> <p>Además, la teoría de Maxwell ha sido múltiples veces contrastado rigurosamente, e incluso en campos en los que no puede contrastarse la teoría de Fresnel (es decir, posee mayor acercamiento a la verdad, y esto junto con la norma de contenido, quiere decir que posee mayor grado de verosimilitud).</p> <p>∴ la teoría de Maxwell posee mayor <i>grado de corroboración</i> que la teoría de Fresnel. Asimismo, debido a la norma de contenido, es más improbable en el sentido del cálculo de probabilidades.</p>	<p>Posee menos contenido informativo que la teoría de Maxwell ya que la teoría de Fresnel sólo es una teoría ondulatoria de la luz.</p> <p>Además, la teoría de Fresnel ha sido menos contrastado rigurosamente, y no puede ser contrastado en otros campos en los que otra teoría si puede ser evaluado empíricamente.</p> <p>∴ la teoría de Fresnel posee menor <i>grado de corroboración</i> que la teoría de Maxwell. Asimismo, debido a la norma de contenido, es más probable en el sentido del cálculo de probabilidades.</p>

La distinción de la «probabilidad» de una hipótesis resulta necesaria por las siguientes razones: a) es común confundir la probabilidad de hipótesis con la probabilidad de eventos, (b) resulta imprescindible para la comprensión de la epistemología popperiana distinguir la diferencia entre ‘probabilidad’ y ‘verosimilitud’, pues debe entenderse que la teoría de la mecánica cuántica, según Popper busca una mayor verosimilitud y no precisamente una mayor probabilidad (en el sentido del cálculo de probabilidades); esto resulta importante para el objetivismo ya que implica que la teoría propensivista de Popper no se desliga del problema de la verdad como sí lo haría una postura instrumentalista, y (b) contribuye para percatarnos de que la probabilidad no es —según Popper— ampliativa, y por

³⁵⁶ *Ibíd.*, p. 41. Popper además indicó que la idea de que la probabilidad es ampliativa es una ilusión, y expone varios argumentos lógicos y matemáticos que se hallan a lo largo del primer volumen del *Post Scriptum*, incluido el lugar donde se recoge la presente cita.

ende que los casos que sean favorables (o ejemplos) acordes con la interpretación de Copenhague, en ningún momento hacen que dicha interpretación sea cada vez más verdadera e incuestionable en el tiempo.

3.1.3. Probabilidad de un evento (o una hipótesis) en relación con sus oportunidades para ocurrir

En la sección anterior vimos que, la *probabilidad de un evento* tiene un rasgo característico: la probabilidad de cada uno de los sucesos no puede exceder la probabilidad del menos probable de los dos sucesos (ley de monotonía). Por lo cual, según indicó Popper, la *probabilidad de un evento* satisface las reglas del cálculo de probabilidades.

En la presente monografía no entraremos a desarrollar enteramente el formalismo del cálculo de probabilidades, en vez de ello, nos ocuparemos en la discusión de sus interpretaciones. Además, cabe precisar que, según Popper³⁵⁷, existen sólo dos fórmulas a las que hay que referirse en una discusión del cálculo de probabilidades, ellas son:

- 1) $p(a, b) = r$: probabilidad relativa, o también llamado probabilidad condicional, donde r es una fracción entre 0 y 1, y, por otro lado,
- 2) $p(a) = r$: probabilidad absoluta, o también llamado la probabilidad previa, inicial o *a priori* de a . (La segunda fórmula, puede interpretarse a partir de la interpretación lógica de la probabilidad, como la probabilidad lógica (absoluta) —es decir $p(a)$ — según el cual el valor de r será mayor en cuanto menos información diga el enunciado a ; en otras palabras “cuanto mayor sea el contenido de a , menor será el valor de su probabilidad lógica absoluta”³⁵⁸).

Las interpretaciones del cálculo de probabilidades que atañen a la *probabilidad de sucesos o eventos* son las interpretaciones: clásica, frecuencial, subjetiva y propensivista.

Es de aclarar que la interpretación lógica de la probabilidad no entra directamente en la anterior lista, porque —según Popper³⁵⁹— ésta interpretación considera que, los enunciados de probabilidad son enunciados analíticos o tautológicos, por lo que sus estimaciones no podrían contrastarse empíricamente; pero la interpretación lógica de la probabilidad entraría indirectamente —en la anterior lista— por medio de la interpretación subjetiva del cálculo de probabilidades. (La interpretación lógica

³⁵⁷ POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 327-328.

³⁵⁷ *Ibíd.*, p. 323-324.

³⁵⁸ *Ibíd.* 324.

³⁵⁹ *Ibíd.*, p. 334.

de la probabilidad la veremos en la siguiente sección, ya que de ésta se deriva el tercer y último uso de la palabra 'probabilidad', y que se refiere a la probabilidad inferencial).

A partir de la concepción de Popper, la *probabilidad de un evento* se explicaría adecuadamente con la idea de propensión física; en aquella medida, la *probabilidad de los eventos* correspondería a tendencias o disposiciones o propensiones físicas, inherentes a toda la situación objetiva. (Esto lo veremos con mayor detalle en la sección 3.6. de la presente monografía, en la que se describe la interpretación propensivista del cálculo de probabilidades).

3.1.4. Probabilidad inferencial

Según Popper, este uso de la palabra 'probabilidad', suele confundirse mucho con el primer tipo de probabilidad que es la «*probabilidad*» de una hipótesis.

La probabilidad inferencial deriva de la interpretación lógica del cálculo de probabilidades. Según ésta interpretación, la fórmula $p(a, b) = r$ se interpreta como una aserción o enunciado sobre los objetos *a* y *b* (donde '*a* y *b*' son los nombres de los objetos que estamos hablando). Los objetos pueden ser: (a) sucesos o clases de sucesos o, por otro lado, (b) enunciados o conjunto de enunciados (o quizá conjunto de enunciados tales como las teorías deductivas). En el último caso señalado, nos estaríamos aproximando a lo que se refiere la probabilidad inferencial, ya que éste tipo de probabilidad considera que los argumentos "*a, b, c...*" son nombres de enunciados que describen sucesos. Pero antes de proseguir con la descripción de los rasgos de la probabilidad inferencial, veamos cómo se puede generar la transición de (a) un suceso o clase de sucesos a (b) un enunciado o clase de enunciados.

En consideración de Popper, existiría una transición directa entre: (a) los sucesos o clases de sucesos y (b) los enunciados o conjunto de enunciados; simplemente habría que considerar que los enunciados '*a*' y '*b*' describen sucesos. Véase el siguiente cuadro:

Esquema 5: enunciados.

'a' y 'b' enunciados	
Tipo de enunciado	Carácter de la estimación
Enunciado factual	Estimación de probabilidad hipotética
Enunciado lógico	Estimación de probabilidad lógica o tautológica

El autor austriaco indicó que, podríamos considerar fácilmente a los sucesos o clases de sucesos como si fuesen enunciados factuales, y luego, por ejemplo,

cambiar de la interpretación (que es factual) a la otra interpretación (que es lógica), conservando —después de su reinterpretación— el carácter hipotético (y no tautológico) del primero. Por lo tanto, —según Popper³⁶⁰— de esa manera no se afectaría lo que en realidad queremos afirmar cuando afirmamos: $p(a, b) = r$; simplemente se habría cambiado nuestro método de expresión.

No obstante, la interpretación lógica de la probabilidad también puede interpretarse de otra forma diferente, en lo que antes hemos señalado, se refiere a la probabilidad inferencial; esta probabilidad inferencial además de considerar 'a' y 'b' como enunciados, también establece un *grado de proximidad lógica*. A continuación, resumimos los rasgos distintivos de la probabilidad inferencial, a través del siguiente esquema³⁶¹ en el que indicamos tanto la fórmula probabilística junto con la expresión lingüística sobre su interpretación lógica o inferencial.

Esquema 6: Probabilidad inferencial o interpretación lógica de la probabilidad

Sean 'a' y 'b' nombres de enunciados, y además consideremos que existe un grado de proximidad lógica que los relaciona, entonces tenemos que las fórmulas probabilísticas indicarían lo siguiente:

$p(a, b) = r$: afirmación o enunciado sobre el contenido de a y b , y su grado de proximidad lógica (o grado en el que el enunciado a contiene información que está contenida en b).

$p(a, b) = 1$: si b dice todo lo que dice a , entonces a se sigue de b .

$p(a, ab) = 1$: dado lo anterior, ésta sería una circunstancia natural.

$p(a, b) = 0$: si b es coherente y contradicho por a .

$0 \leq p(a, b) \leq 1$: si a no se sigue de b , ni contradice a b . El valor de $p(a, b)$ será próximo a 0, si a dice cosas muy diferentes de las que dice b . El valor de $p(a, b)$ será próximo a 1, si a dice un poco más de lo que dice b .

Según Popper, ésta interpretación lógica de la probabilidad “considera el cálculo de probabilidades como una generalización de la ‘lógica ordinaria’”³⁶².

Ahora bien, según indicó Popper, la interpretación lógica o inferencial puede justificarse con argumentos intuitivos, además, con argumentos formales. Aquí no

³⁶⁰ *Ibíd.*, p. 332.

³⁶¹ Esquema realizado por el autor de la presente monografía, con base a las afirmaciones de Popper en: *Ibíd.*, p. 332.

³⁶² *Ibíd.*, p. 332.

entraremos a explorar la justificación formal; en cuanto a la justificación intuitiva procedería de la siguiente manera³⁶³:

Esquema 7: argumento intuitivo que justifica la probabilidad inferencial.

Partimos de considerar un ejemplo similar al siguiente:

Enunciado *a*: Sócrates es mortal.

Enunciado *b*: todos los hombres (o el 100% de los hombres) son mortales y Sócrates es un hombre.

$\therefore p(a, b) = 1$ porque *a* se sigue de *b*, y dado *b* podemos considerar que *a* es cierto.

Ahora consideremos lo siguiente:

Enunciado *a*: Sócrates es mortal.

Enunciado *b*: el 92% de los hombres son mortales y Sócrates es un hombre.

$\therefore p(a, b) = 0,92$ porque *a* no será cierto dado *b*, pero será sumamente probable, y la probabilidad que se le atribuye a *a* no distará mucho de 0,92 (su grado de proximidad lógica).

Por consiguiente, a partir de la probabilidad inferencial, el enunciado *b* puede hacer más probable otro enunciado (*a* esto se le denomina la *regla simple de la inducción*).

Según Popper, el anterior argumento intuitivo sería convincente pero no justificaría la afirmación de que el cálculo de probabilidades pueda considerarse adecuadamente como una generalización de la lógica proposicional (o lógica deductiva), porque según afirmó: “nuestro argumento intuitivo no asegura que no vaya haber en algún punto un choque entre las leyes del cálculo de probabilidades y esas ideas intuitivas”³⁶⁴. No obstante, la interpretación lógica o la probabilidad inferencial sería admisible en el cálculo de probabilidades, y sus teoremas obtendrían un estatus similar al de teoremas del cálculo de proposiciones (eso sí, no habría que olvidar que sus estimaciones —o ideas intuitivas— de probabilidad son analíticos o tautológicos). Asimismo, aunque muchas veces no podamos saber si las formulas probabilísticas (inferenciales) son verdaderas o falsas, la respuesta que nos ofrecería siempre será de hecho analítica o tautológica, o de otro modo la respuesta sería contradictoria, veamos: en el ejemplo anterior, se asume que la respuesta a la probabilidad de que *a* sea cierta, es decir de que Sócrates sea efectivamente un hombre mortal, es del 92%, porque de otra forma la respuesta a la que llegaríamos sería incompatible con la estimación lógica o analítica; aquello quiere decir que todos los ejemplos acordes con la información que ofrece *b*, se

³⁶³ Esquema realizado por el autor de la presente monografía, con base a las afirmaciones de Popper en: *Ibíd.*, p. 332-333.

³⁶⁴ *Ibíd.*, p. 333.

convierten en ejemplos evidenciales a favor de la estimación hipotética (analítica) que se hace sobre a , porque en caso contrario simplemente se llegaría a una respuesta contradictoria. En consideración de Popper, lo anterior implicaría que el valor de $p(a, b)$ es una hipótesis que ofrece información de a pero que no se puede contrastar empíricamente. Además, el autor consideró que somos libres de conjeturar una estimación como por ejemplo $p(a, b) = 0,92$, pero aun así, no existirían razones para considerar que aquella estimación inferencial de r , sea efectivamente una buena estimación desde el punto de vista frecuencial o propensivista (estas interpretaciones del cálculo de probabilidades las veremos respectivamente en las secciones 3.4. y 3.6. de la presente monografía). Por otro lado, es de considerar que el valor de la estimación hipotética de la probabilidad inferencial, puede diferir ampliamente del valor de la correspondiente probabilidad lógica (absoluta). Según Popper la probabilidad de una hipótesis universal o $p(h)$ siempre será cero, o muy cercano a cero, ya que una hipótesis universal siempre se refiere a un número infinito de posibles casos, pero los casos observados sólo pueden ser finitos.

3.2. ASPECTOS GENERALES SOBRE LA PROBABILIDAD

No es un secreto que Popper tuvo cierta animadversión a ofrecer definiciones en sus obras filosóficas, lo que no debe confundirse con un presunto desconocimiento de los campos de la probabilidad y la estadística. Él poseía amplios conocimientos tanto de la teoría de la probabilidad como de la teoría estadística. Karl Raimund Popper no solo fue un respetable y admirado profesor de filosofía de la ciencia, también poseía la facultad de impartir conocimientos —incluso a nivel universitario— en áreas como la estadística, las matemáticas, y —en cierta medida— en la física. Otros filósofos de la ciencia que le conocieron personalmente como David Miller, Imre Lakatos y Mario Bunge, destacaron el amplio conocimiento de Popper en el campo de la estadística y la probabilidad. En su extensa bibliografía podemos descubrir fehacientemente que Popper dedicó muchos años de su vida a reflexionar sobre aspectos concernientes a la interpretación del cálculo de probabilidades, y ello resulta más que evidente, incluso escrudiñando su primera gran obra filosófica *La lógica de la investigación científica*.

Los planteamientos científicos de Popper han sido algunas veces incomprendidos o ignorados, no tanto por la relativa —o a veces profunda— dificultad de sus afirmaciones, sino más bien, debido a que su singular postura contrasta radicalmente con otras interpretaciones hegemónicas de la probabilidad. Ha sido frecuente que muchos, en un desprevenido acercamiento a su propuesta, no alcancen a percibir con *profundidad* lo que verdaderamente pretendía decir el autor, y de aquel modo terminan asumiendo una versión completamente distorsionada de sus planteamientos.

Por otro lado, los planteamientos científicos de Popper también pueden ser incomprendidos por circunstancias como las siguientes: a) el autor generalmente es reacio a ofrecer definiciones, por lo cual una adecuada lectura de su propuesta propensivista de la probabilidad exige conocer todo el contexto bibliográfico o —por lo menos— una comprensión global de su epistemología. b) En la extensa bibliografía el autor muestra algunos cuantos cambios (en todo caso menores) de su postura probabilista, primordialmente referente a su posición acerca de la teoría de la probabilidad frecuencial; una temática que fue abordada en *La lógica de la investigación científica*, pero que, en lo que se ha denominado sus escritos tardíos, adquiere nuevas connotaciones debido al desarrollo de su propuesta propensional de la mecánica cuántica, la cual tan sólo terminaría siendo publicada —íntegramente— en los tres tomos del *Post scriptum*, especialmente en *Teoría cuántica y cisma en la física* (1982). c) El propio autor consideró que sus afirmaciones simplemente eran a veces inadvertidas o ignoradas por los físicos y estudiosos de la ciencia formal, debido principalmente a su condición de filósofo, pues a pesar de ser aquella una profesión respetable y enriquecedora para el conocimiento, a veces sufriría el desprecio de otras disciplinas del saber.

Otro aspecto que resulta importante considerar, es el hecho de que Popper diferenció —por lo menos— tres tipos de probabilidad: (1) *la probabilidad de una hipótesis* o su grado de corroboración, (2) *la probabilidad de un evento* que es utilizada en las conjeturas estadísticas de la ciencia y las cuales obedecen el cálculo de probabilidades, y (3) la probabilidad inferencial. Al respecto, se aclara que, en lo que sigue de esta segunda parte de la monografía, solamente se hará referencia al segundo tipo de probabilidad.

Por lo cual, antes de adentrarnos en algunas generalidades sobre la teoría de la probabilidad, resulta pertinente señalar la siguiente afirmación de Popper en torno a dicha noción:

“Nada más lejos de mi intención que tratar de resolver el pseudoproblema de dar una definición del significado de la probabilidad. Es obvio que la palabra ‘probabilidad’ puede usarse con perfecta propiedad y legitimidad en docenas de sentidos, la mayoría de los cuales, por cierto, se desvían de los sentidos que se atienen a las normas del cálculo formal de probabilidades”³⁶⁵.

Se enfatiza que en lo que refiere a la noción de 'probabilidad', en ésta segunda parte de la monografía nos interesamos particularmente por aquellos sentidos o interpretaciones, que solamente hacen parte del cálculo de probabilidades.

Finalmente, es de considerar que Popper reconoce que existen varios conceptos con los cuales es posible reflexionar la interpretación del cálculo de probabilidades,

³⁶⁵ POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: *Teoría cuántica y el cisma en física*. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 88.

sin embargo, él se inclina por el concepto de *frecuencia relativa*. Así lo pronunció el propio autor:

[...] las frecuencias relativas satisfacen tautológicamente todas las leyes del cálculo de probabilidades. Pero la frecuencia relativa no es, en modo alguno, la única interpretación que satisface este cálculo. De ellas, Las siguientes tienen la mayor importancia: la interpretación según la teoría de conjuntos; la interpretación de la probabilidad como medida (ponderada) de las posibilidades y, más especialmente, la interpretación propensivista que considera que esas posibilidades son propensiones físicas (que pueden considerarse tan reales como las fuerzas físicas); y la interpretación lógica³⁶⁶.

El concepto de *frecuencia relativa* surge de la interpretación frecuentista de la probabilidad, pero Popper lo incorpora en su reinterpretación propensivista del cálculo de probabilidades. Esto lo veremos poco a poco, conforme avancemos en el presente capítulo.

3.2.1. Breves preliminares sobre la probabilidad objetiva según Karl Popper

Antes de adentrarnos en la reflexión sobre la teoría de la probabilidad, resulta adecuado realizar una pequeña anticipación sobre algunas importantes consideraciones de la teoría propensivista del cálculo de probabilidades, las cuales solamente alcanzan a ser debidamente desarrolladas en los planteamientos del *Post scriptum* sobre la teoría de la probabilidad en la mecánica cuántica. Esto se hace pertinente dado que suceden algunos malentendidos a la hora de reflexionar —de forma cotidiana e incluso académica— sobre lo que sería realmente la probabilidad; y esto supondría un gran obstáculo para comprender (en los argumentos posteriores) el tipo de problemas que trata de resolver la teoría de la probabilidad según el *racionalismo crítico* de Popper. A pesar de que es factible no comprender la totalidad de las afirmaciones de la mencionada anticipación (pues aún hace falta el desarrollo de ciertos conceptos necesarios), con esta sección se procura evitar inicialmente ciertas confusiones y malos entendidos sobre lo que es la probabilidad para la teoría de las propensiones o, en otras palabras, se espera obtener una mirada menos sesgada o distorsionada de lo que implica dicho término. En las secciones posteriores se irán aclarando poco a poco cada una de las afirmaciones anticipadas. Asimismo, con la mencionada anticipación, el lector podrá identificar ciertos términos claves, en los cuales podrá fijar una adecuada atención durante el desarrollo de la problemática. Una vez dicho todo lo anterior, veamos a continuación de que se trata aquella pequeña anticipación, que, sin mayores preámbulos, comenzaría por expresar, en pocas palabras, lo que sería la probabilidad desde la interpretación propensivista de Karl Popper.

³⁶⁶ POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 323.

3.2.2. La probabilidad objetiva en la propuesta propensivista del cálculo de probabilidades

Pese a que la palabra probabilidad es definida de muchísimas formas, es importante identificar que en Popper lo probable no atiende de ninguna manera a consideraciones subjetivistas que apelan al conocimiento o *nesciencia* del sujeto, es decir, lo probable no tiene absolutamente nada que ver con los *artículos de creencia*, o con los enunciados de “incertidumbre” —como diría la interpretación de Copenhague—. La probabilidad, o, mejor dicho, la verdadera probabilidad, según Popper, sería aquella teoría probabilística (conjeturable), que obviamente poseería ciertas leyes formales, y cuyas frecuencias virtuales³⁶⁷ corresponderían efectivamente con las *frecuencias relativas* que se encuentran presentes en la realidad experimental.

3.2.3. Acercamiento parcial a la probabilidad objetiva

Como se señaló antes, no se ha desarrollado todos los elementos necesarios para entender completamente lo anterior, pero de momento interesa solamente una reflexión alterna sobre lo que comúnmente se entiende por probabilidad, pues esta, contrariamente a lo que suele pensarse, no tiene relación alguna con una presumible falta de precisión a la hora de pretender conocer con exactitud las propiedades medibles de un *algo*. Según reflexiona Popper³⁶⁸, frecuentemente se tiende a pensar que, si pudiésemos conocer con plena exactitud no solo las leyes físicas, sino también todas condiciones iniciales que manifiesta un *algo* de la naturaleza física, entonces no habría ninguna razón por la cual emplear en la ciencia física nociones extraídas de la teoría de la probabilidad, pues en dicho caso se supone que tendríamos las herramientas para saberlo todo. La probabilidad en apariencia, tan solo sería un asunto que versa y se aplica en aquello que no logramos conocer con plena exactitud; o una herramienta que únicamente empleamos cuando se posee un conocimiento parcial de las condiciones iniciales. De esta manera, la probabilidad termina siendo una cuestión que remite a lo que

³⁶⁷ Las frecuencias virtuales son frecuencias relativas (hipotéticas), es decir, son resultados matemáticos de una teoría probabilística objetiva que señalarían mediciones conjeturadas sobre las frecuencias relativas (hipotéticas o virtuales) ocultas tras la naturaleza; puesto que la probabilidad desde la perspectiva propensivista del cálculo de probabilidades depende de las condiciones generadoras, se considera que los resultados probabilísticos (conjeturados) sobre frecuencias deben finalmente corresponder con los resultados estadísticos de las mediciones efectuadas en la experiencia física, es decir, las frecuencias relativas (conjeturadas matemáticamente y por ende virtuales) deben corresponder con las frecuencias relativas (efectivas en la práctica estadística y por ende empíricas). Véase: POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 396 y 398.

³⁶⁸ *Ibid.*, p. 335.

logramos parcialmente conocer, o, mejor dicho, a lo que desconocemos, es decir, un asunto en el cual finalmente recae la ignorancia que tenemos sobre las propiedades medibles de un *algo* que pertenece a la realidad experimentable. Dicho planteamiento, partiría de un gran error —según la postura realista y objetiva de Popper—, que revelaría que aquel que así lo considera, estaría asumiendo —consciente o inconscientemente— una *interpretación subjetiva de la probabilidad*. Como veremos más adelante en las discusiones en torno a la interpretación de la mecánica cuántica, según Popper la teoría de la probabilidad nada tiene que ver con aserciones de *creencia* acerca de lo que creemos conocer o ignoramos, sino que son medidas que tratan de revelar —por medio de alguna axiomatización matemática— ciertos aspectos *reales* del mundo físico; es decir, la probabilidad en últimas se refiere a conjeturas sobre ciertas propiedades reales (aunque abstractas) y que pueden ser contrastables en la realidad; además, los enunciados de probabilidad serían completamente independientes de nuestra forma de conocerlos, ya que se refieren a hechos objetivos que son tendencias o propensiones físicas ocultas tras frecuencias relativas de la naturaleza; algo que, como veremos más adelante, es muy diferente a que ésta sea entendida como una simple medida sobre las *creencias* de lo que estimamos conocer o no.

3.2.4. Las interpretaciones del cálculo de probabilidad

Lo primero que debemos preguntarnos es: ¿qué entiende Popper por cálculo de probabilidades? La respuesta sencilla es que para el autor austriaco el *cálculo de probabilidades* corresponde necesariamente a un reducido conjunto *reglas axiomáticas* que expresan leyes formales como:

$$0 \leq p(a, b) \leq 1$$

“(Donde $p(a, b)$ puede leerse como ‘la probabilidad de a dado b ’)”³⁶⁹

La anterior fórmula solo es una pequeña muestra entre los diferentes tipos de leyes formales que podría admitir el cálculo probabilístico. En esencia, lo que procura señalar Popper, es que dicho cálculo de probabilidades debe constar de un pequeño conjunto de reglas formales de las que, a su vez, se puedan derivar otras nuevas reglas. Por ello él considera como tarea importante de quien estudia el cálculo probabilístico, el hallar formas de *axiomatización* matemática más apropiadas para la teoría de la probabilidad que satisfagan aquel requerimiento.

³⁶⁹ *Ibíd.*, p. 84.

Actualmente la cuestión axiomática del cálculo de probabilidades parece completamente zanjada, pues como señaló el filósofo de la ciencia Donald Gillies³⁷⁰, gran parte del tratamiento del cálculo de probabilidades se basa en los axiomas establecidos por Andréi Kolmogorov en su obra *Foundations of the Theory Probability* de 1933. Estos axiomas son completamente independientes de cualquier tipo de interpretación de la teoría del cálculo de probabilidad, por lo que incluso diferentes tipos de interpretación del cálculo de probabilidades pueden acudir a la propuesta de los axiomas Kolmogorov³⁷¹. Al respecto, resulta pertinente comprender, como señaló el profesor Germán Guerrero Pino, lo siguiente:

[...] Popper critica esta axiomatización [de Kolmogorov] en Apendix *IV de *The Logic of Scientific Discovery* y elabora su propia teoría formal de la probabilidad. La crítica que hace al sistema de Kolmogorov es que éste se construye a partir de una interpretación particular en la que los elementos básicos son conjuntos, excluyendo otras posibles interpretaciones, como, por ejemplo, que estos elementos representen oraciones (o proposiciones)³⁷².

Se aclara que no es intención de la presente monografía señalar los aspectos formales que distinguen los sistemas o fundamentos axiomáticos del cálculo de probabilidad propuestos por Kolmogorov y Popper, puesto que nuestro interés, más allá de los problemas que conciernen a la axiomatización, recae especialmente en la discusión acerca de las diferentes interpretaciones que puede adoptar el concepto de *probabilidad* dentro de la teoría del cálculo de probabilidades. Para desenredar este asunto, resulta esclarecedor algunas afirmaciones del matemático y filósofo de la ciencia Rolando Chauqui³⁷³, quien señaló que, en cuanto a los fundamentos de la teoría de la probabilidad hay dos cuestiones diferentes: (1) los fundamentos axiomáticos como el propuesto por Kolmogorov (el cual hace parte de una disciplina matemática), y (2) el estudio de las posibles interpretaciones de las aserciones probabilistas. A nosotros nos interesa especialmente reconocer las interpretaciones del cálculo probabilístico, pues a partir de aquellas interpretaciones se forja una concepción sobre la naturaleza de cada uno de los elementos que compone la teoría.

³⁷⁰ GILLIES, Donald. *The Subjective Theory. Philosophical Theories of Probability*. London: Routledge, 2006, p. 65.

³⁷¹ Según el filósofo de la ciencia Alan Hájek algunas de las principales interpretaciones de probabilidad no obedecen la totalidad de los axiomas de Kolmogorov, pero, aun así, aquellas no pierden su aprecio por eso. Véase: HÁJEK, Alan, "Interpretations of Probability", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2019 Edition), Edward N. Zalta (ed.), 2019. Disponible en Internet: <https://plato.stanford.edu/archives/fall2019/entries/probability-interpretar/>

³⁷² RIVADULLA, Andrés. *Comp. Hipótesis y verdad en ciencia: ensayos sobre la filosofía de Karl R. Popper*. Madrid: Editorial complutense S.A., 2004, p. 168.

³⁷³ CHUAQUI, Rolando. Escuelas de interpretación del concepto de probabilidad. *Revista Colombiana de Estadística*. Núm. 5, 1982.

Popper³⁷⁴ clasificó las principales interpretaciones del cálculo de probabilidades en dos grupos principales: las interpretaciones subjetivas (entre ellas la interpretación bayesiana y lógico-subjetiva) y las interpretaciones objetivas (las cuales son: la interpretación clásica, frecuencial y propensivista). Según Popper:

Las interpretaciones objetivas suponen que la probabilidad de que salga cara en una tirada depende solamente de las condiciones físicas u otras similares y *no* del estado de nuestro conocimiento. Y llamaré 'subjetivas' a aquellas interpretaciones que consideran que la probabilidad de que salga cara depende del estado de nuestro conocimiento (subjetivo) o quizá del estado de nuestras creencias³⁷⁵.

En pocas palabras, las interpretaciones subjetivas de la probabilidad suponen que la función de probabilidad $p(a,b)$ se obtiene de ciertos valores que el individuo atribuye a los eventos, por medio de una información que es dada, como también en recurso de su particular juicio y de su propia experiencia. De modo que, la función de probabilidad —según los subjetivistas— surgiría fundamentalmente a partir de las *creencias* de los individuos (es decir, de su conocimiento o nesciencia de las circunstancias), y porque además serían los individuos quienes asignan un valor presumible de probabilidad con base en la forma en que evalúan cierta información dada. Por lo cual la función de probabilidad mediría algo así como la *creencia* o el *conocimiento* que posee el individuo sobre el acaecimiento de un cierto suceso, según cierta información dada (o como especifica Popper “interpreta a b como la suma total de lo que ‘nosotros’ sabemos”³⁷⁶). Por su parte, las interpretaciones objetivas de la probabilidad, consideran que la función de probabilidad se obtiene a partir de las condiciones experimentales y objetivas³⁷⁷. En la aplicación de las interpretaciones objetivas se pregunta por la probabilidad de cierto suceso según determinadas condiciones, y en ese sentido b estaría abierta a la libre elección. Según Popper “las condiciones no están dadas nosotros las escogemos o seleccionamos o construimos cuando escogemos nuestro problema”³⁷⁸. De modo

³⁷⁴ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 85

³⁷⁵ POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 327-328.

³⁷⁶ *Ibid.*, p. 337.

³⁷⁷ Es importante saber que Popper también sugiere que el objetivista puede hacer recurso de su propia experiencia, pues a partir de su conocimiento puede elaborar *conjeturas* en torno a la medición de ciertas probabilidades, especialmente a la hora de seleccionar un tipo de *frecuencias*, entre varias que son posibles. Según Popper al momento de proponer una *hipótesis* sobre alguna medición probabilística “podemos hacer uso de toda clase de cosas; de la pasada experiencia o de la inspiración del momento: no importa cómo la obtengamos, lo único que importa es cómo la ponemos a prueba”. Al respecto, no hay que confundirse, pues lo anterior no implica —de ninguna manera— que la probabilidad para el objetivista, dependa de la nesciencia del sujeto como sucede en el caso de los subjetivistas; la probabilidad para el objetivista refiere a propiedades que son *reales*, y que manifiestan las *frecuencias estadísticas* que se desenvuelven en el mundo (no son meras *creencias*). La breve cita de Popper incluida en esta nota de referencia se encuentra en: MILLER, David, comp. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 217.

³⁷⁸ POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 337.

que los valores probabilísticos serían solamente dependientes de las condiciones que se han escogido o construido, e independientes del cambiante conocimiento del sujeto. Las versiones más modernas de la probabilidad objetiva no solo enfatizan el carácter empírico por el cual se obtiene información, sino que encuentran una relación muy estrecha entre las frecuencias relativas y la función de probabilidad, y puesto que aquellas frecuencias serían hechos objetivos del mundo que sirven para caracterizar la probabilidad, la función de probabilidad sería también enteramente objetiva.

3.3. LA DEFINICIÓN CLÁSICA DE LA PROBABILIDAD

La definición clásica de probabilidad encuentra sus primeros desarrollos con el matemático Blaise Pascal, quien reflexionó en torno a las posibilidades matemáticas que estarían presentes en cada una de las diversas situaciones posibles en los juegos de azar. No obstante, conviene aclarar que, el concepto de probabilidad, no se agota por completo en aquel único modelo situacional. Así lo expresa por ejemplo el reconocido filósofo e historiador de la ciencia Ian Hacking:

“A fin de poder representar la probabilidad epistémica en una escala numérica, la Lógica de Port Royal uso el juego como modelo. Podría ser tentador inferir que la probabilidad sólo puede medirse usando conceptos diseñados para los juegos de azar. Eso sería un error”³⁷⁹.

Como se afirmó antes, la definición clásica de la probabilidad encuentra sus primeras contribuciones gracias a las reflexiones de Blaise Pascal sobre los juegos de azar en el siglo XVII, pero ésta noción fue posteriormente desarrollada y formalizada por Pierre-Simon Laplace en 1812 en su obra *Théorie Analytique des Probabilités*, cuya idea fundamental hoy en día se expresa de la siguiente manera:

“La probabilidad de un evento es la relación entre el número de casos favorables al evento en cuestión y el número de casos posibles, donde los casos posibles ha de ser todos equiposibles”³⁸⁰.

Esta definición se fundamenta en el denominado *principio de indiferencia*, el cual establece que, ante una situación o proceso que desconocemos, en tanto que no existan motivos por los cuales sospechar que cierto suceso pueda acontecer con cierto favoritismo sobre otros, es posible considerar que los distintos sucesos son, entre sí, equiposibles o equiprobables; es decir, dicho principio considera que todos los posibles sucesos que puede arrojar un mismo procedimiento, son entre ellos

³⁷⁹ HACKING, Ian. El surgimiento de la probabilidad. Barcelona: Gedisa editorial, 1995, p. 109.

³⁸⁰ CHIARA, Dala y DI FRANCIA, G. Toraldo. Inducción y probabilidad. Confines: introducción a la filosofía de la ciencia. Barcelona: Editorial Crítica, 2001, p. 74.

igualmente viables, y por ende, ninguno de aquellos sucesos ocurre con mayor predisposición sobre los demás.

Para comprender la definición clásica, consideremos por ejemplo el caso de lanzar al aire un dado de seis caras y además supongamos que aquel dado es perfectamente simétrico y regular. Podríamos conjeturar que, al lanzar el dado, cada una de las seis caras podría poseer la misma posibilidad de salir resultante, ello es, cada una de las seis caras posee la misma *equiprobabilidad* (es decir, se aplica el principio de indiferencia). Luego empleando la definición clásica, sabremos fácilmente calcular aquella probabilidad y afirmar que, para el caso propuesto, aquella probabilidad equivale a un $1/6$, pues [1] es el caso favorable, y [1,2,3,4,5,6] son los casos posibles. Si por ejemplo ahora queremos evaluar la probabilidad de que aquel mismo dado caiga sobre un número par, entonces los casos favorables serían: [2,4,6], y los casos posibles corresponderían a la totalidad de las caras: [1,2,3,4,5,6], por lo cual aquella probabilidad sería de $3/6$, o lo que es lo mismo $1/2$; y por último, si por ejemplo queremos hallar la probabilidad de que el dado caiga sobre un número que sea impar o primo, tenemos como casos favorables: [1,2,3,5] y como sabemos que la probabilidad que deseamos obtener esta dada según la definición por el número de casos favorables que en éste caso es 4, dividido por el número de casos posibles que sigue siendo 6, entonces la probabilidad para este último caso sería de $4/6$, o lo que es lo mismo $2/3$. De modo que, en principio, resulta muy fácil calcular la probabilidad a partir de la definición clásica, pues simplemente hay que identificar (o presuponer) la condición necesaria de *equiprobabilidad*, y luego reconocer cuál es el valor numérico de los casos favorables, y de los casos posibles.

3.3.1. Los problemas de la probabilidad clásica

Según Popper, la interpretación clásica de la probabilidad es una teoría muy práctica para numerosos casos de la vida cotidiana en los que, de alguna manera, es posible presuponer o atribuir cierta equiprobabilidad a los sucesos o elementos involucrados. No obstante, Popper³⁸¹ identifica claramente que dicha interpretación ha sido criticada por numerosas razones, aunque solo señaló alguna de ellas:

- 1) **La definición clásica es circular:** representa una de las principales objeciones que se realiza contra la definición clásica de probabilidad, la cual afirma que aquella definición es meramente circular. La razón de dicha *circularidad*, radica en que la definición clásica presupone el concepto de *equiposibilidad* que no es más que otra forma de decir *equiprobabilidad*. Aunque lo anterior parece un simple juego de palabras, lo único que afirma esta objeción es que la definición de la probabilidad

³⁸¹ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 88.

clásica, apela a otra noción que es la “equiposibilidad” (casos igualmente posibles) y cuyo equivalente es la “equiprobabilidad”, y este último concepto, como se puede fácilmente notar, simplemente es otra forma de decir *probabilidad clásica*, de ahí la circularidad. Popper no efectuó un desarrollo de la presente crítica, no obstante, en la *Lógica de la investigación científica*, realizó una muy breve alusión a ésta, en donde señaló que es una reconocida objeción lógica frente a la definición clásica de la probabilidad pues “[...] ‘igualmente posibles’ es otra manera de expresar ‘igualmente probable’”³⁸².

Para entender profundamente la anterior crítica a la definición clásica, la epistemóloga y física teórica María Luisa Dalla Chiara, junto con el físico y filósofo italiano G. Toraldo di Francia, consideran que es necesario comprender qué tipo de condiciones hacen que un caso o situación sea *equiprobable*. Al respecto, los mencionados autores explican que hay dos formas para comprender qué tipo de condiciones hacen que un caso o situación sea *equiprobable*, y frente a ello se presentan dos posibles opciones: (i) uno abstracto y otro (ii) experimental. La primera opción, el abstracto, refiere a la aplicación de un famoso principio de la lógica introducido por Leibniz, y el cual conocemos como principio de *razón suficiente*. Este principio exige que todo suceso debe tener una razón suficiente que lo explique, y de no existir aquella razón suficiente, entonces el suceso sencillamente tampoco existe. De modo que, si tenemos por ejemplo un dado, y deseamos reflexionar acerca de si existe una razón suficiente que nos permita asegurar que su condición es *equiprobable*, primero podríamos cotejar si el dado está bien hecho y si posee forma regular. Luego, si obtenemos un visto favorable, podríamos vernos tentados a asegurar que el dado no tiene motivo alguno para caer con cierto favoritismo sobre uno de sus lados y, por lo tanto, podríamos considerar que ese dado se encuentra en condición *equiprobable* a *razón suficiente* de su forma regular y buen estado. Sin embargo, pese a la sensatez del razonamiento expuesto, los dos autores mencionados hacen un particular llamado a la desconfianza:

A nosotros nos parecería absurdo que un dado bien hecho prefiriese, digamos, el punto p al punto q . Pero ¿quiénes somos nosotros para “dictar leyes” a la naturaleza? Ésta no es sólo una expresión retórica de humildad. Ya la física de partículas –y la mecánica cuántica que las regula– nos ha enseñado sin sombra de duda que (al menos hasta la fecha) es perfectamente posible que un fenómeno se desarrolle de un modo antes que de otro, sin que veamos una razón suficiente para aquella elección³⁸³.

Ante lo extraño que puede resultar la naturaleza, especialmente en la teoría cuántica, se pone en tela de juicio la pertinencia de emplear el *principio de razón*

³⁸² POPPER, Karl. *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 138-139.

³⁸³ CHIARA, Dala y DI FRANCIA, G. Toraldo. *El concepto de probabilidad*. Confines: introducción a la filosofía de la ciencia. Barcelona: Editorial Crítica, 2001, p. 75.

suficiente en la ciencia experimental; pues existen ocasiones en que no podemos observar *razones suficientes* con las cuales podamos explicar ciertos comportamientos particulares. De modo que el *principio de razón suficiente* resulta inútil para darnos razones de *equiprobabilidad* en la física experimental, en especial en la mecánica cuántica. No obstante, es importante aclarar lo siguiente: desde la perspectiva del *racionalismo crítico* de Popper —que por cierto no desarrolló estos últimos y ulteriores planteamientos sobre la crítica de la circularidad—, quizá no resulta enteramente adecuado apelar a una supuesta incompreensión o extraña aleatoriedad de las circunstancias microfísicas. Sin embargo, en Popper también persiste una profunda y fuerte crítica al famoso *principio de razón suficiente*. Al respecto, es de notar que el rechazo de Popper al *principio de razón suficiente* puede ser correctamente rastreado desde sus primeras y reconocidas formulaciones en las cuales sentencia el carácter *hipotético* o *conjetural* de las teorías científicas, pues una vez se asume dicho carácter conjetural, no podría existir ningún sentido en el que sea posible hablar de una *razón suficiente* que justifique enteramente alguna conjetura de la ciencia empírica; pues según Popper: “[...] cuando nos percatamos que todo conocimiento es hipotético, rechazamos el 'principio de razón suficiente', en el sentido de 'que se puede dar una razón para toda la verdad’”³⁸⁴.

La segunda opción para reconocer la *equiprobabilidad*, es aquella que refiere al experimento. El proceso es muy simple, se lanza el dado una cantidad “n” veces y, eventualmente al cerciorarnos que ninguna de las caras del dado cae con una notable mayor *frecuencia* a las demás, podemos garantizar que el dado no está trucado y, por lo tanto, que es *equiprobable*.

Descritas las dos opciones para reconocer la condición de equiprobabilidad, es de notar principalmente, la fuerte crítica en contra del *principio de razón suficiente* con base al argumento de que se comporta como recurso inadecuado e impreciso a la hora de emplearla en la probabilidad, especialmente, si se utiliza en la microfísica. Pero algo muy diferente sucedería con la experimentación, pues ésta aparecería como el arbitrio predilecto en el estudio probabilístico.

- 2) **No es aplicable a casos desiguales:** como sabemos, la definición clásica de la probabilidad presupone la existencia de sucesos, casos o elementos equiposibles. De manera que por simple *definición clásica* resulta completamente evidente que ésta no podría utilizarse en casos en los que hay presencia de posibilidades desiguales entre sí. Un ejemplo sencillo sería el imaginar un dado trucado, ya que en dicho caso la posibilidad de que el dado caiga sobre una de sus caras en particular, no sería la misma para todas las demás caras del dado, por lo cual, dicha probabilidad no podría calcularse a partir de la definición clásica, pues requiere necesariamente de la equiposibilidad.

³⁸⁴ POPPER, Karl. Conocimiento Objetivo. Madrid: Tecnos, 1974, p. 39.

- 3) **No puede ofrecer conclusiones estadísticas sobre frecuencias relativas:** las mediciones de los resultados obtenidos por la definición clásica o de la interpretación clásica de la probabilidad, no corresponden, ni pueden ser traducidos a una *frecuencia relativa*. En esta objeción estaría implícita una reflexión en torno a ciertos elementos formales tanto de la teoría estadística como de la teoría de la probabilidad, que en síntesis revelaría que ciertos enunciados de la probabilidad clásica no pueden traducirse formalmente a enunciados sobre secuencias en experimentos en los que sí podría existir una frecuencia relativa. La frecuencia relativa es ampliamente utilizada en la teoría de la mecánica cuántica, puesto que resulta apropiada para analizar secuencias en las sucesiones finitas de experimentos reales, sin embargo, la definición clásica no emplea —en principio— casos empíricamente reales sino solamente posibles.

Además, muchas veces al no disponerse de una evidencia empírica sobre la equiposibilidad de los sucesos, aquella simplemente se presupone, lo cual implicaría cierto recurso subjetivo. Es por ello que Popper afirmó que la definición clásica de la probabilidad “[...] sucumbe, como la interpretación subjetiva, a la crítica de Von Mises: no hay *puente* lógico-matemático (como se supuso que era la ley de los grandes números) que lleve de premisas sobre *posibilidades* a conclusiones estadísticas sobre *frecuencias relativas*”³⁸⁵. Más adelante, en el desarrollo de las críticas a la probabilidad subjetiva, se describe la crítica de Popper, a lo que él y Von Mises denominaron como *puente lógico-matemático* (véase sección 3.5.1. de la presente monografía). De momento, es de enfatizar que, la definición clásica de la probabilidad, pese a ser una interpretación objetiva, puede incluso ser cuestionada, porque este recurre a cierto grado de subjetividad, cada vez que se presupone sin más, un principio de indiferencia o equiposibilidad entre los sucesos.

3.4. LA INTERPRETACIÓN FRECUENCIAL DE LA PROBABILIDAD

La interpretación frecuentista o frecuencial, tiene una aparición mucho más reciente en la historia de la probabilidad, ya que surge en el siglo XIX gracias a Venn; pero este fue a su vez adoptada y desarrollada por Von Mises, y Reichenbach. Esta interpretación busca solventar las críticas realizadas a la definición clásica desarrollada por Laplace, y se basa principalmente en el concepto de *frecuencia relativa* de un suceso que pertenece a un experimento (cuyos fenómenos son aleatorios), y el cual puede repetirse largamente bajo condiciones significativamente similares.

En *La Lógica de la Investigación Científica*, Popper manifestó estar de acuerdo —en aspectos generales— con la interpretación frecuencial de la probabilidad, en

³⁸⁵ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 88.

tanto que ésta “[...] considera que todo enunciado probabilitario numérico enuncia algo acerca de la frecuencia relativa con que acontece un evento de cierto tipo dentro de una sucesión de acontecimientos”³⁸⁶. No obstante, en aquella misma obra Popper³⁸⁷ presentó algunas modificaciones a la versión frecuentista de Richard Von Mises (la cual consideró la versión más acabada de ésta interpretación), con vistas a superar ciertas objeciones referentes a sus axiomas. Pero antes de señalar parte de aquellas modificaciones, veamos algunos cuantos aspectos importantes de esta interpretación, como a su vez, parte de sus inconvenientes.

En pocas palabras, la *frecuencia* hace referencia al número de veces en que una situación o suceso se repite dentro de una secuencia de observaciones que *arroja* un experimento en el que se manifiestan procesos aleatorios (como por ejemplo el proceso de una máquina de lanzar monedas, cuyo ‘colectivo’ puede ser «C-S-S-C-S-C-C-S...» donde C es cara y S es sello). Al respecto, resulta ventajoso percatarnos de que la *frecuencia relativa* difiere notablemente de la *frecuencia absoluta*, pues esta última indica la cantidad total de veces en las que aparece un suceso de interés, en tanto que la *frecuencia relativa*, se obtiene dividiendo la *frecuencia absoluta* con el tamaño de la muestra. Por otro lado, mientras la definición clásica de la probabilidad evalúa considerando en el denominador los casos que son posibles, en la teoría frecuencial se evalúa en recurso a los casos reales y empíricos (es decir, al número de repeticiones del experimento). En esa medida es importante entender que la probabilidad *frecuencial* no hace recurso de los casos posibles, y por lo tanto no debiese confundirse nunca con el concepto de probabilidad en su sentido clásico.

También resulta importante considerar que la teoría frecuencial apela a dos principios: el primero se conoce como el *principio de aleatoriedad*, el cual según Popper “está encaminado a dar expresión matemática al carácter azaroso de la sucesión”³⁸⁸; y el segundo principio, es el principio de estabilidad (o de regularidad de frecuencias), según el cual, cada vez que el número de repeticiones del experimento aleatorio, que se encuentra bajo condiciones idénticas —o condiciones significativamente similares— aumenta perpetuamente, las frecuencias relativas de cualquier tipo de suceso de interés tienden a estabilizarse alrededor de un número constante. Es por ello que, la interpretación frecuencial (en la versión de Von Mises) considera que la sucesión de frecuencias relativas de cualquier tipo de suceso de interés tiende a converger, lo cual implica que la probabilidad del suceso versa en el *límite* al que tiende aquella convergencia. De modo que la probabilidad muestra una relación con el valor que se afianza cuando la frecuencia relativa tiende a estabilizarse dentro de una cantidad de observaciones significativamente grande. Por otro lado, es de considerar que los dos principios antes mencionados sirven para consentir la noción de *colectivos*, la cual sencillamente se refiere a la sucesión

³⁸⁶ POPPER, Karl. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p.140.

³⁸⁷ *Ibid.*, p. 144

³⁸⁸ *Ibid.*, p. 143

de eventos que cumplen con aquellas dos condiciones. Al respecto, resulta interesante la siguiente afirmación del filósofo de la ciencia Donald Gillies, quien nos muestra cómo dicha noción nos sirve para caracterizar una crucial diferencia entre la interpretación frecuencial y la interpretación subjetiva de la probabilidad, veamos:

Este énfasis en las colecciones contrasta notablemente con la teoría subjetiva, que considera que las probabilidades deben ser asignadas por individuos específicos a eventos particulares. En la teoría de la frecuencia, las probabilidades están asociadas con colecciones de eventos u otros elementos y se consideran objetivas e independientes del individuo que las estima, así como las masas de cuerpos en mecánica son independientes de la persona que las mide ³⁸⁹.

Aquí lo importante es considerar que la probabilidad frecuencial, considera que sus resultados de probabilidad son objetivos y, por ende, enteramente independientes de las *creencias* de cualquier sujeto.

3.4.1. Algunos problemas de la interpretación frecuencial de la probabilidad

Como señaló el profesor Germán Guerrero Pino, la interpretación frecuentista débil defendida por Von Mises es cuestionada, principalmente, por los dos siguientes motivos:

Se tiene que el número real de repeticiones es siempre finito y la definición se basa en un número infinito de repeticiones. Además, se requiere que la secuencia sea aleatoria porque los límites varían con el modo en que se presente el orden de la secuencia de resultados; es decir, en una secuencia de lanzamientos de una moneda como la siguiente C, X, C, X, ..., podríamos concluir que la $P(C)=1/2$ o, contrariamente, que $P(C)=1$ en lanzamientos pares y $P(C)=0$ en los impares ³⁹⁰.

Es decir, en primer lugar, tenemos que en la práctica ningún experimento manifestaría la existencia de una sucesión ilimitada de repeticiones idénticas, como presumiblemente lo sugiere la teoría frecuencial (infinita), pues sencillamente todo experimento —por más largo que sea— es siempre finito, y ello implica que las sucesiones de sucesos que *arroja* son también finitos, de modo que no puede asegurarse que exista ciertamente el límite de las frecuencias relativas de un suceso; y en segundo lugar, resulta claro que al reordenar adecuadamente los resultados *aleatorios* de una secuencia experimental, se puede hacer que la frecuencia converja en cualquier valor entre $[0,1]$, y al respecto cabría preguntarnos

³⁸⁹ GILLIES, Donald. The subjective theory. Philosophical Theories of Probability. London: Routledge, 2006, p. 89.

³⁹⁰ RIVADULLA, Andrés. Comp. Hipótesis y verdad en ciencia: ensayos sobre la filosofía de Karl R. Popper. Madrid: Editorial complutense S.A., 2004, p. 170.

al igual que lo hace el filósofo y estudioso de la probabilidad Alan Hájek: “¿por qué un orden debe ser privilegiado sobre otros?”³⁹¹.

Otro problema que enfrenta cualquier versión de la interpretación frecuencial es el problema de la clase de referencia. Dicho problema muestra que las probabilidades que se obtienen a partir de una frecuencia relativa, deben *relativizarse* a una clase de referencia. Por ejemplo, supóngase que deseamos hallar la probabilidad de que una persona X fallezca antes de cumplir 50 años. Para dicha labor podríamos considerar tentativamente las siguientes clases de referencia: si X pertenece a la clase de personas que practican un deporte extremo, si X pertenece a la clase de personas con sobrepeso, si X pertenece a la clase de personas que no saben nadar, si X pertenece a la clase de personas no fumadoras, si X pertenece a la clase de personas que no saben leer, etc., entonces ¿Cuál es la probabilidad de X de morir antes de los 50 años? Frente a dicha situación al parecer no existe una sola probabilidad, pues aquel valor cambia dependiendo de la clase de referencia que finalmente es utilizada; por ello dice el filósofo de la ciencia Alan Hájek que “el problema de la clase de referencia surge cuando queremos asignar una probabilidad a una sola proposición, X, que puede clasificarse de varias maneras, pero su probabilidad puede cambiar dependiendo de cómo se clasifique”³⁹². Al respecto, el filósofo José Luis Rolleri también presenta una descripción del problema de la clase de referencia, y afirma que éste consiste en el “[...] problema de elegir una única secuencia entre varias secuencias con diferentes frecuencias relativas asociadas, de las que un suceso singular puede ser miembro”³⁹³. Por último, es de considerar que éste problema se ha tratado de abordar de diferentes maneras, pues como señala Alan Hájek³⁹⁴, existen varias propuestas dentro de la interpretación frecuencial, encaminadas a solventar dicho inconveniente simplemente restringiendo la atención a ciertas secuencias.

Finalmente, también se encuentra otro problema que ha llamado mucho la atención de los estudiosos de la probabilidad, pero antes pongámonos un poco en contexto. Sabemos que según la interpretación frecuencial, la función de probabilidad se estima a partir de una serie larga de sucesos (también llamados ‘colectivos’), en el cual se pretende hallar la frecuencia relativa de cierto tipo de suceso (o sucesos) que sean de particular interés. De manera que, la interpretación frecuencial demanda imperiosamente considerar los resultados de sucesos obtenidos en una serie larga de pruebas experimentales y repetibles (con similar configuración

³⁹¹ HÁJEK, Alan, "Interpretations of Probability", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2019 Edition), Edward N. Zalta (ed.), 2019. La pequeña frase ha sido traducida del idioma inglés.

³⁹² HÁJEK, Alan. The reference class problem is your problem too. *Synthese*, 24 March, 2007. 156:563–585, p. 565. La pequeña oración se ha sido traducida del idioma inglés por el autor de la presente monografía.

³⁹³ ROLLERI, José. La probabilidad como grado de posibilidad. *CRÍTICA, Revista Hispanoamericana de Filosofía*. Vol. 34, No. 101 (agosto 2002), p. 165.

³⁹⁴ HÁJEK, Alan, "Interpretations of Probability", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2019 Edition), Edward N. Zalta (ed.), 2019.

empírica), para de ahí poder calcular la frecuencia relativa de cierto acontecimiento particular. Resulta cuestionable que, por medio de ésta interpretación, se pueda efectuar estimaciones de probabilidad de un *suceso singular*, es decir, ofrecer valores de probabilidad de un caso particular a partir de un experimento del que sólo tenemos una prueba única y aislada. Dicho problema sobre la probabilidad de *eventos únicos* también habría sido apreciado por Von Mises, pues como señaló la filósofa María Carla Galavotti:

Puesto que la probabilidad sólo puede referirse a los colectivos, bajo el enfoque de Von Mises no tiene sentido hablar de la probabilidad de ocurrencias individuales de eventos, como la muerte de una persona en particular, o el comportamiento de una sola molécula de gas. Para enfatizar esta característica de la teoría de frecuencias, von Mises dice que hablar de la probabilidad de eventos individuales "no tiene sentido". Esto origina el llamado problema de caso único que afecta al frecuentismo³⁹⁵.

De modo que para frecuentistas representativos como Von Mises, la probabilidad de eventos únicos, no tiene sentido alguno para ésta interpretación del cálculo de probabilidades.

3.4.2. Las primeras consideraciones de Popper sobre la probabilidad frecuencial

Resulta claro que Popper no desconoció la dificultad descrita en la sección anterior, pues como describió en *La lógica de la investigación científica*, a partir de la interpretación frecuencial se considera que "[...] no es posible adscribir probabilidades a acontecimientos aislados, sino solamente a sucesiones infinitas de acontecimientos o de eventos"³⁹⁶. Por tal motivo, el autor³⁹⁷ en primer lugar, pretendió precisar la forma en la cual (o el sentido) en el que sí es posible hablar de una *probabilidad de un suceso singular* dentro de la interpretación frecuencial. Para comprender aquello resulta pertinente partir de la siguiente aclaración del autor:

"[...] el enunciado «la probabilidad de que la próxima tirada de este dado dé un cinco es igual a 1/6» no es realmente una aserción acerca de la próxima tirada, sino sobre toda la clase de tiradas, de la cual la próxima es meramente un elemento. El

³⁹⁵ GALAVOTTI, María. The Interpretation of Probability: Still an Open Issue?. *Philosophies*, 2(3), 20, 2017, p. 5. Disponible en internet: <https://www.mdpi.com/2409-9287/2/3/20>. La cita ha sido traducida por el autor de la presente monografía.

³⁹⁶ POPPER, Karl. *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 195.

³⁹⁷ Aunque, posteriormente, Popper advirtió que son singulares sólo gramaticalmente o 'formalmente'. Véase: POPPER, Karl. *Realismo y el objetivo de la ciencia*. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 327.

enunciado en cuestión dice únicamente que, dentro de esta clase de tiradas, la frecuencia relativa de los cinco vale $1/6$ ³⁹⁸.

Según Popper la interpretación frecuencial de la probabilidad hace referencia a toda una clase dada³⁹⁹ de eventos, en la cual se mide o calcula la *frecuencia relativa* de cierto tipo de evento de interés, entre un conjunto secuencial de eventos que son dados experimentalmente. Por lo tanto, la probabilidad, a partir de la interpretación frecuencial, es una propiedad atribuible solamente a la secuencia. Lo cierto, es que Popper no solo pretendió enfatizar que la probabilidad, según esta interpretación, resulta siendo una propiedad de la secuencia o del 'colectivo', sino que además, el autor⁴⁰⁰ quiso mostrar que la probabilidad de *sucesos singulares* como: “«la probabilidad de sacar cinco en la próxima tirada con este dado es $1/6$ »”⁴⁰¹ puede adquirir un sentido correcto dentro de la interpretación frecuencial, únicamente en la medida en que aquel suceso en cuestión se considere miembro de una secuencia de sucesos con una frecuencia relativa, o siendo más precisos definiendo “la probabilidad formalmente singular de que el evento k tenga la propiedad β —dado que k sea un elemento de la sucesión α —... [como] la probabilidad de la propiedad β en la sucesión de referencia α ”⁴⁰².

No obstante, la probabilidad de los *sucesos singulares* seguiría siendo problemática en otro sentido —o, mejor dicho, en su sentido original—, que como sabemos se refiere a los casos en los que solo hay un ensayo aislado y único, ya que no resulta factible calcular la probabilidad de un suceso en aquellas circunstancias en las que se carece de una secuencia.

Se reitera que, según las primeras consideraciones de Popper presentes en *La lógica de la investigación científica*, la probabilidad de *enunciados singulares* como: “la probabilidad de sacar cinco en una tirada aislada cualquiera (con este dado) es $1/6$ »”⁴⁰³ puede adquirir un sentido correcto únicamente en la medida en que aquel suceso en cuestión se considere miembro de una sucesión de eventos con una frecuencia relativa. Pero, a pesar de conceder un sentido que consideró *correcto*

³⁹⁸ POPPER, Karl. *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 140.

³⁹⁹ Considerando el contexto filosófico de Popper, en la presente monografía podemos aclarar o distinguir que —según el autor— para una interpretación objetiva como la frecuencial, la clase de eventos podría ser considerada *dada* en el sentido de que se habrían seleccionado o escogido o construido las condiciones pertinentes de esos eventos (dada según las condiciones), y no en el sentido de la interpretación subjetiva, donde la clase de eventos sería *dada* según el conocimiento que tenemos sobre la ocurrencia de esos eventos (dada según la suma total de lo que 'nosotros' sabemos); este último sentido es rechazado por Popper. Véase: POPPER, Karl. *Realismo y el objetivo de la ciencia*. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 337.

⁴⁰⁰ POPPER, Karl. *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 195.

⁴⁰¹ *Ibíd.*, p. 195.

⁴⁰² *Ibíd.*, p. 196. Entre corchetes palabra añadida, tal y como se cita a Popper en: MILLER, David. Tres pasos de las frecuencias a las propensiones. En: revista *Praxis Filosófica Nueva serie*, No. 24, enero-junio, 2007, p. 7.

⁴⁰³ *Ibíd.*, p. 195.

para la *probabilidad de un suceso singular* (el autor luego advirtió que es singular sólo gramaticalmente o ‘formalmente’⁴⁰⁴), décadas después Popper reparó que el problema de la probabilidad de los sucesos singulares no sería satisfactoriamente resuelto sino hasta el desarrollo de su propuesta propensivista.

De los otros problemas que enfrenta la interpretación frecuencial, Popper⁴⁰⁵ lamentablemente no efectuó una descripción sistemática, en vez de ello aseguró ofrecer una propuesta que ayuda a superar las objeciones efectuadas a la interpretación frecuencial y que refieren a la combinación de los dos axiomas de Von Mises sobre la *aleatoriedad* y la *convergencia* (por lo tanto, se presume que los principales problemas atribuidos a la interpretación frecuencial subyacen esencialmente en torno a la discusión de sus axiomas). Popper⁴⁰⁶ en 1934, en su obra filosófica *La lógica de la investigación científica* había considerado que la interpretación frecuentista de la probabilidad, al ser una teoría de la probabilidad objetiva, debía ser la interpretación más adecuada para la física cuántica, y por ello, a partir de aquella misma obra ofrece algunas modificaciones a dicha interpretación con vistas a superar en conjunto los inconvenientes y problemas principales adjudicados a la teoría desarrollada por Richard Von Mises, y con la intención de responder a lo que él mismo denominó: *el problema fundamental del azar*. Dado que posteriormente Popper abandonó su interpretación frecuencial (modificada) por lo que sería su nueva interpretación propensivista, resulta innecesario para nuestro propósito profundizar en detalle en los aspectos concernientes a las modificaciones que Popper mismo efectuó a la interpretación de Von Mises, pero aun así veamos brevemente, algunas de sus consideraciones.

En *La lógica de la investigación científica* Popper⁴⁰⁷ afirmó que la aplicación más importante del denominado cálculo de probabilidades se halla en los eventos o sucesos considerados ‘aleatorios’ o ‘azarosos’. Según el autor, dicha característica dotaría a los sucesos de una presumible *incalculabilidad* según la cual los métodos racionales conocidos para la predicción fracasarían o no servirían para develar cuál sería la situación de aquellos sucesos, por lo cual aquella *incalculabilidad* sugeriría que es necesario aplicar para dichos casos el cálculo de probabilidades. No obstante, el autor advirtió que aquello presupondría cierta circunstancia algo paradójica, pues se trataría de abordar la *incalculabilidad* a partir de *calcular*. Al respecto, Popper señaló que dicha paradoja no se presentaría en el caso de que se aceptase la interpretación subjetiva de la probabilidad, pues aquella lograría eludir aquella paradoja pero de forma completamente insatisfactoria, pues la interpretación subjetiva afirmarían que: “[...] el cálculo de probabilidades no es un método de calcular predicciones (frente a lo que ocurre con todos los demás métodos de la ciencia empírica), sino —según esta teoría— meramente un método

⁴⁰⁴ Véase nota 397 de la presente monografía.

⁴⁰⁵ POPPER, Karl. *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 144.

⁴⁰⁶ Véase nota de Popper *1 en: *Ibíd.*, p. 140.

⁴⁰⁷ POPPER, Karl. *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 141.

de llevar a cabo transformaciones lógicas de algo que ya conocíamos; o, mejor, de algo que no conocemos, pues precisamente realizamos tales transformaciones cuando carecemos de conocimientos⁴⁰⁸. Pero si bien dicha concepción subjetivista de la probabilidad puede evadir aquel problema, finalmente no sería capaz de explicar cómo es posible contrastar o corroborar las supuestas aseveraciones de creencia o ignorancia que son finalmente tratados como si fuesen enunciados sobre frecuencias objetivas. En palabras de Popper persistiría el siguiente interrogante: “¿Cómo es posible explicar el hecho de que a partir de la incalculabilidad —esto es, de la ignorancia— podamos sacar conclusiones que cabe interpretar como enunciados acerca de frecuencias empíricas, y que encontramos luego brillantemente corroborados por la práctica?”⁴⁰⁹, o “¿Cómo podemos explicar que toda sucesión registrada de tiradas con una moneda o con un dado presente, por un lado, un carácter típicamente aleatorio y por otro, una frecuencia relativa estable que aparentemente tiende a un límite?”⁴¹⁰. Lo anterior hace alusión a lo que Popper denominó *el problema fundamental del azar*, problema que persiste en la teoría frecuentista de la probabilidad de Von Mises. Por tal motivo, el autor austriaco⁴¹¹ manifestó que con la pretensión de solventar este y otros inconvenientes (los cuales refieren a la combinación de los axiomas de Von Mises, como lo es el problema sobre la aplicación del concepto del límite⁴¹² matemático), en la *Lógica de la investigación científica* cuestionó dos axiomas presentes en la teoría de Von Mises sobre la teoría frecuencial de la probabilidad, y que son empleados para componer el concepto de ‘colectivos’: (a) el axioma de la aleatoriedad y (b) el axioma de convergencia; Popper⁴¹³ propuso un axioma de aleatoriedad modificado o débil, y sobre el segundo planteó su completa eliminación, pues “[...] la aleatoriedad (si se la define por medio de ‘sucesiones aleatorizadas mínimas’) entraña la convergencia, de modo que ésta no necesita ser postulada separadamente”⁴¹⁴. A partir de aquellas modificaciones Popper consideró haber superado las dificultades teóricas de la interpretación frecuencial, aunque posteriormente Popper⁴¹⁵ abandonó la teoría frecuencial (modificada) que él mismo había desarrollado a partir de la teoría de Von Mises, y a partir de 1953 desarrolló su nueva propuesta propensional de la

⁴⁰⁸ *Ibíd.*, p. 141.

⁴⁰⁹ *Ibíd.*, p. 141.

⁴¹⁰ POPPER, Karl. *Realismo y el objetivo de la ciencia*. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 438.

⁴¹¹ POPPER, Karl. *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 137.

⁴¹² *Ibíd.*, p. 144.

⁴¹³ Véase: *Ibíd.*, p. 142-145.

⁴¹⁴ En nota *1 de POPPER, Karl. *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 171.

⁴¹⁵ Si bien años más tarde Popper abandonó su interpretación frecuencial (modificado), es de aclarar que el autor aún en el *Post Scriptum* sigue considerando que sus modificaciones efectuadas a la teoría de Von Mises son en general válidas, a excepción de su tratamiento realizado a la probabilidad de casos singulares la cual no es enteramente satisfactoria; esto último será la circunstancia crucial por la cual el autor posteriormente determinó que es preferible asumir una interpretación propensionista. Por otro lado, sobre el denominado ‘problema fundamental del azar’, Popper luego consideró que también éste sólo encontraría una solución satisfactoria a partir de su nueva interpretación propensionista.

probabilidad. En el tercer volumen del *Post scriptum*, Popper aclaró haber replanteado su antigua adhesión a la interpretación frecuencial para profundizar en su nueva postura. Así lo manifestó: “[...] he renunciado a la interpretación frecuencial en favor de la propensivista”⁴¹⁶.

Más adelante profundizaremos en la interpretación propensivista de la probabilidad. De momento cabe reiterar que según Popper las interpretaciones objetivas son: la interpretación clásica, la interpretación frecuencial y la interpretación propensivista, las cuales se contraponen a la interpretación subjetiva de la probabilidad, que considera que la probabilidad de un suceso no depende verdaderamente de sus condiciones físicas, sino del estado de nuestro conocimiento, o de nuestras *creencias*.

3.5. LA INTERPRETACIÓN SUBJETIVA DE LA PROBABILIDAD

A diferencia de las interpretaciones clásica y frecuencial, que consideran la probabilidad como una propiedad objetiva de cada suceso, existe una postura probabilista que concibe la probabilidad como un concepto subjetivo. Esta interpretación de la probabilidad se nutre inicialmente de los trabajos de Thomas Bayes, aunque, posteriormente, recibiría las contribuciones de Frank Ramsey, Bruno de Finetti, Leonard Savage, entre otros. Según Popper:

“La teoría subjetivista de la probabilidad, que interpreta los grados de probabilidad como grados de creencia racional, surge directamente del enfoque subjetivista de la verdad, en especial de la teoría de la coherencia”⁴¹⁷.

A partir de la interpretación subjetiva de la probabilidad se considera que la probabilidad de ocurrencia de cierto evento, deriva principalmente del grado de certidumbre que tiene un sujeto —o varios— acerca de la ocurrencia de ese evento. Dicha certidumbre en la ocurrencia de un evento bien podría sustraerse de la experiencia, o de algún tipo de información previa que el sujeto posee. De modo que el valor de probabilidad no estaría siendo únicamente establecido por las características propias del proceso, sino que el sujeto también apelaría, además de la evidencia de que dispone, a sus años de experiencia personal y a sus propias opiniones sobre como estimar cualquier tipo de información experimental.

Según afirma el arduo defensor de la postura subjetivista de la probabilidad, el probabilista y estadístico italiano Bruno de Finetti, dicha interpretación se establece

⁴¹⁶ POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 119.

⁴¹⁷ POPPER, Karl. *Conjeturas y refutaciones*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 277.

como: “la concepción para la cual toda asignación de probabilidad solo tiene y solo puede tener un valor esencial y exclusivamente psicológico”⁴¹⁸.

En otras palabras, Bruno Finetti niega rotundamente la existencia de probabilidades objetivas y considera conforme a la interpretación subjetiva de la probabilidad que son los sujetos o personas quienes *asignan una probabilidad*⁴¹⁹ que representa el grado de confianza (o la creencia) que poseen, en la ocurrencia de un determinado evento. Si bien Popper no se encontró conforme con el recurso a la interpretación subjetiva de la probabilidad, lo dicho anteriormente no discrepa de la definición popperiana:

“Las *interpretaciones subjetivas* son aquellas que interpretan que el número $p(a,b)$ mide algo como nuestro conocimiento, o nuestra creencia, en (la aserción) a , dada (la información) b . Así los argumentos de la función p , es decir, a,b,c,\dots , tienen que interpretarse en este caso como artículos de creencia o duda o artículos de información o proposiciones o aserciones o enunciados o hipótesis”⁴²⁰.

Como vemos, este tipo de interpretación difiere considerablemente de la *interpretación frecuentista* y clásica, pues según la interpretación subjetiva, la asignación de valores formales claramente podría resultar de las consideraciones propias de cada observador en particular, sin que necesariamente la opinión (o creencia) de los demás individuos tenga que coincidir plenamente. Por el contrario, en la *interpretación frecuencial* la probabilidad se supone que es siempre la misma (única) para todos los individuos, lo que quizá puede variar son las apreciaciones cualitativas que se puedan efectuar sobre el mismo suceso. Por consiguiente, para la *interpretación subjetiva*, los planteamientos probabilísticos nunca podrían exhibir un valor objetivo, pues aquella interpretación considera que la probabilidad es tanto dependiente, como estimada, por el individuo en función de sus juicios previos acerca de la situación, y de la forma en que personalmente puede valorar la información existente. Según explica el filósofo de la ciencia Samir Okasha:

La interpretación subjetiva de probabilidad implica que no existen hechos objetivos acerca de la probabilidad, al margen de lo que la gente piense. Si digo que la probabilidad de hallar vida en Marte es alta y usted me dice que es muy

⁴¹⁸ FINETTI, Bruno. Sobre el significado subjetivo de la probabilidad. En: Revista de filosofía, número 58, p. 172.

Disponible en internet: <https://revistafilosofia.uchile.cl/index.php/RDF/article/view/44080/46095>

⁴¹⁹ Según el filósofo de la ciencia Samir Okasha: “por supuesto, sería difícil asignar un número exacto a la fuerza de mi convicción en esas afirmaciones, pero los defensores de la interpretación subjetiva consideran esto como una limitación meramente práctica. En principio, debemos ser capaces de asignar una probabilidad numérica precisa a cada una de las afirmaciones acerca de las cuales tenemos una opinión, reflejando así cuánto creemos o no creemos en ellas.” En: OKASHA, Samir. Una brevísima introducción a la filosofía de la ciencia. México, D. F: Editorial Océano de México, S.A., 2007, p. 52.

⁴²⁰ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 85.

baja, ninguno de nosotros está en lo correcto o en el error; sólo establecemos con cuánta fuerza creemos en el enunciado en cuestión. Por supuesto, hay un hecho objetivo acerca de si hay o no vida en Marte; pero sencillamente no hay un hecho objetivo acerca de cuán probable es que haya vida en ese planeta, de acuerdo con la interpretación subjetiva⁴²¹.

Por último, es de considerar que la interpretación subjetiva de la probabilidad puede derivar en lo que se conoce como la interpretación lógica del cálculo de probabilidades. Al respecto, el filósofo de la ciencia Donald Gillies aseguró:

“[...] las interpretaciones 'subjetivas' de la probabilidad incluyen tanto la teoría subjetiva de la probabilidad, que identifica la probabilidad con el grado de creencia, como la teoría lógica, que identifica la probabilidad con el grado de creencia racional”⁴²².

Esto mismo también lo habría visto Popper, quien en *La Lógica de la Investigación Científica* manifestó lo siguiente:

Sin embargo, existe una nueva variante de la interpretación subjetiva [...] Esta no interpreta los enunciados probabilísticos psicológica sino lógicamente: como aserciones acerca de lo que puede llamarse la 'proximidad lógica' de los enunciados. Todos sabemos que éstos pueden encontrarse entre sí en variadas relaciones lógicas, como son las de deductibilidad, incompatibilidad o independencia mutua; pues bien, la teoría lógico subjetiva —cuyo principal exponente es Keynes— considera la relación, probabilística como un tipo especial de relación lógica entre dos enunciados⁴²³.

Popper en sus escritos tardíos, especialmente en el primer volumen del *Post scriptum: Realismo y el Objetivo en la Ciencia*, desarrolló más profundamente lo que es la probabilidad lógica, pero para nuestros propósitos basta con reconocer los aspectos antes señalados.

3.5.1. Las críticas de Popper a la interpretación subjetiva de la probabilidad

La crítica de Popper⁴²⁴ a la interpretación subjetiva de la probabilidad empieza por asumir una circunstancia que le resulta por completo ineludible a la epistemología

⁴²¹ OKASHA, Samir. Probabilidad e inducción. Una brevísimas introducción a la filosofía de la ciencia. México, D. F: Editorial Océano de México, S.A., 2007, p. 52.

⁴²² GILLIES, Donald. The subjective theory. *Philosophical Theories of Probability*. London: Routledge, 2006, p. 19. La cita ha sido traducida por el autor de la presente monografía.

⁴²³ POPPER, Karl. La probabilidad. *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 139.

⁴²⁴ POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 86.

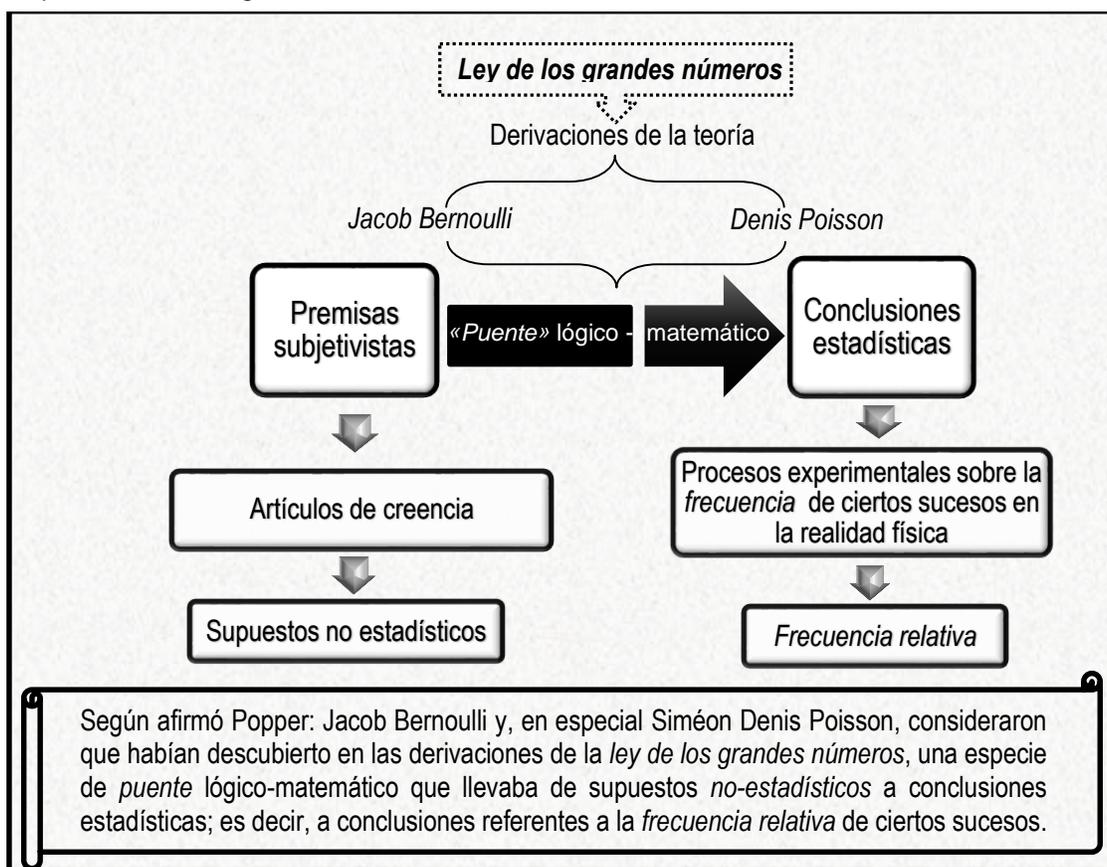
del *racionalismo crítico*: por medio de enunciados o aserciones de creencia no se puede realizar conclusiones estadísticas objetivas. Para comprender enteramente lo anterior, primeramente, debemos aproximarnos a lo que entiende el propio autor por *conclusiones estadísticas objetivas*. Estas apuntan a las conclusiones que le atribuiríamos a la realidad, o en términos más precisos, que le atribuiríamos a la *frecuencia relativa* de las cosas y/o sucesos concretos que acontecen en la naturaleza. En Popper la realidad que pretende ser aprehensible por el pensamiento científico, no podría ser nunca efectivamente develada —sea con verosimilitud o aproximación a la verdad objetiva— a partir de meras premisas inductivas o artículos de creencia, pues como lo identificaría Popper a través del famoso problema de Hume, las consideraciones inductivas (o artículos de creencia) no lograrían nunca tener validez lógica. De ahí que no sea extraño que Popper haya concluido que no resulta lícito derivar de un conjunto de premisas subjetivas, ciertas conclusiones que pretendan atender efectivamente a la realidad; o ya adentrados en términos estadísticos y/o de probabilidad, el obtener de allí ciertas conclusiones que puedan ser consideradas como estadísticas objetivas. Por consiguiente, para Popper, de los artículos de creencia, o de probabilidades subjetivas, no se puede obtener ciertas conclusiones que puedan ser consideradas como probabilidades objetivas y que correspondan efectivamente a la realidad de las cosas que poseen cierta *frecuencia relativa*. Vale la pena insistir en que para Popper una teoría aceptable sobre la probabilidad, sería aquella que se refiriese efectivamente a la realidad de la naturaleza, es decir, a su *frecuencia relativa*, cosa que a su juicio no podría lograr verdaderamente una interpretación subjetiva, pues esta interpretación remite a los artículos de *creencia* basados en el conocimiento parcial o nesciencia del sujeto. Por lo cual, si nos adentramos un poco en el campo de la teoría cuántica, encontramos que Popper percibió que de los artículos de *creencia* que expresan premisas sobre márgenes de *incertidumbre*, se pretendió derivar conclusiones estadísticas objetivas. Como se dijo antes, Popper⁴²⁵ inicialmente aceptó —por lo menos parcialmente— la teoría frecuencial de la probabilidad de Von Mises, que consideró una teoría estadística objetiva, y vio con enorme extrañeza, que a pesar de que varios adeptos a la teoría cuántica como John Von Neumann aceptaran la teoría estadística de Von Mises, asimismo hayan persistido reaciosamente en la posibilidad de que existe un supuesto «puente» entre “las premisas no-estadísticas y las conclusiones estadísticas”⁴²⁶, o para decirlo de una forma más comprensible, en la existencia de un «puente» entre las premisas inductivas (o artículos de creencia), y las *frecuencias relativas* que exhibe la realidad empírica de la naturaleza. Véase el siguiente esquema⁴²⁷:

⁴²⁵ POPPER, Karl. La probabilidad. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 142.

⁴²⁶ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 87.

⁴²⁷ Esquema realizado por el autor de la presente monografía con base a las afirmaciones de Popper.

Esquema 8: Puente lógico-matemático.



Extrañeza que surge, según el autor, porque precisamente Von Mises, y él mismo, habrían evidenciado el error lógico implícito en aquel propósito de pretender justificar conclusiones *estadísticas objetivas*, a partir de lo que serían aseveraciones inductivas o artículos de creencia. Según Popper: "Mises mostró que en algunas etapas de la derivación, el significado no-estadístico de los símbolos se abandona y se sustituye tácitamente por un significado estadístico"⁴²⁸. En cuanto a Popper⁴²⁹, su crítica a dicho «puente» —como se advirtió antes— se nutre especialmente de su crítica al principio de la inducción; esto en la teoría de la probabilidad se traduce en aquella circunstancia, en la que para el subjetivista 'nuestro' conocimiento de los acontecimientos pasados, a partir de un número muy grande de repeticiones, determinaría en buena medida las estimaciones de probabilidad (a este hecho Popper lo denominó como *la regla inductiva simple*). De este modo se entiende que para el subjetivista, la función $p(a,b)$ se encontraría enormemente influenciada por

⁴²⁸ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 86.

⁴²⁹ Véase: POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 336-343. Según Popper, la interpretación subjetiva de la probabilidad no satisface la *condición de independencia* (en el sentido de la teoría objetiva).

los resultados de los experimentos anteriores; y donde *b* representaría la suma total de lo que ‘nosotros’ sabemos. Según Popper la *regla inductiva simple* del subjetivista, no sería compatible con la exigencia de *independencia* y *no pertinencia*⁴³⁰ (que entrañan la repetibilidad experimental), ya que el resultado de los experimentos pasados afectaría las probabilidades futuras; pues cada nuevo suceso que pase a formar parte del pasado (es decir que pase a formar parte de *b* que es lo ‘nosotros’ sabemos según el subjetivista), y que se considere para medir la probabilidad de una situación particular, cambiaría —una y otra vez— aquella medida de probabilidad que sería realmente *única* (u objetiva) para la situación evaluada. La cuestión problemática radica en el estatus atribuible a *b*, pues para el subjetivista *b* siempre resultaría *pertinente*; en tanto que para un objetivista *b* representaría las condiciones repetibles de una situación repetible, las cuales, además, estarían abiertas a la libre elección, pues según Popper “las condiciones no están dadas, nosotros las escogemos o seleccionamos o construimos cuando seleccionamos nuestro problema”⁴³¹.

Ahora bien, Popper consideró que para el subjetivista la regla de *independencia* no puede preceder la *regla inductiva simple*, ya que éste no podría basarse en la primera regla mencionada en vista de que debe basarse en *la totalidad de la situación lógica*. Asimismo, el recurso del método de Bernoulli en la teoría de la probabilidad solo sería adecuada —según Popper—, en tanto ésta parta de la *independencia*; ya que únicamente en el caso de observaciones objetivamente independientes es cuando finalmente se puede aplicar válidamente el método de Bernoulli.

Para Popper, un objetivista consideraría que la teoría de Bernoulli dice: “[...] en el caso muy grande de experimentos independientes (o de observaciones independientes), es sumamente probable que *a*) la probabilidad objetiva real esté muy cerca de la frecuencia observada. Por lo tanto la frecuencia observada será probablemente una *b*) muy buena, es decir, una estimación muy buena de la probabilidad objetiva”⁴³². De esta manera nos percatamos de lo siguiente: mientras el subjetivista pretende hacer recurso del método de Bernoulli, antes de la

⁴³⁰ Según Popper la exigencia de *independencia* se refiere a la circunstancia de que, para una disposición experimental repetible bajo las mismas condiciones, “*los primeros experimentos no deben afectar a los posteriores*. Porque, de otro modo, los posteriores operan bajo nuevas condiciones”; en otras palabras, los experimentos deben estar libres de efectos secundarios (deben ser independientes). En cuanto a la exigencia de *no pertinencia*, dice el autor que se refiere a “las condiciones que no tienen ningún efecto sobre la probabilidad del resultado”; en otras palabras, no interesan las condiciones no-pertinentes. Por ejemplo, si calculamos la probabilidad de una moneda de caer cara, no nos interesa la condición de si hay disturbios en cierto país, o si las personas en Italia están descontentas (estas son condiciones no-pertinentes a la situación de la moneda de caer cara). Por consiguiente, los experimentos repetibles deben ser independientes e indicar las condiciones pertinentes. Véase: POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 328-331.

⁴³¹ *Ibíd.*, p. 337.

⁴³² *Ibíd.*, p. 347.

independencia y no pertinencia, para el objetivista la situación es al revés. En pocas palabras, el error de los subjetivistas estriba en que la *regla inductiva simple* no satisface la *independencia*, pero ésta última regla sería a su vez una condición necesaria para el empleo lícito de la regla inductiva simple, por lo cual terminan cayendo en una incompatibilidad⁴³³.

Los anteriores argumentos, pueden contribuir a comprender tanto por qué aquel supuesto «puente» —para un objetivista— no sería para nada admisible en la teoría de la probabilidad, como a su vez, por qué no consentiría el objetivista, realmente establecer enunciados inductivos que puedan considerarse efectivamente válidos.

Asimismo, Popper ya había advertido desde su obra *La lógica de la investigación científica*, que ni la teoría de los grandes números⁴³⁴ demostrada por Jacob Bernoulli, ni sus diferentes derivaciones podrían emplearse adecuadamente —en lo absoluto— por alguna interpretación subjetiva de la probabilidad, ni tampoco por alguna de sus peculiares variantes (entre ellas la interpretación lógico-subjetivista de Keynes) que se autoproclaman ‘objetivas’, para relacionar frecuencias empíricas (o *frecuencias relativas*) con supuestos grados de creencia racional⁴³⁵, pues ello irremediablemente abocaría en una contradicción entre los mismos presupuestos de la probabilidad subjetivista, y el recurso (o apelación) a la ley de los grandes números. Como manifestó Popper:

El teórico de la probabilidad subjetiva que quiere definir ‘probabilidad’ como ‘grado de creencia racional’ es perfectamente coherente, y está en su pleno derecho, cuando interpreta las palabras «la probabilidad de ... se acerca a 1 cuanto queramos» en el sentido de : «es casi seguro que ...» ; pero cuando continúa diciendo «... que la frecuencia relativa discrepará de su valor más probable p en una cantidad menor que una dada...» —o , con las palabras de Keynes—, «que la proporción de la aparición de los eventos divergirá de la proporción más probable, p, en una cantidad menor que una dada...»—, lo único que hace es dejar en la obscuridad las dificultades que encuentra. Pues tales expresiones parecen ser correctas, al menos cuando se oyen por primera vez; pero si traducimos de nuevo la palabra ‘probable’ (que a veces se suprime) conforme a la teoría subjetiva, entonces el texto completo es del siguiente tenor:

⁴³³ La regla inductiva simple y el método de Bernoulli son dos cosas diferentes. Pero cuando se habla de “el empleo lícito de la regla inductiva simple”, ésta expresión refiere en últimas, al método de Bernoulli, el cual, según Popper, debe satisfacer previamente el principio de *no pertinencia e independencia*. Por lo cual, otra forma de expresar lo dicho en el párrafo, sería afirmar que la regla inductiva simple es incompatible con el método de Bernoulli.

⁴³⁴ Según Popper:” [...] el teorema de Bernoulli afirma que los segmentos pequeños de las sucesiones azarosas muestran a menudo grandes fluctuaciones, mientras que los grandes se comportan siempre de una manera que sugiere constancia y convergencia; dicho sucintamente: que en lo pequeño encontramos desorden y aleatoriedad, y en lo grande orden y constancia. A este comportamiento es a lo que se refiere ‘la ley de los grandes números’”. En: POPPER, Karl. *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 169.

⁴³⁵ Véase nota *1 de: POPPER, Karl. *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 169.

«es casi seguro que las frecuencias relativas discreparán del valor p del grado de creencia racional en una cantidad menor que una dada...» ; lo cual, para mí, carece enteramente de sentido, pues las frecuencias relativas sólo pueden compararse con otras frecuencias relativas, y pueden discrepar o no únicamente de ellas. Y es claro que sería inadmisibles dar a p , después de la deducción del teorema de Bernoulli, un sentido diferente del que tenía antes de la misma⁴³⁶.

De modo que, la probabilidad subjetiva se muestra problemática, en tanto que no podría efectuar una auténtica referencia a la frecuencia relativa que posee la naturaleza física.

3.6. LA INTERPRETACIÓN DE LA PROBABILIDAD COMO PROPENSIÓN DE KARL POPPER

Según Popper, la interpretación propensivista representaría una superación de la interpretación subjetiva de la probabilidad, como también de la interpretación de la frecuencia estadística de la probabilidad; interpretaciones que, como señala el investigador David Mayo Sánchez⁴³⁷, constituirían el soporte formalista usualmente aceptado para explicar el indeterminismo. Aquella superación, implicaría a su vez una nueva perspectiva que no incurriría en las principales objeciones señaladas en la interpretación clásica, frecuencial y subjetiva de la probabilidad, pues respectivamente, y como vimos anteriormente, aquellas sucumbían principalmente porque (i) hay procesos en los que no existe una equiprobabilidad entre los sucesos, (ii) persiste la ausencia de una probabilidad estadística que pueda dar cuenta de la *razón de ser* de la probabilidad de un *suceso singular* y, (iii) no se puede justificar conclusiones *estadísticas objetivas* que refieren a *frecuencias relativas*, a partir de lo que serían aserciones inductivas o artículos de *creencia*.

Para explicar la necesidad y emergencia de su teoría propensivista, Popper⁴³⁸ en su pequeño libro *Un mundo de propensiones*, empleó un ejercicio mental similar al que sigue:

Imaginemos que pretendemos lanzar un dado al aire, y que además deseamos calcular la probabilidad de que el mismo dado nos arroje un valor que sea par e inferior a seis. Entonces, un simple análisis nos permitirá identificar que las únicas opciones que cumplen con aquella exigencia son los valores [2] y [4], por lo cual,

⁴³⁶ POPPER, Karl. El teorema de Bernoulli y la interpretación de los enunciados probabilísticos. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 169.

⁴³⁷ MAYO, David. La teoría propensivista como base metafísica para la construcción de una cosmología en el pensamiento de Karl Popper. En: revista Euphyía, agosto 14, 2014, p. 42.

⁴³⁸ PETERSEN, Arne; MEJER, Jorgen. Comps. El mundo de Parménides. Barcelona: Paidós, 1999, p. 25-26.

claramente podemos afirmar que aquellos dos valores son los únicos valores posibles, o *casos favorables* según la exigencia presentada. Luego, por *definición clásica* podríamos fácilmente calcular la probabilidad requerida, obteniendo como resultado $2/6$, o al simplificar aquella fracción $1/3$. Hasta allí nada complicado. Pero ahora tomemos un caso más interesante, que también puede manifestarse cotidianamente en nuestro mundo real. Nuevamente imaginemos un dado, pero no un dado común y corriente, sino un dado que posea en uno de sus lados un mayor peso, es decir, imaginemos un dado trucado. De modo que ahora se presenta un nuevo y diferente caso, en donde podríamos preguntarnos lo siguiente: ¿la probabilidad de que el dado trucado caiga de cierta manera podrá calcularse de igual forma, es decir, a través de la *definición clásica*? Y, como habría de suponerse, la respuesta sería un rotundo no, pues resulta más que evidente que las posibilidades que le podríamos otorgar al dado trucado para que caiga de cierta manera sobre alguno de sus lados, no resulta ser la misma para los otros casos posibles, o lo que es lo mismo, con el dado trucado ya no se presenta ninguna *equiprobabilidad*. En esta sencilla circunstancia, en el que las posibilidades no son iguales, resulta absurdo hablar de probabilidades en el *sentido clásico* numérico. Así que este simple ejercicio mental, según Popper, serviría para percatarnos del hecho de que un desarrollo posterior de la teoría de las probabilidades, también debe incluir aquellas circunstancias reales en las que se presentan posibilidades desiguales o «pesos» diferentes entre sí.

Popper consideró que debe existir una teoría general que contemple la probabilidad de sucesos con posibilidades desiguales, pero que, en aquella misma teoría general, sea posible tratar los casos en los cuales la posibilidad es la misma (o casos equiprobables), como situaciones o casos especiales. Pero entonces ahora podría surgir otra ineludible pregunta: ¿cómo podríamos averiguar el «peso» real de las diferentes posibilidades?, o en palabras de Popper: “¿existe algún método que nos permita atribuir valores numéricos a posibilidades desiguales?”⁴³⁹ La respuesta del filósofo austriaco es afirmativa, y dice que dicho método no sería otro que el de la estadística. Es así como Popper se propone elaborar una nueva interpretación del cálculo de probabilidades que remedie las carencias de la probabilidad clásica, pero que también sea objetiva, y aplicable a la teoría de la mecánica cuántica.

En su ensayo “The Propensity Interpretation of Probability” (publicado en 1959), Popper describió los dos motivos principales que le llevaron a abandonar la interpretación frecuencial de la probabilidad, y emprender la búsqueda de una nueva interpretación de teoría probabilística, que como sabemos, culminaría con su propuesta propensivista:

“La primera —dice Popper— estaba relacionada con el problema de la interpretación de la teoría cuántica, y la segunda porque encontré ciertos fallos en mi propio

⁴³⁹ POPPER, Karl. Un mundo de propensiones. Madrid: Editorial Tecnos, 1992, p. 27.

tratamiento de la probabilidad de los sucesos individuales (en contraste con las secuencias de sucesos), o ‘sucesos singulares’, como prefiero llamarlos en analogía con los ‘enunciados singulares’”⁴⁴⁰.

Resulta pertinente enfatizar la crucial importancia que ostenta el estudio de la probabilidad de los *sucesos singulares*, y su relación con la teoría de la mecánica cuántica. Al respecto, la siguiente afirmación de Popper resulta bastante esclarecedora: “la probabilidad de un solo acontecimiento. Esta cuestión tiene importancia en relación con la teoría cuántica, porque la función Ψ (psi) determina la probabilidad de que un solo electrón adquiera cierto estado, en ciertas condiciones”⁴⁴¹.

Una vez dicho lo anterior, recapitulemos las deficiencias que Popper le atribuyó a la interpretación frecuencial respecto a la probabilidad de los sucesos singulares. Como vimos anteriormente, la interpretación frecuencial adquiere información (o datos) por medio de procesos empíricos, los cuales ofrecen cierta secuencia de sucesos que son reales y objetivos, por lo cual, desde la perspectiva del *racionalismo crítico*, ésta podría ser una adecuada interpretación para el cálculo de probabilidades. Además, como señaló Popper en *La lógica de la investigación científica*, a partir de ésta interpretación frecuencial, es posible hacer referencia a la probabilidad de *sucesos singulares* de una forma adecuada o, mejor dicho, en un sentido *correcto*, aunque solamente en la medida en que a dicha *probabilidad* se le considere como parte de una sucesión de eventos con frecuencias relativas. No obstante, ya sabemos que Popper no se encontraría del todo conforme con aquella solución, pues aún persistirían varios inconvenientes no resueltos en torno a lo que se podría denominar *la razón de ser de la probabilidad de los sucesos singulares*, y por ello poco tiempo después se propuso encontrar una forma más efectiva con la cual poder explicar satisfactoriamente la probabilidad de los *sucesos singulares*, e incluso las causas de las frecuencias estadísticas. Como explica el filósofo e investigador David Mayo Sánchez:

[...] la interpretación frecuencial depende de muestreos de sucesiones infinitas o muy largas que a su vez tendrían que ser efectivas-observadas, situación ya de por sí imposible, y en este caso no se da una explicación del porqué de un suceso singular sino hasta dado todo el conjunto de los sucesos observados, lo cual estaría dejando por fuera el elemento ontológico que daría lugar o explicaría el porqué de una determinada frecuencia estadística⁴⁴².

⁴⁴⁰ POPPER, Karl citado por GUERREO, Germán en: RIVADULLA, Andrés. Comp. Hipótesis y verdad en ciencia: ensayos sobre la filosofía de Karl R. Popper. Madrid: Editorial complutense S.A., 2004, p. 166.

⁴⁴¹ MILLER, David, comp. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 216.

⁴⁴² MAYO, David. La teoría propensivista como base metafísica para la construcción de una cosmología en el pensamiento de Karl Popper. En: revista Euphyía, agosto 14, 2014, p. 53.

Con vistas a superar aquellas dificultades, Popper⁴⁴³ presentó un ilustrativo ejemplo con el cual impugnó su antigua visión acerca de la probabilidad de los *sucesos singulares*. El autor nos invita a imaginar una serie de lanzamientos efectuados con dos dados: un dado trucado, cuya probabilidad de sacar «6» es de $\frac{1}{4}$, y otro dado que es normal. Ahora supóngase un proceso empírico en el que se lanza tan solo uno de aquellos dos dados en una serie larga de repeticiones, y donde mayormente se lanza el dado trucado, pero donde se efectúa uno o dos lanzamientos con el dado normal. ¿Cuál es la probabilidad de sacar «6»? la primera respuesta que ofrece Popper, es que claramente la probabilidad será diferente a $\frac{1}{4}$, pese a que los lanzamientos de aquel proceso pertenecen mayormente a una secuencia de tiros con una frecuencia de $\frac{1}{4}$. Pero desde una interpretación frecuentista, señaló Popper, ciertamente uno o dos lanzamientos con el dado normal no afectaría la frecuencia de $\frac{1}{4}$, porque en una serie larga de repeticiones de aquel mismo proceso empírico no habría considerables diferencias con la frecuencia que posee el dado trucado. Popper mostró que aquella situación puede resultar —en cierta medida— problemática para la teoría del cálculo de probabilidades. No obstante, reflexionar sobre aquella sencilla circunstancia, también nos puede conducir a fijarnos en que cada secuencia (sea con el dado trucado o con el dado normal) por separado nos otorga una probabilidad diferente, y ello indicaría que para casos como el propuesto debemos considerar aquellas condiciones en que cada secuencia se produce, o como también referencia el autor, su *orden experimental*; pues como afirmó Popper: “al suponer que una secuencia de lances de un dado cargado será diferente de una secuencia de lances con un dado normal, atribuimos la probabilidad a las condiciones experimentales”⁴⁴⁴. De esta manera, Popper efectuó un cambio sustancial con respecto a su antigua perspectiva frecuentista sobre la probabilidad, y que consistió en ver los resultados frecuenciales de un experimento como resultados de las condiciones experimentales repetibles, y no como algo dependiente de los ‘colectivos’ como los entendía Von Mises.

Es así como durante la década de los años 50 del siglo XX, de forma novedosa y ampliamente alternativa, el autor replanteó su postura sobre la probabilidad de *sucesos singulares*, a partir de lo que sería una nueva interpretación del cálculo de probabilidades en recurso de las propensiones, las cuales pueden entenderse como *disposiciones* o *tendencias*, que pueden variar según cambie el *arreglo experimental* (o *situación objetiva*) impuesto a un proceso empírico que es repetible. Al respecto, Popper esbozó su nueva interpretación objetiva de la probabilidad de siguiente manera:

Cada disposición experimental es capaz de producir, si repetimos muy a menudo el experimento, una secuencia con frecuencias que dependen de esta particular disposición experimental. Estas frecuencias virtuales pueden

⁴⁴³ MILLER, David, comp. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p, 216.

⁴⁴⁴ *Ibíd.*, p. 218.

llamarse probabilidades. Pero como sucede que las probabilidades dependen del orden experimental, pueden considerarse propiedades de este orden. Ellas caracterizan la disposición, o la propensión, del orden experimental para hacer surgir ciertas frecuencias características cuando se repite a menudo ese experimento⁴⁴⁵.

A partir de este nuevo enfoque, Popper consideró que podía abordar adecuadamente las probabilidades de un *caso singular*, pues éstas *probabilidades* incuestionablemente indicarían una relación muy estrecha (en cuanto a su razón de ser u origen), con el *arreglo experimental* atribuible a cualquier proceso empírico (repetible). Dicho de otro modo, el *arreglo experimental*, es lo que produce la *razón de ser* de cada una de las probabilidades de los *sucesos singulares*. Asimismo, también podemos concebir la probabilidad singular, como la propensión a que se manifieste cierto suceso específico, bajo ciertas *condiciones generadoras* impuestas por el *arreglo experimental*, pues como afirmó Popper: “las propensiones pueden interpretarse como probabilidades objetivas, singulares. Son singulares en la medida en que son inherentes a la situación experimental que se supone igual en todos los experimentos”⁴⁴⁶. De modo que serían aquellos arreglos, preparaciones o condiciones impuestas a toda la *situación objetiva* del experimento, las que provocarían una *propensión o tendencia* a que ciertos sucesos particulares (o para el caso de la mecánica cuántica ciertos estados de la partícula) predominasen sobre otros sucesos, en los resultados frecuenciales de un proceso empírico repetible. A partir de la interpretación propensivista, se considera factible que la probabilidad de los sucesos singulares, pueda ser medida por medio de las condiciones impuestas a toda la *situación objetiva* del experimento (repetible); aunque para ser más específicos, la probabilidad de los sucesos singulares, podría ser claramente calculada en tanto que podamos identificar aquellas *probabilidades condicionales* que ofrecen las *condiciones generadoras* atribuidas a la *situación experimental*. Este enfoque claramente resulta ser muy diferente al antiguo abordaje concebido por la interpretación frecuencial, en donde la *probabilidad* de los *casos singulares* se planteaba como una situación en la que su frecuencia debía depender necesariamente de una secuencia larga de sucesos o ‘colectivos’; pues desde la perspectiva propensivista lo que interesa es la configuración experimental, que forjaría ciertas condiciones de generación para las frecuencias. Es por ello que Popper afirmó que su nueva interpretación propensivista del cálculo de probabilidades:

[...] difiere de la interpretación puramente estadística o de frecuencia sólo en esto: en que considera la probabilidad como una propiedad característica de la disposición experimental, y no como una propiedad de la secuencia misma. [...] El punto principal de este cambio es que ahora consideramos fundamental la probabilidad del resultado de un solo experimento, respecto de sus condiciones,

⁴⁴⁵ *Ibíd.*, p. 218.

⁴⁴⁶ POPPER, Karl. El universo abierto: un argumento a favor del indeterminismo. Post Scriptum a la lógica de la investigación científica. Vol II. Madrid: Editorial Tecnos, 1994, p. 126-127.

y no respecto de la frecuencia de resultados en una secuencia de experimentos⁴⁴⁷.

La interpretación propensivista de Popper pretende arrojar luz sobre las probabilidades de un *caso singular* a partir del *arreglo experimental* (o situación objetiva) que ostenta un particular proceso empírico; a través de lo que podría denominarse como las *situaciones condicionales* —en referencia implícita a la probabilidad condicional— que manifestaría cualquier determinado *arreglo experimental*, se podría conceder una medida probabilística de la *disposición* o «peso» que tiene cierto específico suceso para acaecer entre otros posibles sucesos, en un experimento repetible. Por lo tanto, contrario a la interpretación frecuencial que considera la probabilidad como una cualidad de la secuencia, la interpretación propensivista considera a la probabilidad como una cualidad del sistema complejo, o de su situación objetiva.

No obstante, Popper pretendió ir más allá en su planteamiento, y en el primer volumen del *Post scriptum: Realismo y el objetivo de la ciencia*, señaló otra crucial diferencia entre su antiguo enfoque frecuencial y su nueva propuesta propensivista, veamos:

[...] la interpretación frecuencial atribuye al suceso único una probabilidad *solamente en la medida en que este suceso único es un elemento de una sucesión de sucesos con una frecuencia relativa*. [...]. Contrariamente a esto, la interpretación propensivista atribuye una probabilidad a un suceso único como representante de una sucesión *virtual o concebible* de sucesos, más como un elemento de una sucesión real⁴⁴⁸.

Es decir, mientras la interpretación frecuencial requiere de procesos empíricos que contribuyan a encontrar una frecuencia relativa, su nueva interpretación propensional pretende elaborar *frecuencias «virtuales»* que puedan dar *razón de ser* a la probabilidad de un suceso singular; en otras palabras, se buscaría reconocer las *tendencias o propensiones* ocultas tras las frecuencias relativas de la naturaleza. Dichas *frecuencias «virtuales»* serían resultados (no derivables de procesos empíricos sino solamente matemáticos⁴⁴⁹) que proporcionarían alguna axiomática conjeturable para la interpretación propensional. En el próximo capítulo dedicado a la mecánica cuántica, se aclarará un poco más éste asunto y algunos otros que también revisten de importancia para la comprensión del estatus *metafísico* de las propensiones en la ciencia física. De momento podemos señalar

⁴⁴⁷ *Ibíd.*, p. 218.

⁴⁴⁸ POPPER, Karl. *La interpretación propensivista. Realismo y el objetivo de la ciencia*. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 326.

⁴⁴⁹ Claramente la forma de hallar axiomáticamente las frecuencias «virtuales» se obtendría de lo que revelaría y enseñaría el análisis de aquellos procesos empíricos repetibles.

que Popper⁴⁵⁰ consideró que cualquier *cambio* representa propensiones, en el sentido de que ellas serían *realizaciones* o *potencialidades* del sistema complejo que con el tiempo va actualizándose; además, el autor sostuvo que las propensiones pueden ser descritas por medio de *frecuencias «virtuales»* o *potenciales*, las cuales se emplearían para conjeturar ciertas tendencias físicas ocultas tras las *frecuencias relativas* de la naturaleza, que varían con el tiempo, y que podrían ser finalmente contrastadas.

Por otro lado, algunos autores como Ian Hacking⁴⁵¹ han señalado cierta anticipación del filósofo C.S. Peirce, a la idea popperiana de propensión. Vale la pena señalar que el mismo Popper⁴⁵² en *Teoría cuántica y cisma en la física*, reconoce una posible y parcial anticipación de Peirce a la idea de propensiones, sin embargo declaró que éste no había desarrollado aquella propuesta en su máxima expresión; Peirce habría dejado a un lado ciertos aspectos importantes como el *aspecto relacional* de las propensiones. Igualmente, el filósofo de la ciencia Tom Settle⁴⁵³ señaló dos principales diferencias entre la versión de Peirce y la de Popper: la primera es que las propensiones en Peirce se le atribuyen a los sistemas, en tanto que considera aquel "potencial" como propiedad de los objetos, independientemente del entorno, mientras que en Popper es atribuible a los complejos del sistema y el entorno; en segundo lugar, la versión de Popper pretende explicar la probabilidad del caso único. El filósofo de la ciencia David Miller en su artículo: "Popper's Contributions to the Theory of Probability and Its Interpretation", afirma que la propuesta propensivista sólo podría atribuírsele adecuadamente a Karl Popper, pues en consonancia con lo dicho anteriormente, en Peirce no existirían aquellos elementos mínimos y necesarios para poder hacer referencia realmente a las propensiones o campo de propensiones en un sentido más completo y disposicional como el que le confiere el autor austriaco. Los elementos teóricos que ofrece la interpretación propensivista de Popper, David Miller los sintetiza en los tres pasos siguientes:

El primer paso abandona el énfasis sobre los colectivos (las secuencias aleatorias) de la interpretación frecuentista, y concibe las probabilidades como manifestaciones de propiedades disposicionales que se atribuyen a los arreglos experimentales estadísticos. Este paso permite a la interpretación frecuentista dar cuenta inobjetablemente de las probabilidades singulares de algunos sucesos individuales. El segundo paso, que es el avance crucial, da primacía a las probabilidades singulares como disposiciones singulares o propensiones, y

⁴⁵⁰ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 175

⁴⁵¹ Véase: HACKING, Ian. Los primeros cálculos. El surgimiento de la probabilidad. Barcelona: Gedisa editorial, 1995, p. 74.

⁴⁵² Véase nota 2 de editor: POPPER, Karl. Probabilidades subjetivas y objetivas. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 322.

⁴⁵³ SETTLE, Tom. Presuppositions of propensity theories of probability. University of Minnesota Press, Minneapolis. Retrieved from the University of Minnesota Digital Conservancy, 1975, p. 392 y 401. Disponible en internet: <https://conservancy.umn.edu/handle/11299/184672>

relega el recurso a las frecuencias relativas a nivel (de ningún modo intrascendente) de contrastación empírica. El tercer paso libera las probabilidades o propensiones singulares de cualquier dependencia de arreglos experimentales o algo similar, y empieza a hacer inteligible atribuir probabilidades no sólo a los sucesos repetidos sino a los sucesos únicos⁴⁵⁴.

A partir de ésta nueva perspectiva propensivista, Popper sugirió en su pequeño libro *Un mundo de Propensiones*⁴⁵⁵, que es posible reinterpretar los procesos que constituyen nuestro mundo de una forma no meramente determinista, pues podrían existir muchas formas de realización de las posibilidades según sea el conjunto situacional en el que se encuentran inmersas, y ellas podrían generar nuevas posibilidades, y a su vez generar otro conjunto de nuevas posibilidades, y así continuamente; nuestro mundo real, en el que hay un constante cambio de posibilidades, o una perpetua *actualización* de las *potencialidades*, sería ciertamente un mundo de propensiones.

Popper también le otorgó a su nueva propuesta interpretativa para el cálculo de probabilidades un sentido más amplio y cosmológico. Esta nueva perspectiva nos permite considerar que las posibilidades no son siempre fijas (o determinadas), dependen de la relación que manifiestan los sucesos, o elementos con todo el conjunto situacional en el que se hallan inmersas; así los procesos del mundo poseen la particularidad de que no siempre manifiesten (a no ser que todas las condiciones permanezcan estables) los mismos fenómenos de forma continua y determinada, pues la naturaleza —consideró Popper— es objetivamente indeterminista, lo cual envuelve la constante apertura a nuevas posibilidades.

3.6.1. Algunos aspectos problemáticos de la interpretación propensivista de Popper

La interpretación propensivista del cálculo de probabilidades de Popper, no está exenta de dificultades y objeciones. Una discusión sobre estas cuestiones implica una ardua y profunda reflexión sobre la *practicidad* y *conceptualización* de los elementos que componen tanto la teoría del cálculo de probabilidades como la interpretación propensivista. Incluso en la actualidad perdura el debate en torno a las propensiones estadísticas y probabilísticas dentro de los círculos intelectuales especializados en el tema. Estas discusiones han propiciado el surgimiento de diversas versiones de la interpretación propensivista; si bien no todas recogen el conjunto de la propuesta popperiana, sí asumen algún elemento importante de aquella propuesta, y por ello la siguen denominando como versiones propensivistas del cálculo de probabilidades.

⁴⁵⁴ MILLER, David. Tres pasos de las frecuencias a las propensiones. En: revista Praxis Filosófica Nueva serie, No. 24, enero-junio, 2007, p. 6.

⁴⁵⁵ POPPER, Karl. Un mundo de propensiones. Madrid: Editorial Tecnos, 1992, p. 38-39.

Donald Gillies⁴⁵⁶ sugiere que una interpretación propensivista es cualquier teoría que intente desarrollar una interpretación objetiva del cálculo de probabilidades, y que a su vez no sea frecuentista; también aboga por una interpretación de ésta que no incurra en la *metafísica*, o en otras palabras que sea más empírica y científica. Por su parte, Tom Settle⁴⁵⁷, ante la diversidad de propuestas propensivistas, sostiene que cualquier teoría de ésta clase sólo será satisfactoria en tanto que haga un adecuado recurso de la *metafísica* para el tratamiento *profundo* de las propensiones. No exponemos las clasificaciones sobre la teoría propensivista que presenta cada uno de éstos dos autores, las anteriores consideraciones, son tan sólo algunos miramientos que se tienen sobre la actual variedad de interpretaciones propensivistas.

Evidentemente, nos interesa especialmente la interpretación popperiana; y si bien, resulta bastante complejo efectuar una descripción detallada de sus imputables problemas, por lo menos es viable hacer alusión a ciertas fracciones del debate que gira en torno a las principales dificultades y objeciones que se le atribuyen a ésta propuesta.

Dicho lo anterior, veamos primeramente lo que sería, no una objeción (en el sentido estricto), sino una dificultad para el respaldo de la interpretación propensivista del cálculo de probabilidades de Popper. Según describe en 1975 el filósofo de la ciencia Tom Settle:

Las teorías propensivistas de la probabilidad son relativamente nuevas en el campo y aún no están ampliamente respaldadas. La antipatía todavía bastante extendida entre científicos y filósofos de la ciencia por considerar que las creencias metafísicas milita en contra de la aceptación de una teoría que está firmemente arraigada en la ontología, e incluso dificultar su comprensión. Los puntos de vista más populares (teorías de la frecuencia, teorías lógicas, teorías subjetivas de la probabilidad) son consistentes con una filosofía positivista que enfatiza lo que se puede experimentar u observar de manera más o menos directa. De esa manera, no son como las teorías de la propensión⁴⁵⁸.

Como vemos, una primera dificultad para el respaldo de la propuesta propensivista de Popper, radica especialmente en el carácter *metafísico* que se les atribuye a las propensiones. Si bien, dicho carácter no sería un problema para un *racionalista crítico* (pues aquellos argumentos metafísicos son susceptibles de discusión racional), sí resulta ser una inmensa dificultad para todo aquel que adopte una

⁴⁵⁶ GILLIES, Donald. The subjective theory. Philosophical Theories of Probability. London: Routledge, 2006, p. 114.

⁴⁵⁷ SETTLE, Tom. Presuppositions of propensity theories of probability. University of Minnesota Press, Minneapolis. Retrieved from the University of Minnesota Digital Conservancy, 1975, p. 388.

⁴⁵⁸ SETTLE, Tom. Presuppositions of propensity theories of probability. University of Minnesota Press, Minneapolis. Retrieved from the University of Minnesota Digital Conservancy, 1975, p. 388-389. La cita ha sido traducida por el autor de la presente monografía.

postura afín al positivismo, o como referencia Settle⁴⁵⁹, para todo aquel que adoptase un *justificacionismo empírico*, el cual pretende validar o justificar las aseveraciones de la ciencia por medio de informes de observación singular. Aunque sabemos que el *positivismo lógico* se acabó como corriente filosófica, al parecer los rasgos de esta postura siguen siendo adoptados y extendidos en la ciencia empírica.

Pero ¿cómo entender el sentido metafísico de las propensiones? Si bien esta pregunta será abordada en el siguiente capítulo, de momento es de considerar que para Settle, al igual que Popper, las propensiones serían metafísicas en tanto que se refieren a *potencialidades* o tendencias físicas *ocultas* de los sistemas en contexto, y en cuanto las mismas, se encuentran enraizadas en una *cosmología* o visión metafísica del mundo. Pero como señaló Settle el *justificacionismo empírico* constantemente se ha opuesto a la idea de *potencias reales*, pues: “la versión dura del justificacionismo empírico siempre ha rechazado las potencias como reales, ya que la potencia es una noción metafísica sin contraparte entre los conceptos de la mecánica de la materia inerte”⁴⁶⁰.

También sobresale una actitud *corriente* por la cual considerar que la interpretación propensivista de Popper es ‘*metafísica*’: sencillamente las propensiones no han sido plenamente contrastadas individualmente. Esta última postura *corriente*, puede recoger las anteriores consideraciones sobre el carácter metafísico de las propensiones más o menos de la siguiente manera: *puesto que las propensiones son asociadas por Popper con frecuencias relativas que derivan del arreglo experimental, y luego el mismo autor también considera que éstas sirven para identificar la propensión a producir ciertas frecuencias potenciales o virtuales que dependen del sistema complejo y su entorno, sucede que, la forma de determinar éstas últimas, y que nos sirvan para describir los eventos singulares, todavía no ha sido del todo detallada matemáticamente, y por ende las propensiones no han sido debidamente contrastadas en la experiencia empírica*. Es en este último sentido que hace hincapié en la ausencia de contrastaciones empíricas, que cualquier presupuesto metafísico de Popper en su teoría propensivista puede parecer demasiado *oscuro* o *innecesario* para aquellos que, desde un principio, exigen evidencias empíricas, o lo que es igual, ‘informes de observación singular’ como las pretendidas por el *justificacionismo empírico*.

Popper previó dicha dificultad y por ello se esforzó enérgicamente tanto por reivindicar el papel de la metafísica (que por cierto, había sido constantemente despreciada por los positivistas lógicos), como por apoyarse en argumentos racionales para desarrollar aquello que denominó su *sueño metafísico*⁴⁶¹ de

⁴⁵⁹ *Ibíd.*, p. 404.

⁴⁶⁰ *Ibíd.*, p. 406. La cita ha sido traducida del inglés por el autor de la presente monografía.

⁴⁶¹ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 188.

contribuir efectivamente a resolver los cismas de la ciencia, y en especial de la física cuántica; claro está, también se esforzó por mostrar que, si bien su propuesta se podría considerar de alguna manera *metafísica* (en el sentido que aquí se ha denominado *corriente*), aquella misma ciertamente podría ser eventualmente desarrollada y, finalmente, contrastada. Como veremos más detalladamente en el próximo capítulo, Popper muestra que las propensiones pueden ser efectivamente contrastadas, pero prefiere atribuir cierto carácter metafísico a las propensiones, por razones no exclusivas a la mencionada *actitud corriente*.

Algunos autores como Donald Gillies⁴⁶² rechazan que las propensiones sean consideradas como metafísicas, ya que parte de las propensiones descritas por Popper pueden ser —al igual lo manifestó el propio autor austriaco— contrastables; pero Gillies también considera que hay propensiones no contrastables y por ende '*metafísicas*', las cuales considera necesario abandonar. Gillies⁴⁶³ escinde el planteamiento propensivista de Popper sobre el cálculo de probabilidades en dos, a los cuales se refiere como el "Popper anterior" y el "Popper posterior". El primero, sería el "Popper" que relaciona las propensiones con condiciones repetibles, mientras que el segundo, o "Popper posterior", sería quien considera que: "las propensiones en la física son propiedades de toda la situación física y, a veces, de la forma particular en que una situación cambia"⁴⁶⁴. De hecho, Gillies también sugiere que hay dos tipos de teorías de propensión: teorías de propensión a largo plazo (que corresponderían al "Popper anterior") y teorías de propensión de caso único (que corresponderían al "Popper posterior"). Gillies se adhiere al primero, y según él mismo señala, David Miller se adheriría al segundo tipo. Ahora bien, dicho lo anterior, podemos entender que Gillies considera que las propensiones (a largo plazo) se refieren a condiciones que pueden ser repetibles, y que, al repetirse aquellas condiciones, se logra obtener frecuencias que pueden emplearse para contrastar una asignación de propensión; es decir, éstas propensiones ciertamente pueden ser contrastadas y por ende Gillies las considera más cercanas a la ciencia. Cosa muy diferente sucedería con ciertas propensiones (de caso único), pues según afirma "si [...] las propensiones se atribuyen a la 'situación completa del universo ... en ese momento', es difícil, en vista del carácter único e irrepetible de esta situación, ver cómo podrían probarse tales asignaciones de propensión"⁴⁶⁵. Para Gillies las especulaciones sobre estas últimas propensiones, debido a su presumible carácter no repetible, les imposibilitaría estar sujetas a una contrastación, y por ende serían

⁴⁶² GILLIES, Donald. The subjective theory. Philosophical Theories of Probability. London: Routledge, 2006, p. 128.

⁴⁶³ *Ibid.*, p. 126.

⁴⁶⁴ *Ibid.*, p. 126. La pequeña frase se ha traducido del idioma inglés por el autor de la presente monografía.

⁴⁶⁵ *Ibid.*, p. 127. También es de considerar que, Gillies escinde las *teorías de propensión de caso único* en: (i) aquellas donde la propensión depende del estado completo del universo en un momento definido, y (ii) aquellas donde, como sugiere Fetzer, la propensión depende de un conjunto completo de condiciones relevantes. La pequeña frase se ha traducido del idioma inglés por el autor de la presente monografía.

'*metafísicas*', y aunque considera que aquellas pudiesen resultar interesantes para discutir cuestiones como el *determinismo*, argumenta que no serían deseables para los intereses de la ciencia.

Por otro lado, consideremos un último planteamiento de David Miller, quien sugiere que la propuesta de Popper no debe ser tildada de *metafísica* sólo porque "los enunciados aislados acerca de propensiones singulares no se pueden contrastar individualmente"⁴⁶⁶, pues por ejemplo —dice aquel mismo autor— en la mecánica clásica "enunciados aislados acerca de las posiciones, velocidades, y aceleraciones instantáneas (relativas) son igualmente inmunes a la contrastación, pero la mecánica clásica es contrastable"⁴⁶⁷.

En resumen, la propuesta propensivista de Popper del cálculo de probabilidades, inicialmente es rechazada por posturas afines al positivismo, las cuales exigen contrastaciones empíricas de las diversas e hipotéticas propensiones, incluyendo, claro está, las propensiones que refieren a casos únicos. No obstante, pese a que dichas contrastaciones aún no han podido ser efectuadas, las propensiones de Popper (o parte de ellas) pueden ser claramente contrastadas en el mundo físico. Por otro lado, aunque Popper le concede un sentido metafísico a las propensiones, aquella no depende exclusivamente del argumento de la actitud *corriente*, pues dicha característica va más allá y resulta ser para Popper y para autores como Settle, una circunstancia fundamental que posibilita entender en *profundidad* las propensiones, y su relación con el objetivismo, el realismo y el indeterminismo. Sin embargo, autores como Gillies consideran que la propuesta propensivista (a largo plazo) o del "Popper anterior", es más científica y empírica, y por ende no 'metafísica'; sugieren relegar enteramente la presunta importancia del carácter metafísico de las propensiones —carácter al cual sólo se refieren como si fuese una circunstancia privativa de la contrastación empírica—, pues aseguran que su interés recae en una interpretación que sirva para la física, la biología y demás ciencias empíricas (algo que por cierto también pretendió Popper, pero sin rechazar a la metafísica).

Por otro lado, en cuanto a las objeciones realizadas a la interpretación propensivista de Popper del cálculo de probabilidades, la filósofa de la ciencia María Carla Galavotti, indicó cuáles son sus dos principales réplicas:

En primer lugar, se enfrenta al problema de clases de referencia similar al que afecta al frecuentismo. Mientras que las atribuciones de caso único dentro de la perspectiva de frecuencia deben basarse en una clase de referencia que contenga todas las propiedades relevantes, las atribuciones de propensión requieren la descripción completa del arreglo experimental; por lo tanto, el problema de identificar un conjunto completo de información se elude, no se

⁴⁶⁶ MILLER, David. Tres pasos de las frecuencias a las propensiones. En: revista Praxis Filosófica Nueva serie, enero-junio, No. 24, 2007, p. 15.

⁴⁶⁷ *Ibid.*, p. 15.

resuelve. Además, como señaló Paul Humphreys, el carácter disposicional de las propensiones, definidas como tendencias a producir ciertos resultados, les confiere una asimetría peculiar que va en la dirección opuesta a la que caracteriza la probabilidad inversa, haciendo la teoría de la propensión inaplicable a la regla de Bayes⁴⁶⁸.

La primera objeción se conoce como *el problema de la clase de referencia*, este problema como vimos en la interpretación frecuencial (véase sección 3.4.1. de la presente monografía), señala una presunta imposibilidad en la determinación de reglas de discriminación objetivas, para seleccionar aquellos sucesos, o *secuencias específicas*, que deben componer las clases de referencia, y los cuales son requeridos para calcular debidamente las probabilidades. No obstante, según la interpretación propensivista, este mismo problema debe ser descrito de otra manera. Para empezar, conviene diferenciar, al igual que Settle⁴⁶⁹ las *secuencias específicas* (*spifying sequences*) de las *condiciones de generación específicas* (*specifying generating conditions*). Las primeras, como se señaló al principio de este párrafo, son un componente del problema al que se enfrentan los frecuentistas, mientras que las *condiciones de generación específica*, son un componente del problema al que se enfrentan los propensivistas, pues éstos últimos para caracterizar a las propensiones, requieren de una entera descripción de las condiciones generadoras, y de todo el contexto del proceso experimental.

Ahora bien, según Settle, el denominado problema de la clase de referencia para los frecuentistas corresponde a la dificultad de especificar las secuencias, pero esto último no resultaría ser un verdadero problema para los propensivistas, ya que ellos están interesados en las *condiciones de generación*, que de encontrarse más o menos bien elaboradas, posibilitarían presumir aquellas *secuencias*. El problema para los propensivistas sería de otro tipo, tendrían que especificar adecuadamente las *condiciones de generación* que posee cierta configuración experimental, lo cual implicaría una dificultad práctica, que es la de interpretar apropiadamente las pruebas experimentales para efectuar aquellas especificaciones requeridas, ya que podrían existir ciertos factores de las condiciones de generación que se omiten, y que luego podrían incluirse, lo cual generaría diferentes rangos de miembros posibles para la especificación, y ello es lo que dificultaría interpretar las observaciones del proceso experimental. Para Settle⁴⁷⁰, el problema de la clase de referencia en la interpretación propensivista remite a la dificultad de interpretar adecuadamente el experimento empírico. Por otro lado, resulta interesante señalar que Settle, en contra de las afirmaciones del filósofo de la ciencia Ronald Giere, insiste en que el problema de la clase referencia de ningún modo implica la negación de la probabilidad de un caso único; según Settle, Giere habría basado su

⁴⁶⁸ GALAVOTTI, María. The Interpretation of Probability: Still an Open Issue?. *Philosophies*, 2(3), 20, 2017, p. 7. La cita ha sido traducida del inglés por el autor de la presente monografía.

⁴⁶⁹ SETTLE, Tom. Presuppositions of propensity theories of probability. University of Minnesota Press, Minneapolis. Retrieved from the University of Minnesota Digital Conservancy, 1975, p. 396.

⁴⁷⁰ *Ibid.*, p. 396-397.

consideración en malinterpretaciones, como el haber confundido las *condiciones de generación específica* con las *secuencias específicas*.

Recordemos que Galavotti⁴⁷¹ consideró que los problemas de la interpretación frecuencial, entre ellos el problema de la clase de referencia, no son realmente resueltos por Popper, sino que simplemente son desplazados a su interpretación propensivista. Asimismo, Galavotti consideró que el problema de la clase de referencia de la interpretación propensivista, es análogo al que manifiesta la interpretación frecuencial. La autora⁴⁷² distinguió que para la interpretación de Popper, las propensiones deben basarse en la descripción completa de las condiciones generadoras y del sistema experimental, pero insiste en que el problema de la clase de referencia, es semejante (o análogo) para ambas interpretaciones, en tanto que las dos requieren identificar un conjunto completo de información; dicha información requerida para el caso de los frequentistas serían las propiedades relevantes o *secuencias*, y para el caso de los propensivistas sería la descripción completa de situación experimental o de las *condiciones generadoras*.

Por último, en cuanto se refiere a esta primera objeción, el filósofo de la ciencia Alan Hájek, de forma similar a Donald Gillies, consideró que la interpretación propensivista se puede dividir en dos: una versión que recurre a la frecuencia y que por ende reclama frecuencias relativas para caracterizar las propensiones, y otra versión que no recurre a la frecuencia, porque se *relativiza* a las propensiones según las condiciones de una configuración experimental. Según Hájek, la primera versión heredaría inmediatamente de los frequentistas el problema de la clase de referencia; los segundos, aseguró también enfrentarían aquel problema, aunque de una manera menos obvia. Dentro de ésta segunda clase no frecuencial, según afirmó Hájek⁴⁷³, también existirían versiones que en apariencia no enfrentan el problema de la clase de referencia, como la versión de David Miller que *relativiza* las propensiones a un momento dado de 'la situación del universo'; según Hájek éste último tipo de propuestas no dirían realmente mucho, pues no explicarían cómo las propensiones dependen de ciertas cosas, y para mostrar su insatisfacción hacia estas, al igual que lo hace con otras interpretaciones del cálculo de probabilidades, las considera teorías sin teoría (*no-theory theories*). Asimismo, resulta interesante tener presente que para Alan Hájek⁴⁷⁴ el denominado problema de la clase de referencia, no solo es un problema para la interpretación propensivista, sino también para las demás principales interpretaciones del cálculo de probabilidades, pues las interpretaciones clásicas, lógicas, frequentistas y subjetivistas, todas ellas también sufren variantes del problema de la clase de referencia.

⁴⁷¹ GALAVOTTI, María. The Interpretation of Probability: Still an Open Issue?. *Philosophies*, 2(3), 20, 2017, p. 10.

⁴⁷² GALAVOTTI, María. Probability Theories and Organization Science: The Nature and Usefulness of Different Ways of Treating Uncertainty. *Journal of Management*. Vol. 41 No. 2, February 2015, p. 752.

⁴⁷³ HÁJEK, Alan. The reference class problem is your problem too. *Synthese*, 24 March 2007, p. 576.

⁴⁷⁴ *Ibid.*, p. 564.

Como se dijo antes, el debate sobre esta cuestión es bastante complejo y de hecho aún continúa dentro de los círculos especializados en el tema; por ahora solo se ha hecho mención aquí a unos cuantos aspectos o parcelas del problema. Para quienes estuviesen interesados en profundizar esta primera objeción puede ser adecuado revisar las siguientes lecturas: el tercer apartado titulado: “Giere versus Popper: The Problem of the Single Case” del artículo: “Presuppositions of Propensity Theories of Probability” de Tom Settle, y el artículo de Alan Hájek: “The reference class problem is your problem too”.

En cuanto a la segunda objeción antes señalada, conocida como *la crítica de Humphreys* o *paradoja de Humphreys*, esta indicaría una contradicción entre la interpretación propensivista y el sistema axiomático del cálculo de probabilidades tradicional. Resulta que las propensiones además de recurrir a frecuencias relativas en forma de probabilidad condicional $p(a,c)$ del cálculo de probabilidades, también presupondrían una direccionalidad temporal en el orden causal de los eventos, y cómo explica David Miller: “[...] se entiende p como una medida de la intensidad del vínculo causal de c a a (como sugirió Popper, [...], y muchos otros), debido a que la causalidad tiene una dirección temporal, pero el formalismo de la probabilidad no; la probabilidad relativa $p(a,c)$ está bien definida aun cuando el suceso c sea posterior al suceso a ”⁴⁷⁵. De ser correcta *la crítica de Humphreys*, se muestra bastante problemático considerar que las propensiones puedan corresponder a una axiomática estándar del cálculo de probabilidades como la propuesta por Kolmogorov, en el cual sí se consienten las probabilidades condicionales inversas (es decir, la regla de Bayes, también denominada regla de la probabilidad inversa). Sin embargo, el propio Paul Humphreys, supuso que la interpretación propensivista debiese obedecer un cálculo de probabilidades no *estándar* (es decir, diferente a la axiomática de Kolmogorov) en el que no se considere que las propensiones deban coincidir con las probabilidades inversas.

El profesor Horacio Abeledo⁴⁷⁶, en su muy breve artículo: “La interpretación propensional de la probabilidad”, efectúa una muy concisa descripción de esta objeción y su debate. En lo concerniente a la objeción, *la crítica de Humphreys* o *paradoja de Humphreys*, es ilustrada a partir del siguiente ejemplo, veamos:

Si la probabilidad condicional de B dado A se interpreta como la propensión a generar la situación B que posee el sistema en estudio en el momento de la situación A, ¿qué interpretación podríamos darle a la probabilidad condicional inversa? [...] Recordemos la expresión: $P(A|B) = P(B|A) \cdot P(A)/P(B)$, válida en

⁴⁷⁵ MILLER, David. Tres pasos de las frecuencias a las propensiones. En: revista Praxis Filosófica Nueva serie, No. 24, enero-junio, 2007, p. 17.

⁴⁷⁶ ABELEDO. Horacio. La interpretación propensional de la probabilidad. En: Epistemología e historia de la ciencia; selección de trabajos de las XV jornadas volumen 11, Tomo 1, 2005. Según este autor las propensiones no podrían ser probabilidades en el mismo sentido formal de Kolmogorov.

el cálculo probabilístico *standard* y consideremos este ejemplo: *A es el disparo de Filberto hacia el arco contrario cuando falta medio minuto para el final del partido en situación de empate; B es el triunfo del equipo de Filberto*. $P(B|A)$, la probabilidad de que el equipo de Filberto gane el partido dado que Filberto dispara hacia el arco, etc.... puede interpretarse propensionalmente (en forma algo laxa y simplificada) como la propensión que tiene la pelota a entrar en el arco cuando Filberto patea. ¿Será la probabilidad inversa, $P(A|B)$ la propensión que tiene la pelota que ya entró al arco a haber sido pateada por Filberto? ¿O la propensión que tiene el mundo, una vez definido el resultado como un triunfo del equipo de Filberto, a que Filberto haya pateado al arco medio minuto antes? Propuestas como éstas no parecen aceptables, y por ello concluye Humphreys que la interpretación propensional debería corresponder a un cálculo probabilista no *standard*, en que, por ejemplo, no hubiera lugar a estas probabilidades inversas⁴⁷⁷.

En cuanto al debate, según alecciona Horacio Abeledo, por un lado, tenemos autores como el propio Humphreys, Fetzer y Nute, quienes estarían a favor de un cálculo de probabilidades no *estándar* que no sentencie u obligue al abandono de la interpretación propensional del cálculo de probabilidades; en otras palabras, se considera que la interpretación propensionista de la probabilidad debería satisfacer un cálculo de probabilidades no *estándar*. Por otro lado, tendríamos otro tipo de autores como Milne, que recoge la crítica de Humphreys, pero buscando beneficiar una posición contraria a la de este. En el mencionado artículo, Abeledo⁴⁷⁸ también indica concisamente las diferentes actitudes empleadas frente a dicho problema. Cabe señalar que, como manifestó David Miller⁴⁷⁹, dicha problemática, aún se discute sin que haya un consenso.

Para concluir, es de resaltar que la discusión acerca de la interpretación propensionista del cálculo de probabilidades de Popper, y de sus objeciones, ha incentivado la creación de diversas versiones de esta propuesta, en donde encontramos versiones como las de Mario Bunge, Hugh Mellor, Ronald Giere, Fetzer, David Miller, Donald Gillies, Paul Humphreys, Tom Settle, Patrick Suppes y Wesley Salmon, entre otros.

⁴⁷⁷ *Ibíd.*, p. 16.

⁴⁷⁸ Según Horacio Abeledo, a partir de la crítica de Humphreys las siguientes son las actitudes más notorias sobre las propensiones: "a. Autores que aceptan la crítica y proponen abandonar el cálculo probabilístico *standard*. b. Autores que aceptan la crítica para ciertos tipos de teorías propensionales y proponen teorías propensionales alternativas que puedan sortear la crítica. Entre éstos, quienes proponen abandonar las propensiones para caso único. c. Autores que aceptan la crítica y proponen abandonar las propensiones. d. Autores que aceptan la crítica para ciertas formas de teorías propensionales y proponen teorías que incluyen chances objetivas (que pueden o no denominar también propensionales) pero no tienen supuestos causales o disposicionales". En: *Ibíd.*, p. 17.

⁴⁷⁹ MILLER, David. Tres pasos de las frecuencias a las propensiones. En: revista *Praxis Filosófica Nueva serie*, enero-junio, 2007, p. 17.

CAPÍTULO 4: MECÁNICA CUÁNTICA Y LAS PROPENSIONES FÍSICAS

4.1. MECÁNICA CUÁNTICA

La mecánica cuántica, o teoría de cuantos, es una teoría de la física que describe el comportamiento de la naturaleza en su escala más pequeña, en la que se hallan, por ejemplo, objetos atómicos y subatómicos como lo son las partículas, los átomos, los fotones, etc. No obstante, hoy en día resulta necesario precisar que:

“[...] en realidad hoy se conocen incluso varios ejemplos de ‘macro-objetos’ (como láseres, superconductores, superfluidos) que necesitan de la teoría cuántica para ser tratados adecuadamente”⁴⁸⁰.

Es de conocimiento común, que la mecánica cuántica posee un formalismo propiamente distinguido, que ha servido especialmente —y con un extraordinario poder— para predecir el comportamiento de los sistemas que se encuentran en los niveles microfísicos de la naturaleza. Sin embargo, pese al enorme éxito de su formalismo, hasta el momento no se ha logrado una interpretación unívoca de sus fundamentos. Así lo detalla el filósofo de la física Alberto Clemente:

La mecánica cuántica ocupa un lugar único en la historia de la física por tener un formalismo perfectamente definido que ha resultado extremadamente exitoso para predecir el comportamiento de sistemas físicos tan variados como partículas elementales, núcleos, átomos, moléculas, sólidos cristalinos, semiconductores y superconductores, etc., pero, a pesar de los serios esfuerzos hechos durante más de medio siglo por científicos de indudable capacidad como Bohr, Heisenberg, Einstein, Planck, De Broglie, Schrödinger y muchos otros, no se ha logrado aún que todos los símbolos que aparecen en el formalismo tengan una interpretación sin ambigüedades y universalmente aceptada por la comunidad científica⁴⁸¹.

Debemos entender que la teoría de la mecánica cuántica no tiene una sola interpretación que pretenda explicar cada uno de los elementos formales que contiene la teoría, sino que esta posee diversas interpretaciones.

⁴⁸⁰ CHIARA, Dala y DI FRANCIA, G. Toraldo. El enigmático mundo de los *cuantos*. Confines: introducción a la filosofía de la ciencia. Barcelona: Editorial Crítica, 2001, p. 137.

⁴⁸¹ DE LA TORRE, Alberto Clemente. Sistemas físicos. Física cuántica para filo-sofos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica (La ciencia para todos), 2000, p. 24.

4.1.1. Consideraciones preliminares de Popper sobre la teoría cuántica

Sobre esta particular situación Karl Raimund Popper manifestó en el tercer volumen del *Post scriptum: Teoría cuántica y el cisma en la física*, que la generación de físicos posterior a la de los pioneros de la teoría cuántica tendieron a ver dicho problema de la interpretación de la mecánica cuántica como un pseudoproblema filosófico y no precisamente como un problema físico. Pese a que la discusión estuvo presente intensamente por aquel entonces, y que por cierto aún persiste, el autor austriaco afirmó que en general la mayoría asumía que no era un problema ni del formalismo matemático ni de su aplicación. Además, según informó Popper, él no estaba propiamente interesado en cuestionar si era acertada o no la formalización matemática de la mecánica cuántica; le interesaba casi en exclusividad, el examinar las diferentes consecuencias lógicas que procedían de las interpretaciones que de ella se realizaban.

En la bibliografía de Popper resulta evidente que él no rechazó en ningún momento que la teoría cuántica sea una poderosa e importante teoría de la física. Pero claramente manifestó una vehemente oposición a las concepciones *instrumentalistas, antirrealistas y subjetivistas*, que consideró encontrar fácilmente en la *interpretación de Copenhague*. A su juicio, a partir de esta interpretación estándar la probabilidad termina siendo interpretada erróneamente, como una derivación que surge del “indeterminismo cuántico” que resultaría de ciertas *limitaciones* a nuestro conocimiento (principio de incertidumbre de Heisenberg), y que esto finalmente conduce a erróneas consideraciones interpretativas según las cuales, la conciencia del observador cumpliría un papel determinante en la constitución misma de la realidad microfísica.

Si bien la teoría cuántica posee múltiples interpretaciones, es de nuestro particular interés el comprender la interpretación propensivista de Karl Popper de la mecánica cuántica, fundamentalmente, a través de su crítica a la propuesta interpretativa más aceptada y popular en el campo de la teoría cuántica, la cual es, la interpretación de Copenhague.

Para dicho examen interpretativo, resulta provechoso comprender, por un lado, algunos elementos de la teoría cuántica y, por otro lado, los postulados de la interpretación de Copenhague con plena independencia de los argumentos críticos de Popper. Una vez comprendido aquello, o por lo menos parcialmente comprendidos los aspectos más notorios y cruciales de la teoría cuántica y de aquella interpretación ortodoxa, habremos obtenido cierto bagaje conceptual propicio para ahondar en cada una de las diferentes críticas formuladas por Popper y que a su vez revelan los planteamientos de su propuesta propensivista de la mecánica cuántica.

4.1.2. Breves aspectos sobre la teoría cuántica

En el famoso curso de lecciones de introducción a la física del profesor R. P. Feynman, que fue impartido a principios de la década de los 60, el físico indicó algunos aspectos que diferenciarían la física clásica, de la mecánica cuántica, entre ellos se encuentra que:

- El comportamiento de los objetos macrofísicos, es diferente al comportamiento de los objetos microfísicos.
- En la física cuántica no se puede saber de forma simultánea la posición de un objeto y la velocidad a la que se mueve. El profesor y físico afirmó: “la indeterminación del *momentum* y la indeterminación de la posición son complementarias y el producto de ambas es constante. Podemos escribir la ley así: $\Delta x \Delta p \geq \hbar$ ”⁴⁸². La anterior la fórmula se conoce como la ecuación de Heisenberg.
- En la física cuántica: “no es posible predecir *exactamente* qué sucederá en cualquier circunstancia”⁴⁸³. Según Feynman ante las mismas condiciones impuestas no siempre sucede lo mismo: “el hecho es que no sucede la misma cosa, sólo podemos encontrar un promedio, estadístico, de lo que sucede”⁴⁸⁴. Igualmente, Feynman aseguró que no existen —estrictamente hablando— condiciones repetibles, ya que cada observación puede ser diferente en tiempo y lugar, pero también afirmó⁴⁸⁵ que las observaciones “repetidas” que se emplean en la probabilidad, deben parecer *equivalentes* para los fines empleados.
- Según Feynman, una de las consecuencias de la mecánica cuántica es que las cosas que se consideraban ondas también se comportan como partículas y viceversa. Afirmó: “no existe distinción entre ondas y partículas. Así la mecánica cuántica unifica la idea de campo y sus ondas y la de partículas, todo en una”⁴⁸⁶.

Se advierte que las anteriores consideraciones de Feynman sobre la teoría cuántica, involucran —en cierta medida— algunos aspectos que son de por sí interpretativos. De hecho, no existe una línea enteramente clara y delimitante, entre lo que es la teoría y la interpretación que se hace de aquella, aunque sabemos —al igual que lo señaló Popper— que la teoría enfatiza principalmente lo formal, y que la interpretación es aquello que asigna referentes teóricos e interpretativos a los elementos axiomáticos de la teoría.

No sobra decir que, en de los planteamientos de Feynman subyacen diferentes elementos acerca de su concepción sobre lo qué es la probabilidad; **su primera**

⁴⁸² FEYNMAN, Richard. Física. Volumen 1: Mecánica, Radiación y Calor. México D.F: Addison Wesley Longman, 1998, p. (2-8).

⁴⁸³ *Ibíd.*, p. (2-8).

⁴⁸⁴ *Ibíd.*, p. (2-9).

⁴⁸⁵ Véase: *Ibíd.*, p. (6-2).

⁴⁸⁶ *Ibíd.*, p. (2-9).

consideración sobre la probabilidad descrita en el primer volumen de *Lectures*, es que la probabilidad es una conjetura que empleamos cuando “deseamos hacer un juicio, pero tenemos una información incompleta o un conocimiento incierto”⁴⁸⁷, y un poco más adelante, en aquel mismo pasaje, también afirmó: “la probabilidad depende [...] de nuestro conocimiento y de nuestra habilidad para hacer estimaciones. [...] las probabilidades no necesitan ser números ‘absolutos’. Ya que dependen de nuestra ignorancia, pueden llegar a ser diferentes si nuestro conocimiento cambia”⁴⁸⁸. En dicho sentido, para el físico en mención, al igual que para Heisenberg⁴⁸⁹ y Bohr, subsistieron algunos elementos interpretativos que son conformes con una interpretación subjetiva de la probabilidad.

No obstante, Feynman en otras de sus afirmaciones, también surtió muestras de adoptar elementos interpretativos que son cercanos a la postura objetiva de la probabilidad de Popper. Feynman en su libro *El carácter de la ley física* (1965), luego de reflexionar las diferentes situaciones que se presentan en el experimento de las dos ranuras indicó una **segunda consideración sobre la teoría de la probabilidad** que se contrapone a la primera consideración, y donde sentencia lo siguiente: “no es nuestra ignorancia de los mecanismos internos y sus innumerables complicaciones lo que hace que la naturaleza parezca tener carácter probabilístico. Parece ser algo intrínseco a ella”⁴⁹⁰. En este pasaje Feynman parece adoptar elementos interpretativos (o una postura) donde la probabilidad no es algo causado por la *nesciencia*. Y como sabemos, para el filósofo austriaco la probabilidad no sería fruto de la *nesciencia*, sino algo que obedece a una situación real y objetiva, y capaz de expresar formalmente el indeterminismo que es circunstancia cosmológica de la propia naturaleza. En aquella medida, Feynman en aquel texto —al parecer— estaría disintiendo de ciertos elementos interpretativos de Heisenberg y Bohr. Retomaremos este asunto en la sección 4.1.3.1. de la presente monografía.

Sin embargo, se aclara que en la presente monografía no entraremos a explorar en profundidad la consistencia de las diversas y múltiples afirmaciones de Feynman, las cuales, como se ha señalado, algunas afirmaciones parecen favorecer una postura subjetiva de la probabilidad, y otras no tanto; lo cierto es que haría falta un estudio de mayor profundidad para determinar si Feynman cambió de parecer, o si en él persistió una mezcla interpretativa. No sobra decir que Popper en el tercer volumen del *Post Scriptum* indicó la existencia de posturas que adoptan una mescolanza de elementos subjetivos y objetivos en la teoría de probabilidad para la mecánica cuántica; este quizá sea el caso. De momento, mencionamos que el

⁴⁸⁷ *Ibíd.*, p. (6-1).

⁴⁸⁸ *Ibíd.*, p. (6-2).

⁴⁸⁹ En la descripción de la segunda tesis del *Post Scriptum* en la sección 4.3.3. de la presente monografía, se cita al propio Heisenberg, y se muestra cómo se adhiere a una interpretación subjetiva de la probabilidad.

⁴⁹⁰ FEYNMAN, Richard. *El carácter de la ley física*. Barcelona: Tusquets Editores, S.A., 2005, p. 161.

profesor y sacerdote jesuita John Auping Birch⁴⁹¹, quien realizó estudios de física y matemáticas en la universidad Iberoamericana, en su libro *Una revisión de las teorías sobre el origen y la evolución del universo*, indicó cierta afinidad teórica entre algunos planteamientos matemáticos de Feynman con la interpretación objetiva e indeterminista de Popper; pero este autor no entra en mayor discusión sobre algunos planteamientos interpretativos que realizó Feynman, en torno a la teoría de la mecánica cuántica, y que resultan problemáticos desde la perspectiva interpretativa del filósofo austriaco. Un análisis de esto resultaría extenso, y nos alejaría de nuestro propósito principal. Nuestro interés recae especialmente en la teoría de Popper y en su crítica a la interpretación de Copenhague que fue amparada por Bohr y Heisenberg. Es por ello que se aclara que, solo aprovecharemos las descripciones generales de Feynman y la descripción que realizó del experimento con dos ranuras, para obtener una idea general de la teoría de la mecánica cuántica, antes de pasar a señalar las principales particularidades de la interpretación más popular que se hace de ella, la cuál es la interpretación ortodoxa, estándar o de Copenhague. (Aunque en la sección 4.1.3.1. de la presente monografía, entraremos un poco a considerar ciertas afirmaciones interpretativas de Feynman).

4.1.3. El experimento de las dos ranuras

Como argumentó Feynman en sus *Lectures*, las peculiaridades de la física cuántica emanan principalmente de los misteriosos y enigmáticos fenómenos que ocurren en el experimento de las dos rendijas. Según consideró Feynman⁴⁹², si bien no se puede *explicar* el misterio cuántico en el sentido de una *explicación profunda* del fenómeno cuántico (o en el sentido de ¿qué mecanismo subyace?), si es posible expresar una descripción de cómo funciona. Para proceder a indicar la manera en que funcionan los fenómenos de la mecánica cuántica —pese a que no hay una explicación profunda de los mismos—, resulta provechoso seguir a Feynman en el develamiento de cómo funcionan primeramente las partículas y las ondas en el mundo clásico, y sólo después de entender aquello, entrar a considerar lo extraño que ocurre en los niveles subatómicos o microfísicos de la naturaleza. A continuación, veremos el experimento de las dos ranuras con base en la descripción que efectuó el profesor y físico Richard Feynman.

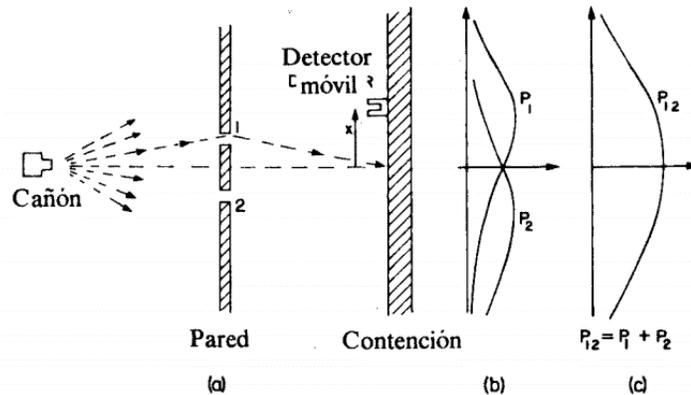
⁴⁹¹ Véase: AUPING, John. *Una revisión de las teorías sobre el origen y la evolución del universo: física, metafísica, ciencia ficción y (a)teología en la cosmología antigua y moderna*. Mexico D.F: Universidad Iberoamericana, 2009, p. 445.

⁴⁹² Véase: FEYNMAN, Richard. *Física. Volumen 1: Mecánica, Radiación y Calor*. México D.F: Addison Wesley Longman, 1998, p. (37-2). Y FEYNMAN, Richard. *El carácter de la ley física*. Barcelona: Tusquets Editores, S.A., 2005, p. 159.

- **Las partículas como proyectiles:**

Consideremos en primer lugar el caso de un cañón o ametralladora que dispara ráfagas de proyectiles con un intervalo angular bastante amplio; tal y como se ve en la siguiente figura:

Figura 6: Experimento con proyectiles.⁴⁹³



Como se ve en la imagen, hay dos paredes: en la primera pared hay dos agujeros por donde pueden atravesar los proyectiles y en la segunda pared, que es de contención, finalmente impactarían los proyectiles que atravesaron la primera pared. En esta última pared, que es de contención, se ubica un objeto movable que sirve para detectar aquellos proyectiles que lo alcanzan. Aquel detector sería movable en una dirección denominada x (en la imagen la dirección-x se ve vertical), y gracias a ese objeto podríamos saber cuántos proyectiles atravesaron su caja. Pues bien, según Feynman con el detector:

[...] podemos encontrar experimentalmente la respuesta a la pregunta: “¿Cuál es la probabilidad de que un proyectil que atravesase los agujeros en la pared llegue a la contención a una distancia x del centro?” [...] tenemos que hablar de probabilidad, ya que no podemos decir en forma definitiva a donde irá un proyectil en particular. [...] Por “probabilidad” queremos decir la posibilidad de que el proyectil llegue al detector, que podemos medir contando el número que llega al detector en un cierto tiempo, y luego haciendo el cociente entre este número y el número total que golpea la contención durante ese tiempo⁴⁹⁴.

Este caso experimental debe suponerse idealizado en la medida en que los proyectiles no se fragmentarían y llegarían enteros al detector o a la pared de contención. Ahora bien, si tenemos abierto únicamente el agujero 1 de la primera

⁴⁹³ La presente imagen, y las siguientes tres imágenes sobre experimentos con ranuras, son extraídas del primer volumen de física de Feynman. En: *Ibíd.*, p. (37-3 al 37-9)

⁴⁹⁴ *Ibíd.*, p. (37-3).

pared, entonces los proyectiles llegarían en forma de gránulos a la pared de contención y obtendríamos —gracias al detector— la curva P_1 en la parte (b) de la imagen; y en caso de tener abierto únicamente el agujero 2, de forma similar obtendríamos la curva P_2 también de la parte (b) de la imagen. Pero en caso de tener ambos agujeros abiertos, obtendríamos la curva P_{12} de la parte (c) de la imagen. Al respecto, nótese que la curva P_{12} representa la probabilidad de que el proyectil provenga del agujero 1 o del agujero 2, y que dicha probabilidad adquiere su máximo valor justo en el medio de ambos agujeros o siendo específicos en $x=0$. Además, al comparar las partes (b) y (c) de la gráfica, se obtiene que:

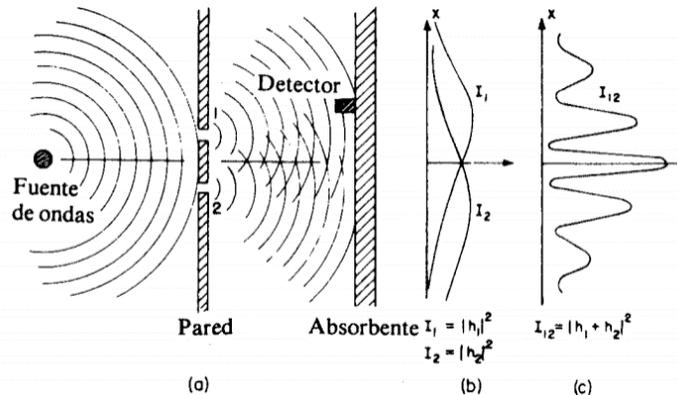
$$P_{12} = P_1 + P_2$$

Aquí lo importante de identificar es que la probabilidad con ambos agujeros abiertos (P_{12}), es igual a sumar las probabilidades individuales de cada uno de los agujeros por separado. Es decir, aquí **no hay interferencia**.

- **Las ondas en agua:**

Nuevamente consideremos otro proceso experimental, pero con ondas en agua, como se ve en la siguiente figura:

Figura 7: Experimento con ondas en agua



Las condiciones son —en cierta medida— similares al anterior caso experimental, pero esta vez todo se encuentra en un recipiente con poca agua. Asimismo, hay dos paredes con las mismas especificidades, pero en vez de un cañón, tenemos una fuente de ondas que vibra hacia arriba y abajo gracias a un pequeño motor; para no complicar las cosas, Feynman nos invita a imaginar que la segunda pared posee un “absorbente” que impide la reflexión de las ondas. Y en cuanto al detector, aquel mediría la “intensidad” de las ondas.

En este nuevo proceso no se podría afirmar que hay “granulación” de la intensidad de la onda; la intensidad podría ser de cualquier tamaño, y, por ende, poseer cualquier valor.

Ahora bien, cuando tenemos únicamente el agujero 1 abierto, obtenemos la curva I_1 en la parte (b) de la grafica, y análogamente, cuando tenemos únicamente el agujero 2 abierto, obtenemos la curva I_2 en la parte (b) de la grafica. Pero cuando tenemos ambos agujeros abiertos, obtenemos la interesante curva de intensidad I_{12} en la parte (c) de la gráfica. Como vemos, dicha curva fluctúa entre varios niveles. Para comprender un poco más por qué se obtiene aquella curva fluctuante I_{12} , es necesario comprender que en los lugares donde la curva tiene su máximo, las ondas estarían “en fase” y los máximos de las ondas se sumarían para dar amplitud (es decir, habría una “interferencia constructiva” de las ondas en aquellos lugares). Por otro lado, en aquellos lugares donde las ondas alcanzan al detector en un “fuera de fase”, afirmó Feynman: “el movimiento ondulatorio en el detector será la diferencia de las dos amplitudes”⁴⁹⁵; aquellas ondas “interferirían destructivamente”, generando valores bajos en la intensidad de la onda. De lo anterior, luego de ciertos procedimientos formales que indica el físico, y omitiendo la constante de proporcionalidad, se puede obtener que:

$$I_1 = [h'_1]^2, \quad I_2 = [h'_2]^2, \quad I_{12} = [h'_1 + h'_2]^2$$

$$I_{12} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta$$

donde δ es el desfase entre h'_1 y h'_2 .

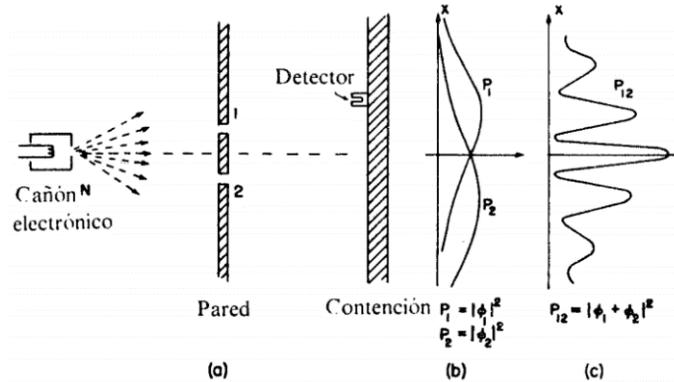
Aquí lo importante es considerar que $I_{12} \neq I_1 + I_2$, de modo que las probabilidades no son aditivas, y, por ende, encontramos que **hay interferencia**.

- **Experimento con electrones:**

Luego de considerar lo que sucede con las partículas y ondas clásicas, se puede considerar qué sucedería con las partículas subatómicas como los electrones. Imaginemos esta vez una lámpara con filamentos de tungsteno que al calentarse pueden emitir electrones, tal y como se muestra en la siguiente imagen:

⁴⁹⁵ Ibid., p. (37-5).

Figura 8: Experimento con electrones



Consideremos que los electrones serían emitidos con una energía aproximadamente igual y que el detector es un contador geiger que hace sonar en un altoparlante “clic” cada vez que se detecta un electrón. Feynman llamó la atención sobre la “igualdad” de todos los “clic” que informan auditivamente sobre la llegada de un electrón al detector, incluso, aunque pudiesen escucharse de forma errática, sería posible establecer una *frecuencia media* de los “clic” para cierto intervalo de tiempo. Puesto que todos los “clic” suenan igual, es decir, con la misma intensidad sonora, habría que concluir que los electrones llegan en gránulos enteros a la contención. Además, según Feynman: “la probabilidad con la cual los “gránulos” llegan a un x particular es proporcional a la frecuencia media de los clic en ese x ”⁴⁹⁶.

Ahora bien, como se puede observar, el resultado del experimento con los dos agujeros abiertos, genera la curva P_{12} de la parte (c) de la imagen. De modo que para las partículas resulta que $P_{12} = I_{12}$. Por consiguiente, se emitieron partículas, pero se produce un patrón de interferencia similar a lo que sucedió en el proceso previamente señalado con las ondas. Es decir, las partículas subatómicas mostrarían que **pueden interferir**, como si se tratase de ondas. Feynman afirmó: “los electrones llegan en gránulos como partículas y la probabilidad de llegada de esos gránulos está distribuida como la distribución de la intensidad de la onda. En este sentido es que los electrones se comportan ‘algunas veces como una partícula y algunas veces como onda’”⁴⁹⁷.

- **Experimento con electrones (observándolos):**

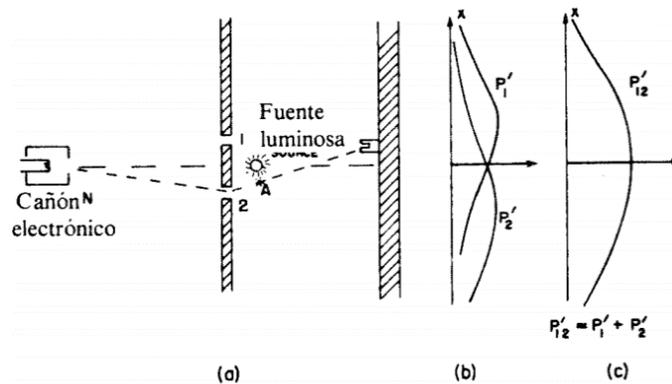
Para indagar por qué ocurre aquel extraño suceso en el comportamiento de los electrones, supongamos que cada uno de los gránulos que impacta en la segunda pantalla, solamente puede pasar por uno de los dos agujeros, y ubiquemos una

⁴⁹⁶ *Ibíd.*, p. (37-7).

⁴⁹⁷ *Ibíd.*, p. (37-9).

fuente de luz detrás del primer muro, que genere un destello de luz en la proximidad del agujero por donde pasa el electrón, tal y como se muestra en la siguiente y última imagen:

Figura 9: Experimento con electrones (más fuente de luz)



¿Qué sucede? Cada vez que escuchamos un “clic” que informa sobre la llegada de un electrón al detector de la contención, también se observa un destello de luz, bien sea en la proximidad del agujero 1, o en la proximidad del agujero 2, pero no ambas al tiempo. De esta observación —Feynman afirmó— se concluye que, al observar el electrón, él pasaría sólo por uno de los dos agujeros.

Además, podemos tabular por columnas los “clic” que pasan por el agujero 1, y aquellos que pasan por el agujero 2, y al calcular la probabilidad de que el electrón que llega al detector pase por el agujero 1 (esto es P'_1) y la probabilidad de que el electrón que llega al detector pase por el agujero 2 (esto es P'_2), obtenemos las curvas P'_1 y P'_2 que vemos en la parte (b) de la anterior imagen. Si nos fijamos en el anterior resultado, es el mismo que cuando tapamos el agujero 2 y obtenemos P_1 , y cuando tapamos el agujero 1 y obtenemos P_2 , de la parte (b) de cuando se lanzaban proyectiles clásicos. Pero, en este último experimento ¿cuál es la probabilidad total, es decir, la probabilidad de que el electrón que llega a la contención pase por cualquier agujero? La respuesta es que la probabilidad total, o $P'_{12} = P'_1 + P'_2$. De modo que, cuando tratamos de ver por cuál agujero pasan los electrones **no obtenemos ninguna interferencia**. Es decir, sin luz obtenemos P_{12} de la penúltima imagen, en donde hay interferencia, pero con luz obtenemos P'_{12} de la última imagen, donde no hay interferencia. Al respecto, Feynman afirmó: “debemos concluir que cuando observamos los electrones, su distribución sobre la pantalla es diferente que cuando no los observamos”⁴⁹⁸.

Hasta el momento hemos tratado de mostrar algunos aspectos generales de la teoría de la mecánica cuántica, sin entrar demasiado en su debate interpretativo. El propósito es tratar de comprender las características de la teoría de la mecánica

⁴⁹⁸ *Ibíd.*, p. (37-10).

cuántica, como también de la interpretación de Copenhague, sin entrar en la discusión interpretativa. Sin embargo, la siguiente sección será la excepción a lo que resta de dicha descripción, ya que aprovechamos lo mencionado anteriormente para señalar algunos elementos interpretativos en torno al carácter probabilístico que posee la teoría de la mecánica cuántica. Una vez finalice la siguiente sección, retomaremos la descripción de los rasgos de la mecánica cuántica, y de la interpretación de Copenhague.

4.1.3.1. El carácter de la probabilidad en el experimento de la doble rendija

Continuando con Feynman y sus reflexiones sobre el experimento de las dos ranuras, el físico en otro de sus libros “El carácter de la ley física” afirmó:

Es, pues, imposible, ni con luz ni sin ella, disponer de información anticipada que nos indique por qué agujero pasará el electrón cuando el experimento está montado de manera que con la luz apagada se obtiene el patrón de interferencia. No es nuestra ignorancia de los mecanismos internos y sus innumerables complicaciones lo que hace que la naturaleza parezca tener carácter probabilístico. Parece ser algo intrínseco a ella. Alguien lo ha expresado así: ‘Ni siquiera la propia naturaleza sabe qué camino va a escoger el electrón’. Una vez un filósofo dijo: ‘Para la existencia misma de la ciencia es necesario que las mismas condiciones den siempre los mismos resultados’. Bueno, pues las mismas condiciones no siempre dan los mismos resultados. Se dispone todo cada vez para que se mantengan las mismas condiciones y, sin embargo, resulta imposible predecir por dónde pasará el electrón⁴⁹⁹.

En la anterior cita de Feynman, el físico sugiere que el carácter *probable* de la mecánica cuántica parece intrínseco a la propia naturaleza, en otras palabras, la probabilidad no sería fruto de la *nesciencia* o del conocimiento incompleto; una postura que se aleja de aquello consideraron alguna vez Heisenberg y Bohr. En este pasaje, Feynman respalda su argumento con la idea de que en la mecánica cuántica ‘las mismas condiciones no dan siempre los mismos resultados’, en el sentido de que no se puede saber por cuál ranura pasará exactamente el electrón sin destruir el patrón de interferencia. Por otro lado, como resalta el profesor John Auping Birch⁵⁰⁰, es de considerar que la crítica que efectuó Feynman al “filósofo”, va dirigida contra el tipo de filósofo que es determinista, y que procura obtener un resultado absoluto de la predicción.

⁴⁹⁹ FEYNMAN, Richard. El carácter de la ley física. Barcelona: Tusquets Editores, S.A., 2005, p. 161.

⁵⁰⁰ Véase: AUPING, John. Una revisión de las teorías sobre el origen y la evolución del universo: física, metafísica, ciencia ficción y (a)teología en la cosmología antigua y moderna. Mexico D.F: Universidad Iberoamericana, 2009, p. 420.

Hasta donde sabemos, Popper no discutió estas cuestiones directamente con Feynman. Sin embargo, es presumible que el autor austriaco hubiese estado de acuerdo en lo siguiente: (1) la probabilidad no es *nesciencia*, y (2) que la probabilidad (o propensión) no determina enteramente los sucesos, pues —para el autor austriaco— señalaría medidas hipotéticas sobre *tendencias* o *disposiciones* a efectuarse mayormente en la realidad física. Según Popper⁵⁰¹, al lanzar una moneda al aire en algún lugar donde el suelo es un poco inclinado, su propensión de caer *cara* sería de $\frac{1}{2}$, pero si la misma moneda se lanzara al aire en un lugar donde el suelo es de arena, su propensión de caer *cara* sería menos de $\frac{1}{2}$, ya que pudiese suceder que la moneda cayera de canto. En dicho sentido las propensiones de Popper, no solo consideran la posición de la moneda, sino también la configuración total de la situación, con el propósito de no determinar un único resultado, sino de conceder «pesos» a las diferentes posibilidades. Este último aspecto resulta importante para reconocer el carácter objetivo e indeterminista de la probabilidad (o propensión) de Popper.

Es de considerar que Popper basa su interpretación de la probabilidad propensivista, en dos características que poseerían las sucesiones de sucesos independientes, que fueron postulados —en los años 20 del siglo pasado— por el matemático Von Mises. Según Popper:

El cálculo, interpretado por medio de la interpretación propensivista, nos permite deducir:

A) Casi todas las sucesiones infinitas de sucesos independientes que ocurren bajo condiciones constantes tenderán a exhibir frecuencias relativas que tienden a límites que son iguales a las probabilidades (o propensiones) de los sucesos singulares repetidos.

B) Casi todas esas sucesiones tendrán un carácter aleatorio descriptible de varias maneras, por ejemplo, por el fracaso a largo plazo, de todos los sistemas de juego⁵⁰².

La interpretación de la probabilidad de Popper en la ciencia física pretende ofrecer medidas cuantitativas sobre la propensión o tendencia que tendrían los sucesos singulares a realizarse a largo plazo; en otras palabras, conceder conjeturalmente ciertas medidas o «pesos» que corresponderían a las diferentes posibilidades o *potencialidades* de los sucesos singulares para actualizarse conforme el entorno, arreglo experimental o situación objetiva; según el autor “esta potencialidad o disposición puede existir sin que siquiera se haya actualizado o sin que nadie se haya dado cuenta de ello”⁵⁰³.

⁵⁰¹ MOSTERÍN, Jesús. Entrevista con Karl Popper. En: *Humánitas: EPISTEME NS*, Vol. 22, Nº 1, 2002, p. 109.

⁵⁰² POPPER, Karl. *Realismo y el objetivo de la ciencia*. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 438.

⁵⁰³ MILLER, David, comp. *Popper: Escritos selectos*. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 70.

Popper⁵⁰⁴ señaló que a diferencia de Aristóteles que colocó las propensiones como potencialidades en las cosas, él colocó las propensiones como potencialidades en la situación objetiva.

Las propensiones físicas de Popper⁵⁰⁵ entrañarían el indeterminismo de la naturaleza. El universo estaría abierto al cambio, o, mejor dicho, estaría compuesto de cambiantes propensiones al cambio que pueden expresarse de manera distributivo-probabilista. Según el autor:

“Las propensiones cambiantes son procesos objetivos y no tienen nada que ver con nuestra carencia de conocimiento, pese a que, naturalmente, tal carencia sea muy amplia y pese a que, sin duda, determinados deslices pueden formar parte de la situación en cambio”⁵⁰⁶.

Es así como en el caso del experimento de las dos ranuras, Popper no consideró que fuese nuestra *nesciencia* aquello que denotase el carácter indeterminista de la mecánica cuántica; este sería precisamente uno de los asuntos de su constante debate con el enfoque indeterminista de Heisenberg y Bohr (véase secciones 4.3.3. y 4.3.4. de la presente monografía). El profesor Auping explicó la postura de Popper del siguiente modo:

La ‘probabilidad objetiva’ de Popper es lo que Polkinghorne, físico cuántico inglés, llama ‘indeterminismo intrínseco’: “Probabilidades pueden surgir en la física por dos razones muy distintas. Una es el indeterminismo intrínseco; la otra, nuestra ignorancia con respecto a todos los detalles relevantes de las circunstancias”. Para el indeterminista intrínseco, aún conociendo las leyes físicas y condiciones iniciales completamente, a partir de ellas solamente se pueden hacer predicciones sobre una gama de posibles efectos con probabilidades que varían de 0 a 1. En cambio, según el determinista, si conociéramos todas las causas de los fenómenos observables, incluyendo las de un nivel más profundo que hoy todavía no conocemos, cualquier efecto solamente tendría la probabilidad uno ó cero⁵⁰⁷.

Popper publicó en alemán en el año de 1956, parte de lo que finalmente conformaría los tres volúmenes del *Post Scriptum* de 1982, y donde el autor expuso su postura objetiva e indeterminista de la probabilidad de la mecánica cuántica. Es consideración de John Auping⁵⁰⁸, que Feynman adoptó en su libro “El carácter de la ley física” (1965) un *indeterminismo intrínseco* similar al de Popper. En aquel libro

⁵⁰⁴ *Ibid.*, p. 221.

⁵⁰⁵ Véase: MAYO, David. La teoría propensivista como base metafísica para la construcción de una cosmología en el pensamiento de Karl Popper. En: revista Euphyía, agosto 14, 2014, p. 67.

⁵⁰⁶ POPPER, Karl. Un mundo de propensiones. Madrid: Editorial Tecnos, 1992, p. 40.

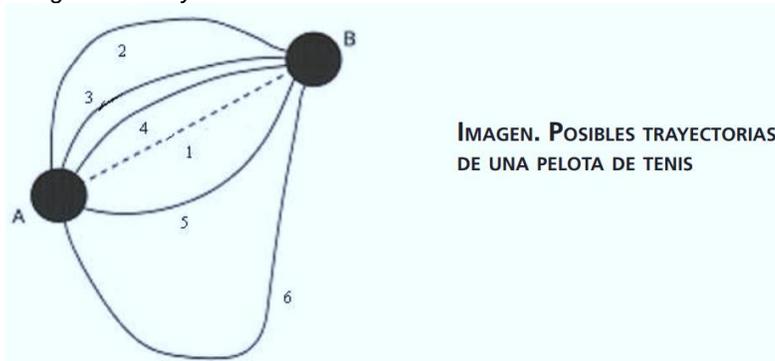
⁵⁰⁷ AUPING, John. Una revisión de las teorías sobre el origen y la evolución del universo: física, metafísica, ciencia ficción y (a)teología en la cosmología antigua y moderna. Mexico D.F: Universidad Iberoamericana, 2009, p. 422.

⁵⁰⁸ *Ibid.*, p. 443.

Feynman aseveró: “no es la falta de información detallada lo que nos impide hacer predicciones”⁵⁰⁹; no se trata de encontrar presuntas “variables ocultas” para determinar predicciones exactas. Luego, Feynman atribuye a la propia naturaleza el carácter probabilístico.

El profesor John Auping expuso cinco argumentos en contra del determinismo; una exposición propia de este autor, pero que se basa en algunas consideraciones de Popper, y sin la pretensión explícita de ser fiel a la versión del autor austriaco. John Auping señaló que el indeterminismo metafísico de Popper, puede ser respaldado por el método matemático de los posibles caminos, o suma de todas las alternativas, o integral de caminos (*path integrals*) de Feynman. Este método considera que una partícula en su viaje entre dos puntos cualesquiera, no solamente puede recorrer un único camino, sino que puede recorrer simultáneamente todos los caminos posibles entre ambos puntos. La probabilidad de que una partícula realice un recorrido entre dos puntos se consigue sumando todas las trayectorias posibles entre ambos puntos extremos. Pero cuando manejamos objetos macroscópicos, por ejemplo, una pelota de tenis, sucedería que las diferentes trayectorias pueden anularse entre sí, exceptuando una sola, que es la que podemos apreciar cotidianamente y que obedece a nuestro conocimiento clásico de la física. Véase la siguiente imagen⁵¹⁰:

Figura 10: Trayectorias



La pelota de tenis en la realidad cotidiana sigue el camino 1, y nunca observamos que siga los otros caminos (2, 3, 4, 5 o 6). Cada camino tiene en principio la misma amplitud y probabilidad. Las amplitudes que corresponden a los diferentes caminos, pueden interferir, a veces reforzándose, a veces anulándose, dependiente de la fase (según Auping, metafóricamente hablando: dependiente del ángulo de aterrizaje).

⁵⁰⁹ FEYNMAN, Richard. El carácter de la ley física. Barcelona: Tusquets Editores, S.A., 2005, p. 160.

⁵¹⁰ Imagen extraída de: AUPING, John. Una revisión de las teorías sobre el origen y la evolución del universo: física, metafísica, ciencia ficción y (a)teología en la cosmología antigua y moderna. Mexico D.F: Universidad Iberoamericana, 2009, p. 443.

No entraremos en una descripción detallada ni matemática de la integral de caminos de Feynman. La idea básica que deseamos expresar es la siguiente: el método de los posibles caminos de Feynman permite considerar que la mecánica clásica es igual de indeterminista que la mecánica cuántica. La diferencia entre los dos ámbitos de la física estribaría en las enormes diferencias que poseería la amplitud de probabilidad de sus objetos de estudio; por ejemplo, la amplitud de probabilidad que poseería una pelota de tenis respecto a un electrón, es considerablemente menor. Por lo cual, a diferencia de lo que sucede con las posibles rutas de un electrón, la ruta de una pelota de tenis se muestra *única* en el mundo clásico, porque su amplitud de probabilidad es considerablemente menor a la amplitud de probabilidad de un electrón; esto conduciría a que los diferentes caminos de la pelota de tenis que son diferentes al camino clásico sean anulados. Las matemáticas de este ejemplo son indicadas por el profesor John Auping de la siguiente manera⁵¹¹:

Esquema 9: cuadro matemático de Auping.

CUADRO MATEMÁTICO LA AMPLITUD DE UN ELECTRÓN Y UNA PELOTA DE TENIS

La amplitud se define como la constante de Planck dividida entre el *momento* del objeto físico:

$$(6) \lambda = \frac{h}{mv}$$

En el caso de un electrón que viaja a una velocidad normal, la amplitud es:

$$(7) \lambda_{electron} = \frac{(6.26 * 10^{-34}) kg m^2 s^{-1}}{(3.2 * 10^{-23}) kg m s^{-1}} = 1.956 * 10^{-11} m$$

Pero, en el caso de una pelota de tenis que pesa un décimo kilogramo y viaja con una velocidad de 10 metros por segundo, la amplitud es mínima:

$$(8) \lambda_{pelota} = \frac{(6.626 * 10^{-34}) kg m^2 s^{-1}}{(0.1 * 10) kg m s^{-1}} = 6.626 * 10^{-34} m$$

También es consideración del profesor John Auping⁵¹² que las matemáticas que construyó Feynman con su amplitud de probabilidad coinciden con la interpretación filosófica de Popper del experimento de las dos ranuras (la interpretación de Popper la veremos en la sección 4.4. de la presente monografía). Para comprender esto, es de identificar que Feynman consideró que:

⁵¹¹ Cuadro matemático del profesor Auping, extraído de: *Ibíd.*, p. 444.

⁵¹² Según el profesor Auping: “la interpretación que hace Popper del experimento de las dos rendijas desde el punto de vista de la filosofía de la ciencia y la interpretación que hace Feynman matemáticamente con sus amplitudes de probabilidad, coinciden notablemente”. En: AUPING, John. Una revisión de las teorías sobre el origen y la evolución del universo: física, metafísica, ciencia ficción y (a)teología en la cosmología antigua y moderna. Mexico D.F: Universidad Iberoamericana, 2009, p. 445.

La probabilidad de cualquier suceso en un experimento ideal (es decir, un experimento en el que todo esté tan bien especificado como sea posible) es el cuadrado de algo que he llamado *a*, la amplitud de probabilidad. Cuando un suceso tiene diversas alternativas, su amplitud de probabilidad es la suma de las *a* para cada una de las alternativas. Si se efectúa un experimento capaz de determinar la alternativa seguida, la probabilidad del suceso se convierte en la suma de las probabilidades de cada alternativa. Es decir, se pierde la interferencia⁵¹³.

La consideración de John Auping resulta cierta en vista de que, en la amplitud de probabilidad indicada por Feynman, también subyacería —en cierta medida— la idea de Popper de conceder «pesos» o medidas de *potencialidades*⁵¹⁴ a las diferentes probabilidades o propensiones según la disposición experimental (o situación objetiva); pues la amplitud de probabilidad se elabora a partir de considerar cierta característica general del diseño experimental, que envolvería la cuestión de sí 'el experimento es capaz de determinar la alternativa seguida, o no'. En aquella medida, la noción de amplitud de probabilidad ciertamente implica considerar —en aspectos generales— el diseño o disposición experimental; sin embargo, es de considerar que Feynman advirtió que esta noción no explica el mecanismo subyacente en los fenómenos cuánticos. Hasta el momento lo importante a considerar es que tanto Feynman y Popper plantearon —cada uno a su manera— que la disposición experimental interviene en las probabilidades. Según el profesor John Auping:

Así como desaparece la distribución en forma de ola, cuando permitimos que fotones interfieran con electrones, así desaparece esta distribución de franjas en el experimento de las dos rendijas con fotones, cuando permitimos que foto-amplificadores interfieran con los fotones, en el mismo lugar de las rendijas. El hecho de que la luz interfiera con los electrones y el foto-amplificador con el fotón, significa, como no se cansan de insistir Feynman y Popper, que estamos cambiando el diseño del experimento, razón por la cual la distribución probabilística en forma de franjas desaparece, y aparece otra distribución probabilística, a saber, la de la campana o curva normal. Este hecho ha generado mucha confusión en algunos físicos cuánticos, empezando con Bohr y Heisenberg, y terminando con académicos y comunicólogos que hoy, en universidades, libros y películas, difunden esta confusión. Estoy hablando de la afirmación errónea de que nuestros actos subjetivos de observación interfieran con las leyes objetivas de la física⁵¹⁵.

⁵¹³ FEYNMAN, Richard. El carácter de la ley física. Barcelona: Tusquets Editores, S.A., 2005, p. 159.

⁵¹⁴ No obstante, consideramos que en el contexto del método de los posibles caminos de Feynman las *potencialidades* resultarían ser iguales, es decir, las diferentes rutas tendrían la misma posibilidad, pero en Popper las *potencialidades* no necesariamente deben poseer una homogeneidad estadística.

⁵¹⁵ AUPING, John. Una revisión de las teorías sobre el origen y la evolución del universo: física, metafísica, ciencia ficción y (a)teología en la cosmología antigua y moderna. Mexico D.F: Universidad Iberoamericana, 2009, p. 127.

El profesor John Auping mostró varias semejanzas entre la postura de Popper y la postura de Feynman en la mecánica cuántica. No obstante, es de advertir que Feynman generalmente fue apático con la filosofía de la ciencia y con el desarrollar planteamientos filosóficos e interpretativos; en el físico prevaleció especialmente el interés matemático y experimental, circunstancia que algunas veces no facilita una claridad interpretativa sobre algunos de sus planteamientos teóricos y formulaciones matemáticas.

Feynman en *El carácter de la ley física* efectuó afirmaciones en torno a la descripción del principio de incertidumbre de Heisenberg, según los cuales, dicho principio impondría *límites* a la capacidad experimental. Según Feynman:

Heisenberg, uno de los padres de la mecánica cuántica, observó que las nuevas leyes de la naturaleza que acababa de descubrir sólo podían ser mutuamente consistentes si existía algún tipo de limitación básica en nuestras capacidades experimentales que no había sido previamente reconocida. En otras palabras, los procedimientos experimentales no pueden ser tan precisos como se quiera. Éste es el principio de incertidumbre de Heisenberg, que expresado en términos de nuestro experimento dice lo siguiente (él lo formuló de otra manera, pero ambas son equivalentes y es posible pasar de una formulación a otra): 'Es imposible construir un aparato que pueda determinar el agujero por el que pasa un electrón sin al mismo tiempo perturbar al electrón lo suficiente para destruir el patrón de interferencia'. Nadie ha conseguido escapar a esta ley. Estoy seguro de que todos ustedes están ya pensando en maneras de detectar el agujero por el que pasó el electrón, pero si se analiza cada una de ellas acabaremos descubriendo que inevitablemente algo falla. Uno puede creer que ha conseguido no perturbar al electrón, pero siempre pasa algo, y siempre pueden explicarse los alejamientos del patrón de interferencia por la perturbación causada por los instrumentos usados para determinar el camino seguido por el electrón⁵¹⁶.

Consideramos que la anterior afirmación de Feynman resulta problemática en tanto que señaló '*límites* a la capacidad experimental', aquello no sería más que otra forma de decir ingeniosamente: '*límites* a nuestro conocimiento'. Imponer límites a la experimentación equivale a imponer límites al conocimiento, esto debido al tercer y cuarto principio lógico para el conocimiento: iii) *principio del empirismo* y iv) *principio de racionalidad*, que acepta el racionalismo crítico de Popper (véase sección 1.3.3. de la presente monografía). Por lo cual, desde la perspectiva del racionalismo crítico, la anterior consideración de Feynman no podría considerarse objetiva, ya que la objetividad demanda que podamos aprender en recurso a la experiencia y que esta no posea ningún tipo de limitación. Popper en vez de señalar presuntas '*limitaciones*' que tendría la experiencia, indicó que las disposiciones experimentales son las que condicionan las presunciones.

⁵¹⁶ FEYNMAN, Richard. *El carácter de la ley física*. Barcelona: Tusquets Editores, S.A., 2005, p. 157-158.

Dicho lo anterior, en la presente monografía consideramos que no resulta claro si el indeterminismo que Feynman le atribuye a la teoría de la probabilidad en la mecánica cuántica, proviene —pese a su segunda consideración sobre la probabilidad donde crítica a la *nesciencia*— de las presuntas *limitaciones* que nosotros poseemos a la hora de experimentar (esto no sería más que otra forma de decir: *limitaciones* a nuestro conocimiento o nesciencia de las circunstancias subatómicas, como creyó Heisenberg), o si efectivamente Feynman consideró —de forma consistente—, que la indeterminación es intrínseco a la propia situación de la naturaleza. Los dos mencionados miramientos que tal vez adoptó simultáneamente Feynman no parecen ser consistentes entre sí, ya que el primero proviene del enfoque del determinismo metafísico, y el segundo acepta el indeterminismo intrínseco de la propia naturaleza; por lo cual, aquella situación a lo mejor pudiese expresar que en el físico persistió una mezcla de elementos subjetivos y objetivos de la interpretación de la teoría de la probabilidad. Esta posible ambigüedad, o acaso, simplemente falta de elucidación interpretativa, deja abierta la posibilidad para que los planteamientos teóricos y matemáticos como el método de la suma de caminos de Feynman, también se preste para asistir interpretaciones de carácter subjetivo como la teoría de los múltiples mundos.

Es indudable que Feynman planteó un indeterminismo presente en la ciencia física, pues en el primer volumen de *Lectures*, sección 38-6 denominado “implicaciones filosóficas”, el físico señaló que la mecánica clásica es también —en cierto sentido— indeterminada; no obstante, nos preguntamos por el carácter de su indeterminismo: si este obedece a la *nesciencia* como en el caso de Heisenberg, o si es intrínseco en el mismo sentido cosmológico de Popper. Por otro lado, el físico también realizó afirmaciones en términos confusos según los cuales ‘la observación afecta el fenómeno’; resulta confuso desde la perspectiva objetivista de Popper porque dicho de esa manera se presta para respaldar concepciones subjetivistas, según las cuales, el sujeto o el aparato de medición, perturba la medición que se realiza a una partícula (esto se denomina el *colapso de la función de onda* según la interpretación de Copenhague). En Popper no se trata de que el ‘observar’ provoque una ‘perturbación’ o ‘interferencia’ en el resultado de la medida de la partícula, sino que lo que realmente sucedería es que la ‘disposición experimental’ condiciona las probabilidades (o propensiones) en el resultado de la medición efectuada a la partícula (esto lo veremos con mayor detalle en las secciones 4.3.3. y 4.5. de la presente monografía). Por circunstancias como estas, el indeterminismo de Feynman que por momentos indica ser intrínseco, quizá corresponda —más bien— a lo que podría denominarse un *indeterminismo pragmático*; es decir, habría indeterminación en la naturaleza, y esta sería indicada por la práctica experimental y las presuntas limitaciones en la experimentación. Sin embargo, por razones ya mencionadas al final de la sección 4.1.2. de la presente monografía, no profundizaremos en esta cuestión, ya que esto nos alejaría de nuestro interés principal.

Resumimos las diferentes posturas sobre el carácter de la probabilidad en la mecánica cuántica, proponiendo la siguiente tabla esquemática⁵¹⁷:

⁵¹⁷ Tabla esquemática realizada por el autor de la presente monografía.

Esquema 10: El carácter de la probabilidad en la mecánica cuántica.

El carácter de la probabilidad en la mecánica cuántica			
Determinismo	Indeterminismo		
<p>La teoría de la probabilidad en la mecánica cuántica es un recurso temporal contra nuestra falta de conocimiento. (Einstein)</p>	<p>Indeterminismo por <i>nesciencia</i> o <i>indeterminismo cognoscitivo</i>.</p> <p>La teoría de la probabilidad en la teoría cuántica surge de las limitaciones que tendría nuestro conocimiento sobre las circunstancias subatómicas; limitaciones impuestas por el principio de incertidumbre. (Heisenberg y Bohr)</p>	<p>Indeterminismo cosmológico.</p> <p>La teoría de la probabilidad en la mecánica cuántica obedece objetivamente a la indeterminación intrínseca en la propia naturaleza; ya que el universo es abierto o emergente. La indeterminación no indica limitaciones a nuestro conocimiento ni a la capacidad experimental.</p> <p>El principio de incertidumbre de Heisenberg solamente indica relaciones estadísticas de dispersión, y no prohíbe (lógicamente) que se pueda obtener resultados mucho más precisos.</p> <p>La probabilidad objetiva e indeterminista es <i>trascendente</i> en el sentido de que “va mucho más allá de lo que puede saberse sobre la fase de las observaciones”⁵¹⁸. (Popper)</p>	<p>Indeterminismo pragmático.</p> <p>La teoría de la probabilidad en la mecánica cuántica parece intrínseca a la propia naturaleza, según lo muestra la práctica experimental y sus limitaciones empíricas.</p> <p>El principio de incertidumbre de Heisenberg indica que no se puede construir un aparato que sirva para descubrir por cuál agujero pasa la partícula, sin destruir el patrón de interferencia. (Feynman)</p>

⁵¹⁸ POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 434.

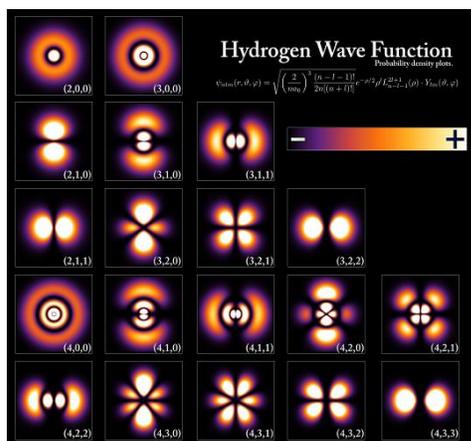
4.1.4. La noción de orbital

Debido a que la mecánica cuántica no logra predecir la ubicación exacta de una partícula en un espacio, sino tan solo la probabilidad de encontrarla en ciertas regiones, se ha abandonado enteramente la idea de una órbita precisa para los electrones en los que éstos perseguían una trayectoria, por ende, ya no se habla de órbita, sino que se usa el concepto de orbital. Al respecto el doctor colombiano de química Luis Eduardo Peña Prieto afirmó que:

“De acuerdo con la teoría mecánico-cuántica y con la resolución de la ecuación de Schrödinger para el átomo de hidrógeno, un orbital atómico es la región en el espacio alrededor del núcleo, donde la probabilidad de encontrar al electrón es máxima. Esta región constituye lo que se denomina “nube electrónica” que posee cierta “densidad electrónica” de carga eléctrica negativa”⁵¹⁹.

Mientras que la noción órbita otrora fue concebida como aquella que designaba una presumible trayectoria trazada por un electrón, y según la cual, aquel giraba en torno al núcleo de un átomo, la más reciente y empleada noción de orbital, representaría una función de densidad probabilística de onda que describiría el posible estado o posición de un sólo electrón en una región del átomo (o de la molécula). De modo que el orbital, sería aquella región del espacio en torno al núcleo, donde la probabilidad de encontrar a un electrón resultaría ser mayor que en otros lugares. Veamos la siguiente gráfica:

Figura 10: Densidad del átomo de hidrógeno⁵²⁰



En esta ilustración se muestra cuál sería la función de onda del electrón, en un átomo de hidrógeno, a diferentes niveles de energía; además, las regiones más iluminadas representarían los lugares con mayor probabilidad de que se encuentre el electrón.

⁵¹⁹ PEÑA, Luis. Química inorgánica. Bogotá: Editorial UD, 2013, p. 26.

⁵²⁰ Crédito imagen: gnu free documentación license. La imagen es de dominio público.

4.2. LA INTERPRETACIÓN DE COPENHAGUE

La interpretación de la escuela de Copenhague, también conocida como interpretación ortodoxa o estándar, fue el primer modelo explicativo que pretendió dar cuenta de lo que sucede en el mundo de las partículas y de los átomos. Además, ésta interpretación recibió su particular nombre en honor a la ciudad en la cual se instauró el instituto Niels Bohr.

Es de conocimiento común que, a diferencia de la teoría de la relatividad que fue expuesto por una sola persona, Albert Einstein, la *interpretación de Copenhague* recoge todo un conjunto de diversos planteamientos de numerosos científicos y pensadores, entre los cuales se destacan: Niels Bohr, Max Born, Werner Heisenberg y Erwin Schrödinger, entre otros. Fue en el año de 1955 que Heisenberg presenta de forma unitaria esta interpretación y arguye tanto su validez como completitud.

Según los físicos y doctores colombianos en filosofía de la ciencia Favio Cala Vitery y Edgar Gustavo Eslava:

De acuerdo con la interpretación de Copenhague, lo que caracteriza a los sistemas cuánticos es que éstos se encuentran en una permanente superposición de estados, es decir, que su comportamiento dinámico, representado por su función de onda, puede expresarse como una combinación lineal de las funciones de onda que representa estados diferentes. En otras palabras, si ψ_1 y ψ_2 son funciones de onda admisibles para un sistema cuántico, entonces una combinación de ellas de la forma $a\psi_1 + b\psi_2$, siendo a y b un par de constantes complejas arbitrarias, también es una función de onda del sistema⁵²¹.

La interpretación de Copenhague establece postulados como la indeterminación cuántica y el principio de la complementariedad, además problematiza el papel de la medición. En procura de otorgar una mayor precisión y profundidad en el tema, resulta pertinente presentar los tres principios que son estimados como básicos de la *interpretación de Copenhague*. Para ello se aclara que en el presente apartado se recogen algunas reflexiones expuestas en el capítulo: “Las raíces históricas de la interpretación cuántica” del libro *Mecánica cuántica: sobre su interpretación, historia y filosofía*, de los filósofos de la ciencia y físicos colombianos Favio Cala y Edgar Eslava. A continuación, presentaremos cada uno de aquellos tres principios y señalaremos sucintamente los aspectos más relevantes que poseen.

⁵²¹ CALA, Favio y ESLAVA, Edgar. Las raíces históricas de la interpretación cuántica. *Mecánica cuántica: sobre su interpretación, historia y filosofía*. Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 2011, p. 15.

1. **Principio de Von Neumann:** según este principio los sistemas cuánticos poseen estados dinámicos que le son propios. Para cada uno de aquellos estados existe una probabilidad que puede ser definida y la probabilidad resultante nos muestra la posibilidad de hallar al sistema microfísico en dicho *estado propio* o, en otras palabras, muestra el denominado *valor propio del sistema*. Como es posible notar, se presenta una supuesta correspondencia entre el *estado propio* y el *valor propio*, pero dicha correspondencia solo indicaría un *límite* entre el estado concreto en el que se halla el sistema cuántico y el conocimiento (probabilístico) que podemos obtener de dicho estado dinámico.
2. **Principio de indeterminación de Heisenberg:** conocido también como el principio de incertidumbre de Heisenberg, fue propuesto en el año de 1927. Este segundo principio formaliza matemáticamente la indeterminación que resulta de correlacionar las mediciones que discurren sobre un par de variables dinámicas de un sistema microfísico. Por consiguiente, recibe su nombre en consonancia a la afirmación que invoca la presumible inviabilidad de determinar precisa y simultáneamente pares de propiedades conjugadas como lo son el *impulso* y la *posición*, o el *tiempo* y la *energía*, de una partícula subatómica. En otras palabras, este principio sentencia que no es posible conferir una *posición* exacta a una partícula (en un determinado instante) si a su vez ya se ha determinado el *impulso* de ésta. Los filósofos de la ciencia Dalla Chiara y Toraldo di Francia lo explican de la siguiente manera:

[...] según el principio de indeterminación, establecido por Werner Heisenberg, existen pares de propiedades que no son *decidibles simultáneamente*. Por ejemplo, si un estado puro atribuye un valor preciso a la magnitud *posición*, entonces todas las propiedades correspondientes a valores precisos para la magnitud *cantidad de movimiento* deberán estar indeterminados. La posición y la cantidad de movimiento constituyen un par característico de ‘magnitudes incompatibles’, que no se pueden medir simultáneamente con la misma precisión⁵²².

Al respecto, Cala y Eslava⁵²³ consideran que el principio de indeterminación de Heisenberg formaliza la indeterminación de cualquier medición, pues si por ejemplo tenemos un electrón o fotón, entonces le podríamos adjudicar a su sistema cuántico un *momentum* p y una *posición* q . Encontrando que $dp = h dq$, en donde h es la constante de Planck, y por otro lado, dp y dq son el resultado de las mediciones del *momentum* y la *posición* del electrón o fotón. Este principio, en palabras sencillas, indicaría que cada vez que se pretende medir una de las variables p o q , mientras más se conoce una, menos podemos saber de la otra variable correlacionada. Asimismo, como afirma Alberto Clemente: “el principio de incertidumbre establece

⁵²² CHIARA, Dala y DI FRANCIA, G. Toraldo. El enigmático mundo de los *cuantos*. Confinos: introducción a la filosofía de la ciencia. Barcelona: Editorial Crítica, 2001, p. 140.

⁵²³ : CALA, Favio y ESLAVA, Edgar. Las raíces históricas de la interpretación cuántica. Mecánica cuántica: sobre su interpretación, historia y filosofía. Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 2011, p. 16.

que el producto de las incertezas en la posición y el impulso no es nunca menor que \hbar cualquiera que sea el estado del sistema”⁵²⁴.

Tal circunstancia ocasiona que la interpretación de Copenhague considere a los sistemas cuánticos como: *indeterminísticos*.

3. **Principio de complementariedad de Bohr:** mientras el principio de incertidumbre es considerado un principio derivado del formalismo matemático de la mecánica cuántica, el *principio de la complementariedad de Bohr* es por su parte, considerado por algunos como una expresión filosófica de aquellas formulas, o para expresarlo en otras palabras, es considerada como la interpretación filosófica que hace la escuela de Copenhague sobre las fórmulas de Heisenberg. Este principio sentencia que lo ondulatorio y lo corpuscular son circunstancias complementarias de una misma realidad, pues como explica el propio Heisenberg: “Bohr consideraba que las dos imágenes —ondulatoria y corpuscular— eran dos descripciones complementarias de la misma realidad”⁵²⁵.

Este tercer principio hace gran énfasis en la *indeterminación* que teóricamente se le atribuye a dichas fórmulas, y por ello dice que el único modo de entender la naturaleza de los estados cuánticos es reconociendo que existe una *limitación* intrínseca de nuestra forma de conocer los objetos cuánticos, pues los conceptos que son frecuentemente empleados para describir los sistemas cuánticos, dependen esencialmente de las propiedades detectables (“observables”) de los sistemas, y aquellos detectables dependerían a su vez, o serían definidos —en buena medida— por medio de máquinas y aparatos de medición. Dicha *limitación* se considera que es fundamental para comprender la especial —o particular— naturaleza de los sistemas microfísicos y explicaría supuestamente, el por qué hay restricciones para las ideas de la física clásica, cada vez que se tratan de llevar a los sistemas cuánticos. En palabras del propio Bohr:

La teoría cuántica se caracteriza por el reconocimiento de una limitación fundamental en las ideas físicas clásicas cuando se aplican a los fenómenos atómicos. La situación entonces creada es de una naturaleza peculiar dado que nuestra interpretación del material experimental descansa esencialmente sobre conceptos clásicos. A pesar de las dificultades que, por lo tanto, forman parte de la formulación de la teoría cuántica, parece [...] que su esencia puede ser expresada en el llamado postulado cuántico, que atribuye a cualquier proceso atómico una discontinuidad esencial, o individualidad, completamente extraña a las teorías clásicas [...]. Este postulado implica una renuncia frente a la coordinación espacio-temporal causal de los procesos atómicos. De hecho, nuestra descripción causal de los fenómenos se basa enteramente en la idea

⁵²⁴ DE LA TORRE, Alberto Clemente. Sistemas cuánticos simples. Física cuántica para filo-sofos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica (La ciencia para todos), 2000, p. 74.

⁵²⁵ HEISENBERG, Werner. Física y filosofía. Buenos Aires: Editorial la Isla, S. R. L., 1959, p. 29.

de que los fenómenos objeto de estudio pueden ser observados sin ser perturbados apreciablemente⁵²⁶.

El principio de la complementariedad problematiza el papel de la medición que se efectúa sobre los objetos microfísicos y genera inquietudes sobre los efectos que produce la observación de los mismos. Según este planteamiento adoptado por la interpretación de Copenhague, la *medición* afectaría, o, mejor dicho, perturbaría al sistema de forma tal, que sería inviable tratar de encontrar alguna información del sistema microfísico en los momentos previos a su observación. Pese a ello, la realidad cuántica únicamente podría definirse por medio de las observaciones, por lo cual, en el nivel de los fenómenos subatómicos existiría una dependencia con los posibles observadores, y ello es una circunstancia que diferenciaría tajantemente los sistemas clásicos de los sistemas microfísicos.

De manera que el principio de la complementariedad de Bohr aparentemente delimita los dominios concretos de las dos grandes teorías de la física: la mecánica clásica y la mecánica cuántica, pero a su vez, los adeptos a la interpretación estándar realizan una apelación a no considerar aceptable valoraciones que afirmen que cada una de las dos teorías de la ciencia física conformarían por sí mismas teorías incompletas, puesto que, según las consideraciones de la interpretación de Copenhague, cada una de ellas posee límites y campos propios, son completas dentro de su exclusivo dominio, y su límite divisorio manifestaría niveles complementarios de explicación para todos los fenómenos físicos de la naturaleza.

Por otro lado, como indican Cala y Eslava, hay que considerar que la interpretación de Copenhague entrañaría el denominado *problema de la medición cuántica* (PMD), el cual versa sobre la interacción que supuestamente se presenta entre el objeto que se observa y los aparatos o herramientas de medición que se emplean para dicha labor. Dicho problema de la medición cuántica se considera que deriva del formalismo cuántico, y en un primer momento estipula que “el resultado de la interacción que tiene lugar durante el proceso de medición es la superposición de los estados físicos del sistema observado y del aparato usado para observarlo”⁵²⁷, es decir, la medición genera un estado de superposición en el objeto y también en el aparato de medición, provocando que la indeterminación del mundo cuántico sea también parte del mundo a nivel clásico. Esto último escapa al pensamiento común sobre la realidad que percibimos en el mundo cotidiano, y por ello generalmente suele ejemplificarse con la famosa alusión del *experimento imaginario del gato de Schrödinger*, en el cual la indeterminación de ciertas partículas radioactivas que amenazan con una probabilidad de $\frac{1}{2}$ de provocar la muerte de un gato encerrado

⁵²⁶ BOHR, David citado por: CALA, Favio y ESLAVA, Edgar. Las raíces históricas de la interpretación cuántica. Mecánica cuántica: sobre su interpretación, historia y filosofía. Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 2011, p. 17.

⁵²⁷ CALA, Favio y ESLAVA, Edgar. Las raíces históricas de la interpretación cuántica. Mecánica cuántica: sobre su interpretación, historia y filosofía. Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 2011, p. 19.

dentro de una caja, produce que dicha indeterminación propia del mundo subatómico sea parte también del mundo macroscópico, debido a que mientras no sea abierta la caja, el gato en cuestión sostendría una *superposición de estados* entre vivo/muerto. La experiencia cotidiana nos muestra que una vez ya hemos realizado una lectura definida por algún indicador o cierto aparato de medición, se esfumaría por completo cualquier ambigüedad, es decir, una vez conocemos el resultado de la medida que obtuvimos por la máquina de medición, ya no persiste ninguna *superposición de estados*, o como suele referirlo la escuela de Copenhague: se presenta un *colapso de la superposición* de los estados (o colapso de la función de onda); el gato ahora sí estaría vivo o muerto, pero no ambas al tiempo. No obstante, los doctores colombianos en filosofía de la ciencia Favio Cala Vitery y Edgar Gustavo Eslava, afirmaron:

La pregunta acerca del lugar en el que el colapso de la superposición, de la función de onda, tiene lugar, o, en otras palabras, de dónde definir exactamente los límites entre el mundo cuántico y el mundo clásico es una pregunta abierta, nunca respondida por Bohr ni por ninguno de los miembros de la escuela de Copenhague, a pesar de que sus consecuencias son una parte central de su interpretación de la teoría⁵²⁸.

De modo que la interpretación de Copenhague, pese a ser la interpretación más aceptada por los físicos, aún deja varios interrogantes por resolver.

4.3. CRÍTICAS DE POPPER A LA INTERPRETACIÓN DE COPENHAGUE

En primer lugar, Popper manifestó una férrea oposición a las concepciones *antirrealistas* y *subjetivistas* que, consideró, subsisten en la *interpretación de Copenhague*. Se enfrenta especialmente al denominado “indeterminismo cuántico”, el cual supondría que el recurso a la teoría de *probabilidad* surge fundamentalmente a causa de la nesciencia del sujeto. Según el autor, esto conduciría a absurdas consideraciones interpretativas, pues se presumiría erróneamente que la conciencia del observador estaría desempeñando un papel crucial en la naturaleza misma de la realidad subatómica.

Según Popper: “[...] la interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica, es casi universalmente aceptada. En breves palabras, dice que ‘la realidad objetiva se ha esfumado’ y que la mecánica cuántica no representa partículas, sino más bien nuestro conocimiento, nuestra observación, nuestra conciencia de las partículas”⁵²⁹.

⁵²⁸ *Ibíd.*, p. 19.

⁵²⁹ POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, Vol.III: Teoría cuántica y el cisma en la física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 57.

Se aclara que el autor austriaco no señaló que el término ‘conciencia’ sea directamente referido por la escuela de Copenhague; dicho termino hace alusión a las implicaciones teóricas que Popper —al igual que manifestaron otros filósofos y físicos como Bunge, Alfred Lande, Alberto Clemente, Barthley, etc.— consideró que se desprenden del conjunto conceptual de dicha interpretación, pues la interpretación estándar, que recurre a la interpretación subjetiva de la probabilidad, una vez atribuye importancia a un supuesto ‘observador’ que presuntamente provoca el ‘colapso de la función de ondas’ o, al insistir en el denominado ‘problema de la medición cuántica’, ineludiblemente controvierte la ‘realidad’ y el ‘realismo objetivo’ de las partículas subatómicas (como lo muestran las propias afirmaciones de Heisenberg⁵³⁰). Por consiguiente, la interpretación de Copenhague estaría realmente estipulando que la teoría cuántica no versaría en las partículas (como tal), sino en ‘nuestro’ conocimiento de ellas, ya que dicha interpretación pretende mostrar qué es aquello de lo que sí podríamos tener ‘nosotros’ *conocimiento* del mundo subatómico, pues existirían límites (insuperables) para nuestras mediciones que involucran operadores no-conmutativos (esto debido al principio de indeterminación), y también existirían límites para ‘nuestra’ comprensión de las partículas cuánticas (esto debido al principio de complementariedad); por lo cual, la interpretación estándar no habla propiamente del mundo subatómico (como tal), sino que refiere simplemente a lo que ‘nosotros’ alcanzamos a conocer u ‘observar’ del mundo cuántico.

Popper rechazó constantemente el subjetivismo en la ciencia física y, por ende, la interpretación de Copenhague; un rechazo que realiza con vehemencia, porque de ser cierto que el sujeto u observador puede realmente afectar (o influir) de alguna manera el objeto cuántico, supondría la negación rotunda de ese mundo objetivo y realista que tanto defiende. Por ello afirmó:

[...] todavía sigue pareciendo necesario discutir la interpretación de Copenhague; es decir, más exactamente, la afirmación de que, en teoría atómica, tenemos que considerar al ‘observador’ o al ‘sujeto’ como especialmente importante, porque la teoría atómica adquiere, en gran medida, su carácter peculiar de la *interferencia del sujeto* o del *observador* (y de sus ‘medios de medir’) con el objeto físico que investiga⁵³¹.

Popper observó claramente que entre los autores que aportan sus ideas a la interpretación de Copenhague hay diferencias; él ataca especialmente las concepciones de Heisenberg y Bohr, los cuales contribuyen apreciablemente a los fundamentos de la interpretación ortodoxa. Del primero rechazó especialmente aquella interpretación subjetiva de la probabilidad con la cual aborda la teoría cuántica, y que le lleva a conferirle relevancia al papel del observador y a colocar en tela de juicio tanto a la *objetividad*, como el *realismo*; de Bohr rechazó

⁵³⁰ Véase: HEISENBERG, Werner. Física y filosofía. Buenos Aires: Editorial la Isla, S. R. L., 1959, p. 108 y 121.

⁵³¹ *Ibíd.*, p. 62.

fundamentalmente su principio de complementariedad y la conexión que entabla con el dualismo onda-corpúsculo, el cual se creyó que señalaría los *límites* de lo que podemos efectivamente conocer.

Asimismo, es de comprender que Popper declaró que los problemas interpretativos de la mecánica cuántica requieren de la reflexión de las tres siguientes cuestiones que hacen parte de su programa metafísico de investigación: el indeterminismo vs el determinismo, el realismo vs el instrumentalismo, y el objetivismo vs el subjetivismo. En lo que respecta a las críticas de Popper a la interpretación de Copenhague, veremos a continuación los principales planteamientos que involucran éstas cuestiones.

4.3.1. El realismo en la mecánica cuántica

A lo largo de la extensa bibliografía popperiana, resulta evidente que sostuvo cierta animadversión a la definición de conceptos. Desde luego que el autor⁵³² habla y referencia algunos conceptos; sin embargo, casi siempre se muestra completamente reacio a la pretensión de otorgar una definición fija, única y precisa de ellos. No obstante, resulta enteramente inadecuado concebir esta actitud como un síntoma de oscurantismo o ignorancia del autor al momento de tratar ciertos temas específicos, realmente dicho proceder proviene más bien de su consideración filosófica respecto al lenguaje, las teorías, los conceptos, y las definiciones.

Es un hecho bastante claro que, a diferencia del *positivismo lógico* —cuyo interés residió principalmente en el análisis del lenguaje y su lógica—, el interés de Popper no recayó primordialmente en el lenguaje, como tampoco en su análisis sintáctico-lógico, le importó fundamentalmente el desarrollo del conocimiento y de las teorías científicas.

En Popper, tanto los conceptos como las definiciones, el lenguaje, los sistemas conceptuales, son recursos importantes, pero de ninguna manera son el centro de interés, lo primordial, pues consideró que el lugar —o papel— que ocupa todo aquello en las teorías, es el de una *herramienta*, y como toda herramienta encontró que aquello también es susceptible de cambios, mejoras y de un dinamismo que —a pesar de pretender una constante perfección— nunca alcanza una finura absoluta. Lo anterior es un asunto que amerita ser comprendido claramente, así que

⁵³² Al respecto resulta muy interesante las afirmaciones de Popper, contenidos en la segunda parte de la introducción al tercer volumen del *Post Scriptum*, que titula: *Teorías contra conceptos*. POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: *Teoría cuántica y el cisma en física*. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 63-67.

mejor veamos cómo lo expresó propiamente el autor en su tercer volumen del *Post scriptum*:

Aunque los conceptos tengan una gran capacidad de sugerencia, e influyan así en el desarrollo posterior de la teoría, no es el sistema conceptual sino la teoría la que tiene importancia real para el científico puro. Y la teoría no es simplemente un 'instrumento' para él, es más: él está interesado en su verdad o su aproximación a la verdad. El sistema conceptual, por otro lado, es intercambiable y es uno entre los varios instrumentos posibles que pueden usarse para formular la teoría. El sistema conceptual proporciona simplemente un lenguaje para la teoría; quizá un lenguaje mejor y más simple que otro, quizá no. En cualquier caso, sigue siendo (como todo lenguaje) vago e impreciso hasta cierto punto. No puede hacerse 'preciso': el significado de los conceptos no puede establecerse, esencialmente, por medio de ninguna definición, sea formal, operacional u ostensiva. [...] Así pues, en último término, nos interesan las teorías y su verdad, más que los conceptos y su significado⁵³³.

La anterior afirmación de Popper, contiene muchas implicaciones, pero solamente nos limitaremos a indicar aquello que posee una estrecha relación con el tema nuclear del presente trabajo, a saber: el problema interpretativo de la mecánica cuántica, la propuesta propensivista y su particular contraste con la interpretación de Copenhague. En primer lugar, la anterior sentencia subrepticamente considera que una teoría científica puede poseer —e incluso puede traducirse— a varios sistemas conceptuales⁵³⁴, pues como recalcó Popper en otro pasaje: “[...] es claramente un error identificar una teoría con el marco conceptual que la sustenta o incluso creer que ambos deben relacionarse estrechamente”⁵³⁵. Es decir, una cosa es la teoría científica como tal, y otra cosa muy diferente es el marco conceptual (o interpretación) que trata de explicarlo. En aquella medida, sabemos que la mecánica cuántica posee un famoso y popular sistema conceptual denominado *la interpretación de Copenhague*, pero como lo advierte Popper, dicho sistema conceptual no debería nunca confundirse con la teoría en sí misma; pues una cosa es la teoría científica que ostenta un formalismo axiomático y preciso, y otra cosa muy diferente es el marco conceptual (o interpretación) con el cual se *definen* o *desarrollan conceptualmente* los elementos de aquel formalismo matemático.

Ahora bien, como ya sabemos, más allá de los sistemas conceptuales lo que realmente debería interesar —según el *racionalismo crítico*— es ante todo las teorías y su verdad, o mejor dicho, su aproximación a la verdad (*verosimilitud* o *similitud con la verdad*); si atendemos esta crucial demanda, esperaríamos que todas las teorías cumplieren ciertas condiciones de comprensión y claridad, pero

⁵³³ *Ibíd.*, p. 65-66.

⁵³⁴ Según Popper: “Una teoría T_1 puede ser formulada de muchas formas y puede usar muchos sistemas conceptuales diferentes, digamos C_1 y C_2 “. POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 64.

⁵³⁵ *Ibíd.*, p. 65.

penosamente eso no es lo que realmente ocurre con la teoría cuántica, a partir de la interpretación de Copenhague: el *principio de la complementariedad* enunciado por Bohr niega claramente la posibilidad de entender los objetos subatómicos bajo la supuesta consideración, que únicamente podemos entender las ‘imágenes clásicas’. La interpretación de Copenhague estaría rechazando desde un principio, y rotundamente, aquella condición señalada por el *racionalismo* crítico, según la cual las teorías deben ostentar cierta claridad, que facilite una comprensión satisfactoria e intersubjetiva de la teoría.

Por otro lado, según Popper, ante aquella extraña e insólita circunstancia (de la interpretación de Copenhague) que apela al supuesto carácter ininteligible de la teoría cuántica, es que Bohr terminó auxiliándose en la presunta ‘dualidad’ o ‘complementariedad’ entre las partículas y las ondas. Además, como veremos con mayor detalle un poco más adelante, aquel principio de complementariedad de Bohr, cada vez que presupone el carácter ininteligible de la teoría cuántica, ofrecería un marco epistemológico que no escaparía de ser extremadamente absurdo para el autor austriaco. Por ello Popper afirmó que:

“El negar que podamos entender la teoría cuántica ha tenido repercusiones muy sorprendentes tanto sobre su enseñanza como sobre la comprensión real de la teoría”⁵³⁶.

En las próximas secciones abordaremos las críticas de Popper a la interpretación de Copenhague, entre tanto debemos reconocer que la interpretación de Copenhague, al renunciar a una comprensión clara de la teoría, se ve generalmente obligada a asumir una postura meramente instrumentalista, en la cual, puede resultar absurdo o innecesario apelar a la noción de *realidad*, y donde se estaría completamente despreciando aquello que verdaderamente le interesa a la epistemología del *racionalismo crítico*, a saber, ciertos aspectos concernientes al desarrollo del conocimiento científico, entre los cuales estarían: el reconocer qué *problemas* precisos trata de resolver la teoría y/o el por qué una teoría resuelve mejor o peor algunos *problemas* que otras teorías rivales. De modo que uno de los principales problemas que encuentra Popper en la versión interpretativa de Copenhague de la teoría cuántica, es, a saber, su incompatibilidad con el *realismo* y la *objetividad* del mundo físico. Ahora bien, considerando todo lo dicho anteriormente, veamos la siguiente aclaración de Popper:

Si los conceptos son relativamente poco importantes en comparación, las definiciones deben ser también poco importantes. Así pues, aunque estoy a favor del realismo en física, no pienso definir ‘realismo’ ni ‘realidad’. Al abogar aquí a favor del realismo en física quiero, sobre todo, argüir que nada ha

⁵³⁶ *Ibíd.*, p. 66.

cambiado desde Galileo, Newton o Faraday respecto a la condición o la función del 'observador' o de nuestra 'conciencia' o de nuestra 'información' en física⁵³⁷.

De esta manera Popper enfatizó que su interés no recae en el análisis de los términos o conceptos, sino que muestra una preocupación por la teoría cuántica, especialmente, por aquellas interpretaciones como la formulada por la escuela de Copenhague, donde la objetividad de la realidad subatómica es seriamente puesta en duda, en tanto que dicha interpretación señala una supuesta dependencia o interacción entre el objeto microfísico y la herramienta de medición o el sujeto observador; consideraciones extravagantes según las cuales el observador de alguna manera puede terminar influyendo en la constitución de la misma realidad.

4.3.2. El instrumentalismo en la ciencia

Desde la perspectiva del racionalismo crítico, Popper se enfrentó a la denominada concepción instrumentalista de la ciencia, en donde el conocimiento científico es peligrosamente reducido a un simple y puro operacionismo de las formulaciones matemáticas, y en donde solo hay una enfática preocupación por la utilidad predictiva; pues a partir de aquella concepción instrumentalista, se consideraría que “no hay nada que entender: que no podemos hacer otra cosa que dominar el formalismo matemático y aprender a aplicarlo”⁵³⁸. Desde una concepción instrumentalista, como la interpretación de Copenhague, puede resultar —para la mayoría— innecesario reflexionar sobre los problemas filosóficos, metafísicos e interpretativos de la mecánica cuántica, ya que una vez el físico se conforma o resigna, con la supuesta imposibilidad de encontrar un entendimiento claro y preciso de la teoría, puede amparar su beneplácito con el simple proceder operativo, que le revela cierta utilidad práctica de brindar predicciones. Sin embargo, Popper impugnó por completo aquella doctrina instrumentalista:

[...] es erróneo describir las teorías como nada más que instrumentos (por ejemplo, instrumentos de predicción), aunque, por lo general, son también, entre otras cosas, instrumentos útiles. Infinitamente más importante para el científico que la cuestión de la utilidad de las teorías es la de su verdad objetiva, o su proximidad a la verdad, y el tipo de entendimiento del mundo y de sus problemas que pueden poner a nuestro alcance. La perspectiva de que las teorías no son nada más que instrumentos o artificios para calcular, se ha puesto de moda entre los teóricos cuánticos, debido a la doctrina de Copenhague de que la teoría cuántica es intrínsecamente ininteligible porque sólo podemos entender 'imágenes' clásicas, tales como las 'imágenes de

⁵³⁷ *Ibíd.*, p. 67.

⁵³⁸ *Ibíd.*, p. 121.

partículas' o las 'imágenes de ondas'. Yo creo que esta es una doctrina equivocada e incluso perversa⁵³⁹.

Este instrumentalismo que constantemente cuestiona Popper, consiste en ver a la ciencia como un simple medio para formular deducciones que luego sirvan —a su vez— para formular predicciones, y a dicha tarea operativa se reduciría prácticamente todo el quehacer científico. El instrumentalismo no estaría en ningún momento procurando una comprensión o explicación clara de la realidad, tan sólo estaría interesado en la circunstancia de que una teoría guarde —para sí misma— una coherencia interna, y cierta aplicabilidad que sea predictiva. En dicho sentido, Popper denunció que la interpretación de Copenhague, habría pretendido salvaguardar la “coherencia” interna de su peculiar interpretación sobre la mecánica cuántica con el principio de complementariedad de Bohr.

Si consideramos que la ciencia consta de una parte teórica, en donde se procura una *explicación*, y que también consta de otra parte que es práctica o experimental, y en donde se procura efectuar algún tipo de *predicción*, entonces podríamos percatarnos de que el instrumentalismo estaría prácticamente restringiendo el quehacer científico sólo a la predicción.

Para Popper, dicho instrumentalismo estaría ocasionando que muchos físicos no cuestionasen absolutamente nada y asumiesen de forma acrítica, y bajo la misma consideración de Niels Bohr en cuanto a su principio de la complementariedad, que la física cuántica se encuentra por su constitución misma, imposibilitada para ser comprendida de la misma forma en que sí podemos entender los términos clásicos; es decir, aquella consideración de que la *teoría cuántica* nunca podría ser aprehensible enteramente por la razón humana. Es por ello que Popper, no solo rechazó la postura instrumentalista, sino que además realizó fuertes y constantes críticas a la interpretación de Copenhague, especialmente por contraponerse de aquella forma a una comprensión efectiva y ulterior de una *realidad objetiva*.

Ciertamente Popper no ha sido el único en efectuar reparos a la interpretación estándar de la mecánica cuántica por su concepción que pone en duda el realismo y por el subsecuente instrumentalismo que promueve. Por ejemplo, el ingeniero y físico Alberto Clemente de la Torre afirmó:

La palabra “realidad”, dice Bohr, es una palabra que hay que aprender a usar correctamente. La descripción de la naturaleza que hace la física no es, para Bohr, un reconocimiento de la realidad del fenómeno, sino una descripción de las relaciones entre diferentes aspectos de nuestra experiencia. Heisenberg afirma, extremando el pensamiento de Bohr, que la meta única de la física es

⁵³⁹ *Ibíd.*, p. 63-64.

predecir los resultados experimentales excluyendo del lenguaje toda mención de la realidad⁵⁴⁰.

Y un poco más adelante del anterior pasaje, el físico Alberto Clemente también señaló:

“Al limitarse a relacionar resultados experimentales y predicciones sin pretender interpretar la realidad, la interpretación de Copenhague no enfrenta los problemas mencionados con la medición ni los relacionados con las interpretaciones ontológicas o gnoseológicas de las probabilidades, de allí su enorme éxito”⁵⁴¹.

Por otro lado, Popper reseñó que: si bien el propio Heisenberg había contribuido a superar la idea de que la mecánica cuántica era una teoría *final* o *completa*, poco a poco los físicos se habrían olvidado de que alguna vez Heisenberg y Bohr —de maneras diferentes— indicaron que la física cuántica era el *fin del camino*. Heisenberg porque pensó que la física cuántica era la última revolución de la física, ya que —según él— las relaciones de indeterminación mostraban que ese era el *final del camino*; esto porque en palabras de Popper desde el punto de vista de Heisenberg “[...] ya no era posible descubrir nada más, aunque, naturalmente quedaba mucho por hacer por medio de la elaboración y aplicación de la nueva mecánica cuántica”⁵⁴². Bohr también se adhirió a dicha tesis, el cual fue núcleo de sus discusiones con Einstein; pues Einstein apreció la mecánica cuántica como un notable descubrimiento, pero nunca le convenció la *tesis del final del camino*, ya que consideró que en el estudio de la física se podía ir mucho más profundo. Además, según Popper:

Cuando Bohr aceptó la mecánica cuántica como el final del camino, fue, en parte, por desesperación: sólo la física clásica era inteligible, sólo ella era una descripción de la realidad. La mecánica cuántica no era una descripción de la realidad. Era imposible conseguir una descripción así en la región atómica; aparentemente porque no existía esa realidad: la realidad inteligible terminaba donde terminaba la física clásica. Lo más cercano a la comprensión de los átomos era su propio principio de complementariedad⁵⁴³.

Aunque la tesis del final del camino poco a poco se abandonó en su sentido original (es decir, en cuanto a que la idea de que no puede haber nada más allá de la teoría de la mecánica cuántica), la interpretación de Copenhague aun la estaría albergando, y de forma oculta, en la medida en que persiste en la adopción de posiciones filosóficas no realistas. Circunstancia que le resultaría provechoso al

⁵⁴⁰ DE LA TORRE, Alberto Clemente. Física cuántica para filo-sofos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica (La ciencia para todos), 2000, p. 115.

⁵⁴¹ *Ibíd.*, p. 116.

⁵⁴² POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 30.

⁵⁴³ POPPER, Karl. Prefacio de 1982. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 33.

instrumentalismo, ya que de ese modo se creería muchas veces inoficioso e innecesario incurrir en discusiones filosóficas sobre una presunta realidad (que suponen no sería enteramente aprehensible), en tanto que lo importante es la utilidad práctica y predictiva. Por circunstancias como las descritas, Popper controvirtió la interpretación de Copenhague a partir de su concepción objetivista, realista e indeterminista.

4.3.3. Las tesis de Popper en el *Post Scriptum* que controvierten la interpretación de Copenhague

En el tercer volumen del *Post Scriptum: Teoría cuántica y el cisma en Física* (1982), Popper desplegó *trece tesis* con las cuales él mismo afirmó, presenta una suerte de resumen de su propia interpretación sobre la cuestión del *realismo*, como a su vez, también emplearía aquellos mismos argumentos para atacar los dogmas que consideró subsisten en los cimientos de la interpretación de Copenhague. Sin embargo, cada una de aquellas tesis, por sí misma, no siempre muestra una relación directa con el realismo, pero en su conjunto ciertamente proponen una defensa a ultranza de la realidad puesta en duda por el modelo conceptual de Copenhague. Veamos a continuación algunos de los aspectos más importantes de aquellas tesis, procurando desarrollarlas en el contexto de la obra popperiana.

- 1) Su primera tesis afirma que los problemas que busca resolver la teoría cuántica son esencialmente estadísticos.

El autor austriaco sustentó su tesis a partir de ciertos ejemplos en los cuales algunos protagonistas de la mecánica cuántica resuelven sus problemas a partir del recurso estadístico. Es así como menciona: a) el problema que condujo a Planck a su fórmula de las radiaciones, b) la hipótesis de Einstein sobre el fotón y su derivación de la fórmula de Planck, c) parte del problema que llevó a Bohr a su teoría de las emisiones del espectro, y d) los problemas que se resolvieron con el 'principio de correspondencia de Bohr', que según Popper "[...] eran, principalmente, problemas de las *intensidades* de las rayas del espectro emitidas"⁵⁴⁴. Todos aquellos problemas Popper los consideró de índole estadística, los cuales, pese a ser aproximaciones, en lo que respecta a la teoría cuántica, nunca cesó el interés por encontrar resultados estadísticos cada vez más exactos. Además, Popper refuerza su primera tesis afirmando que:

[...] debido a la interpretación estadística de Born de las ondas de materia, incluso el único problema de la teoría cuántica que parecía no ser estadístico —el problema de la estabilidad atómica— fue reducido a un problema estadístico o sustituido por uno: las 'órbitas preferidas' cuantizadas por Bohr

⁵⁴⁴ *Ibíd.*, p. 68.

resultaron ser aquellas para las que la *probabilidad* de la presencia de un electrón difería significativamente de cero⁵⁴⁵.

Lo anterior pretende evidenciar el carácter estadístico de los problemas que resuelve la teoría cuántica. De modo que aquello que en la teoría cuántica nos obliga a recurrir a la teoría de la probabilidad, no es exactamente ocasionado por la nesciencia del sujeto, sino que más bien, aquel recurso a la teoría de la probabilidad se debe precisamente al tipo de problemas que tratamos de resolver, los cuales son de índole estadística. Así lo manifestó Popper en *El mundo de Parménides*:

“Lo que nos obliga a recurrir a la teoría de la probabilidad no es nuestra carencia de información o conocimiento detallado, sino el tipo de problemas que deseamos resolver”⁵⁴⁶.

- 2) En la segunda tesis Popper afirmó que: “[...] las cuestiones estadísticas exigen, esencialmente, respuestas estadísticas. Así pues, la mecánica cuántica tiene que ser, esencialmente, una teoría estadística”⁵⁴⁷.

En síntesis, Popper pretendió resaltar el carácter estadístico de la teoría cuántica y a su vez deja en evidencia una crucial diferencia entre su postura y la de la interpretación de Copenhague. Si bien la interpretación de Copenhague acepta que la teoría cuántica es de índole estadística, los argumentos y consideraciones que ella emplea para asumir dicho enfoque estadístico son, a consideración de Popper, completamente equivocados, puesto que habrían adjudicado falsamente la necesidad estadística —principalmente— a la presunta carencia de nuestro conocimiento. Lo anterior resulta evidente en el caso de Heisenberg, quien en su libro *Física y filosofía* efectuó afirmaciones como las siguientes:

“[...] la naturaleza estadística de las leyes de la física microscópica no puede ser evitada, puesto que cualquier conocimiento de lo "real" es —a causa de las leyes teóricas cuánticas— por su propia naturaleza, un conocimiento incompleto”⁵⁴⁸.

Por ello, Popper señala que la interpretación de Copenhague esgrime: “[...] el argumento de que es nuestra (necesaria) *carencia de conocimiento* —sobre todo, las limitaciones a nuestro conocimiento descubiertas por Heisenberg y formuladas

⁵⁴⁵ *Ibíd.*, p. 70.

⁵⁴⁶ PETERSEN, Arne; MEJER, Jorgen. Comps. Algunas consideraciones críticas sobre la interpretación subjetivista de la teoría de la información. *El mundo de Parménides*. Barcelona: Paidós, 1999, p. 254.

⁵⁴⁷ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 70.

⁵⁴⁸ HEISENBERG, Werner. *Física y filosofía*. Buenos Aires: Editorial la Isla, S. R. L., 1959, p. 121.

en su ‘principio de indeterminación’ o ‘principio de incertidumbre’— la que nos obliga a adoptar una teoría probabilista y, en consecuencia, estadística”⁵⁴⁹.

El autor austriaco enfatizó que la teoría cuántica es estadística porque surge precisamente de teorías, hipótesis y formulaciones que son de índole estadística (*tesis 1*), y porque además “[...] las cuestiones estadísticas exigen, esencialmente, respuestas estadísticas” ⁵⁵⁰ (*tesis 2*); no obstante, para la interpretación de Copenhague, la mecánica cuántica sería de índole estadística debido a la presunción de que la falta de precisión absoluta en los resultados experimentales, es ocasionado por nuestra falta de conocimiento, debido a que este se vería limitado por el principio de indeterminación o principio de incertidumbre de Heisenberg.

- 3) En la tercera tesis Popper atacó algunos planteamientos de la interpretación de Copenhague, en especial, los argumentos que pretenden explicar el carácter estadístico de la mecánica cuántica a partir de la nesciencia. Claramente Popper consideró que la mecánica cuántica es probabilista, pero rechazó vehementemente que la interpretación ortodoxa base su recurso a la probabilidad en: 1) la carencia de conocimiento, y 2) la intrusión del sujeto u observador en la teoría cuántica. Según Popper, aquellas falsas consideraciones de la interpretación ortodoxa, son las que conllevarían ineludiblemente a una *interpretación subjetiva de la probabilidad*, circunstancia que le resulta absurda puesto que:

“[...] sería pura magia si fuésemos capaces de obtener conocimiento —conocimiento estadístico— a partir de la ignorancia”⁵⁵¹.

Y, como reitera en otros argumentos expuestos en el *Post scriptum*:

“[...] al ser leyes estadísticas, *añaden* a nuestro conocimiento: es un error pensar que imponen límites a nuestro conocimiento”⁵⁵².

Por consiguiente, si se comprende claramente que la mecánica cuántica otorga respuestas estadísticas a problemas estadísticos, no resulta necesario incorporar una concepción subjetiva de la probabilidad basada en la nesciencia del sujeto. Por otro lado, puesto que en la teoría del cálculo de probabilidades no resulta necesario apelar a la idea de un sujeto con “conocimiento incompleto”, lo anterior también llevaría a considerar que, es un equívoco la intrusión del “observador” en la mecánica cuántica, como un supuesto componente necesario del “colapso de la función de onda”. Esto último lo veremos con mayor detalle en tesis posteriores (especialmente en la tesis novena).

⁵⁴⁹ POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 70.

⁵⁵⁰ *Ibid.*, p. 70.

⁵⁵¹ POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 71.

⁵⁵² *Ibid.*, p. 75.

- 4) En su cuarta tesis el autor procuró mostrar cómo un incorrecto tratamiento de la teoría de la probabilidad, puede llevar a lo que él denomina *el gran embrollo cuántico*.

[...] lo que yo llamo el gran embrollo cuántico consiste en tomar una función de distribución, es decir, una función de medida estadística, que caracterice algún *espacio muestral* (o quizá a alguna ‘población’ de sucesos) y tratarla como si fuese *una propiedad física de los elementos de la población*. Es un embrollo: el espacio muestral no tiene nada que ver con los elementos. No hay relación simétrica y, por tanto, no hay «dualidad» entre partículas y ondas o entre partículas y su campo correspondiente⁵⁵³.

Para comprender dicho embrollo, o, mejor dicho, aquel malentendido que se ocasiona cuando un científico no hace buen recurso de la teoría probabilística, Popper empezó por caracterizar algunos elementos claves de la teoría de la probabilidad, entre ellos: a) ciertos sucesos o ‘población’, b) ciertas propiedades físicas, elementos y situaciones experimentales, c) el espacio probabilístico, y d) la función de distribución. Posteriormente, y a través de un pequeño ejemplo sobre un hombre o mujer “X” que vive en el Reino Unido, el autor austriaco sugirió asignar a cada elemento indicado, un valor correspondiente. Pues bien, en síntesis, la pretensión de Popper es mostrar que, si no se procede con el debido cuidado, aquellos elementos incorporados por la teoría probabilista puede que no sean manejados adecuadamente, y terminen siendo malinterpretados, de modo tal, que se pueda tratar equivocadamente ciertos resultados como si fueran *propiedades físicas*, y no como lo que realmente son, es decir, como propiedades *de la población de elementos que caracterizan cierto espacio muestral*. En el ejemplo que emplea Popper⁵⁵⁴, una propiedad que es disposicional, y que depende del espacio muestral como lo es la probabilidad del señor o señora “X” de habitar en cierto lugar del Reino Unido, puede ser confundido por el embrollo como si fuese semejante a la edad de “X” o la altura de “X”, es decir, como si fuese una de las propiedades físicas y concretas del individuo.

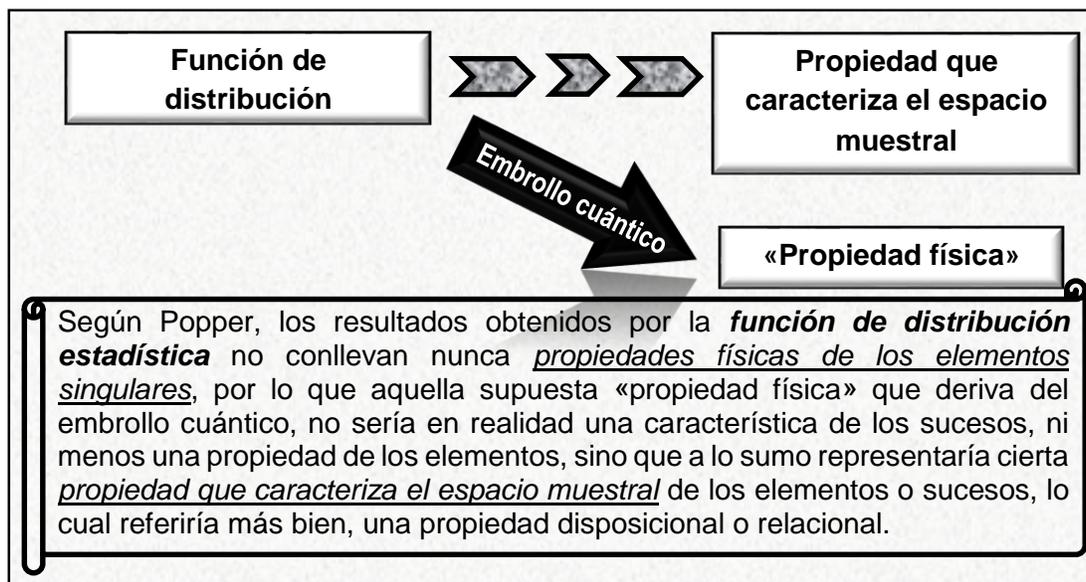
Lo anterior equivale a que se confundan los resultados de una probabilidad sobre alguna característica que muestra una población en general, con que se identifique que cierto elemento *único* de esa población posee efectivamente esa característica como propiedad física real. Este es el denominado embrollo cuántico. Para una mayor claridad en el asunto, veamos el siguiente esquema⁵⁵⁵:

⁵⁵³ *Ibíd.*, p. 72.

⁵⁵⁴ *Ibíd.*, p. 72-73.

⁵⁵⁵ Esquema realizado por el autor de la presente monografía.

Esquema 11: Embrollo cuántico.



Como explicó Popper, una cosa serían los tipos de cosas o propiedades físicas, y otra cosa muy diferente serían las *categorías* que caracterizan aquellas cosas en el interior de cierto conjunto, ‘población’ estadística o generalidad. Como resulta claro, lo último no tiene ninguna realidad física e individual, por lo cual no podría ser una propiedad física concreta, sino que, por su parte, podría indicar —por ejemplo— algunas características del espacio muestral que en nuestro mundo físico referiría a ciertas propiedades disposicionales o relacionales.

Por otro lado, resulta bastante interesante ver el siguiente estudio presente en el libro compendio que se publicó en memoria a los veinte años de muerte de Popper: *Hipótesis y verdad en ciencia: ensayos sobre la filosofía de Karl R. Popper*, una recopilación de Andrés Rivadulla. En el artículo “Fundamentos de una argumentación crítica dirigida al dualismo ondulatorio-corpúscular”, la profesora Carmen Sánchez Ovcharov sintetiza y escinde el embrollo cuántico en dos confusiones, veamos:

1. **Confusión conceptual:** se identifica una onda *no material* (función matemática de función de probabilidad) con una onda *material* (la propagación de una perturbación en un medio material, como las ondas de agua o sonido);
2. **Confusión lógica:** a partir de la premisa de una *distribución* de probabilidades en forma de *onda*, malentendida conceptualmente, se deducen propiedades ondulatorias a las partículas materiales y se les adjudica una *naturaleza ondulatoria*⁵⁵⁶.

⁵⁵⁶ RIVADULLA, Andrés. Comp. Hipótesis y verdad en ciencia: ensayos sobre la filosofía de Karl R. Popper. Madrid: Editorial complutense S.A., 2004, p. 197.

Las dos confusiones antes mencionadas, y en las que estaría incurriendo constantemente la interpretación de Copenhague, serían las primordiales causantes de que se produzca en esta interpretación una *concepción dual* o de tipo *ondulatorio-corpúscular* en la naturaleza, cuyo dualismo, resalta la profesora Carmen Sánchez, sería “[...] incomprendible desde sus propios términos definitorios y no susceptible de visualización”⁵⁵⁷. Dicho de otro modo, la interpretación de Copenhague al no poder comprender que el supuesto *dualismo* realmente procede del *embrollo*, asume irremediablemente el dogma, tal y como lo postula Bohr, de la imposibilidad de comprender enteramente los objetos subatómicos o cuánticos; de ahí que la interpretación de Copenhague considere erróneamente que la mecánica cuántica es intrínsecamente ininteligible. Consideración que como ya hemos visto rechazó rotundamente Popper, pues —entre otras cosas— el autor afirmó que una vez se desenmascara aquel embrollo o confusión en la aplicación de la teoría estadística, no se encuentra motivo alguno por el cual negar la posibilidad de que una partícula pueda poseer, en cierto momento, coordenadas físicas precisas.

Popper enfatizó que no existe ninguna dualidad partícula–onda en oposición a lo que declara constantemente la interpretación ortodoxa, sin embargo, en lo que respecta solo hasta el momento, no profundiza lo suficiente como para aportar una solución que despeje todas las inquietudes o que acaso liquide definitivamente el problema; aun así aquel problema logra ser reemplazado por otro que —tal vez— podría considerarse de menor gravedad, puesto que no implica ningún tipo de contradicción con la *realidad objetiva*, sino que, por su parte, plantearía ciertas inquietudes en la teoría estadística. Veamos como sucede esto.

En primer lugar, es innegable que el autor austriaco impugnó la *dualidad partícula-onda* no precisamente porque considere que choca con la intuición y/o el sentido común de nuestra realidad cotidiana, sino porque encuentra que en su interpretación prevalecen tratamientos inadecuados de la teoría probabilística, culpables de generar confusiones entre ciertos atributos de un *espacio muestral* y algunas propiedades físicas y concretas. Como ya hemos visto, la interpretación de Copenhague es —por así decirlo— una víctima ingenua del *embrollo cuántico*. Ahora bien, si se comprende esta primera denuncia interpretativa realizada por Popper⁵⁵⁸, las dos supuestas ‘imágenes’ de las que habla la interpretación de Copenhague (onda y partícula) solo serían una muestra o ejemplar de la confusión; la supuesta dualidad quedaría al descubierto como una simple ilusión, o en otras palabras, no habría ninguna dualidad cuántica, porque la *partícula* manifiesta ser efectivamente una propiedad física y real (una propiedad que es característicamente individual y concreta), mientras que por su parte la *onda* nunca estaría representando una propiedad física de una partícula individual, estaría representando algo totalmente diferente, por ejemplo, una propiedad del espacio

⁵⁵⁷ *Ibíd.*, p. 197.

⁵⁵⁸ POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 145.

muestral, que referiría a ciertas propiedades disposicionales o relacionales de las partículas.

Según la profesora y filósofa de la ciencia Carmen Sánchez Ovcharov:

Una función matemática y una propiedad física no son conceptualmente equiparables, argumenta Popper; por tanto, desde el rigor filosófico de la interpretación, las partículas materiales no tienen propiedades ondulatorias, no manifiestan rasgos ondulatorios en su comportamiento, y no poseen, por lo tanto, una naturaleza parcialmente ondulatoria. La confusión, el 'embrollo cuántico' se resuelve y queda que las partículas materiales únicamente llevan asociada una función sinusoidal (en forma de onda), el cuadrado de cuyo módulo representa la densidad de la probabilidad de hallar la partícula en el espacio; que es lo que se conoce como *la interpretación probabilística* de la Ecuación de Schrödinger. Queda únicamente un problema de partículas y sus posibilidades⁵⁵⁹.

Es así como Popper negó la *dualidad partícula-onda* y ofreció luces sobre la solución de algunos interrogantes interpretativos de la mecánica cuántica, pues las partículas indicarían ser propiedades físicas e individuales, mientras que, por su parte, las ondas manifestarían ser propiedades que no son ni físicamente individuales ni concretas, pero que obedecen a todo el espacio de configuración, el cual contiene las *condiciones generadoras* de toda su situación objetiva.

A pesar de que Popper manifestó que la presunta *dualidad* de la interpretación de Copenhague no sería en ningún momento un atributo de la naturaleza física, terminó por reconocer que, aun así, quedaría por resolver ciertos problemas de índole estadístico o probabilístico, pues como él mismo afirmó: "la forma de onda (en el espacio de configuración) de la función ψ es, desde el punto de vista, una especie de accidente que plantea un problema a la teoría de la probabilidad, pero que no tiene casi nada que ver con las propiedades físicas de las partículas"⁵⁶⁰.

Las partículas no poseerían —como si fuese una relación simétrica— propiedades que se pudiesen considerar físicamente ondulatorias y concretas, pero para comprender los efectos del patrón de interferencia, resulta necesario resolver el problema probabilístico y a su vez físico de cómo se da la interacción entre el electrón y la disposición experimental. Como se indicará un poco más adelante, Popper pretendió solventar este último problema que refiere a una explicación del patrón de interferencia, con recurso a la propuesta de Alfred Landé sobre lo que se denomina la tercera regla cuántica de Landé-Duane.

⁵⁵⁹ RIVADULLA, Andrés. Comp. Hipótesis y verdad en ciencia: ensayos sobre la filosofía de Karl R. Popper. Madrid: Editorial complutense S.A., 2004, p. 198.

⁵⁶⁰ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 73.

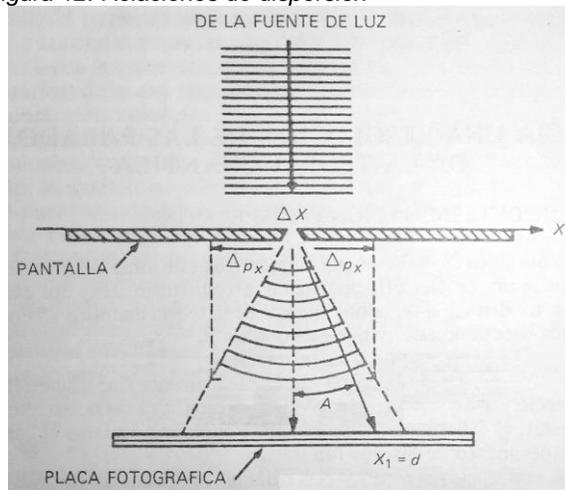
- 5) En la quinta tesis Popper examinó las reconocidas fórmulas⁵⁶¹ de Heisenberg, y enunció sus propias consideraciones sobre lo que ellas estarían realmente estableciendo.

$$1. \Delta E \Delta t \geq h$$

$$2. \Delta P_x \Delta Q_x \geq h$$

Popper⁵⁶² afirmó que mientras la interpretación de Copenhague interpreta aquellas dos fórmulas como “relaciones de indeterminación o incertidumbre”, y que a su vez ellos también consideran que “[...] podían interpretarse como determinantes de ciertos límites superiores a la *precisión de nuestras mediciones* (o a ciertos límites inferiores a su imprecisión).”⁵⁶³, él por su parte, reinterpreta aquellas dos fórmulas como *relaciones estadísticas de dispersión*. Véase la siguiente imagen⁵⁶⁴:

Figura 12: Relaciones de dispersión



Según Popper la fórmula $\Delta X \Delta P_x \geq h$ dice que entre más estrecha se hace la ranura ΔX , mayor será la propensión de las partículas a dispersarse hacia la derecha o hacia la izquierda de la dirección vertical.

⁵⁶¹ *Ibíd.*, p. 73.

⁵⁶² Véase nota 38_a de: POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 73-74.

⁵⁶³ *Ibíd.*, p. 74.

⁵⁶⁴ La imagen es extraída del tercer volumen del *Post Scriptum* de Popper en: *Ibíd.*, p. 162. Según Popper, la fórmula Heisenberg para la práctica experimental se interpreta como una fórmula de relación de dispersión, es “[...] un enunciado de probabilidad *singular* y, por lo tanto, como determinante de la propensión de una sola partícula a ‘dispersarse’: la fórmula predice que la dispersión estadística real se observará si repetimos el experimento en cuestión muchas veces, cada vez con una sola partícula”. En: *Ibíd.*, p. 161.

Popper explicó que entiende por relaciones estadísticas de dispersión, a través de algunos ejemplos de la aplicación de la teoría ondulatoria de la luz, en donde los rayos de luz que se mueven en cierta dirección atraviesan la ranura de una pantalla. El autor⁵⁶⁵ afirmó que, por ejemplo, en el caso del experimento de una sola ranura, la fórmula de Heisenberg solamente dice que al estrechar la ranura será más amplia la propensión a que las partículas de fotones o electrones se dispersen, nada más; por lo cual, la naturaleza misma de la teoría cuántica se muestra estadística en la medida que indaga por los ángulos o por la distribución de la dispersión, así que el recurso a la probabilidad en la teoría cuántica nada concierne con una presunta nesciencia del sujeto. Como resaltó el profesor Ramón Queraltó, el autor austriaco pretendió mostrar que la teoría cuántica involucra aquellas relaciones de dispersión debido a su naturaleza estadística, pues “al plantear problemas en términos de probabilidad, sus resultados no pueden ser sino de esa naturaleza”⁵⁶⁶.

Una vez aclarado que son las relaciones estadísticas de dispersión, en esta quinta tesis Popper afirmó:

Mi tesis es que esas fórmulas establecen ciertos límites inferiores a la *dispersión estadística* de los resultados de sucesiones de experimentos: son *relaciones estadísticas de dispersión*. Por ello limitan la precisión de ciertas predicciones individuales. Pero también afirmo que *para contrastar aquellas relaciones de dispersión tenemos que ser capaces (y lo somos) de efectuar mediciones que sean mucho más precisas que la extensión o la amplitud de la dispersión*⁵⁶⁷.

De modo que Popper interpretó las fórmulas de Heisenberg como *relaciones estadísticas de dispersión* y asimismo planteó que una posible y conjeturable distribución efectuada a partir de una teoría probabilística podría ser claramente contrastable. Para ilustrar de qué manera podría suceder (es decir, de qué manera es posible lograr una contrastación empírica de una teoría probabilística o estadística, que señale las particularidades de una relación de dispersión), Popper empleó un pequeño ejemplo análogo al que sigue: supóngase un lugar, sea un país o una región como Nariño, además supóngase que deseamos saber de ese país o región, cuál es la distribución o dispersión de las personas que allí cultivan café. Entonces, para dicha tarea, claramente habremos de utilizar una teoría estadística con la cual creamos obtener resultados muy aproximados. Pues bien, las relaciones de dispersión podrían ser contrastadas cada vez que se obtenga —no se excluye que con otra teoría estadística— una mayor “[...] precisión que exceda en mucho la extensión de la dispersión predicha”⁵⁶⁸. Lo anterior es una muestra de cómo Popper

⁵⁶⁵ *Ibíd.*, p. 162.

⁵⁶⁶ QUERALTÓ, Ramón. Karl Popper, de la epistemología a la metafísica. Sevilla: Universidad de Sevilla, 1996, p. 45.

⁵⁶⁷ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 74.

⁵⁶⁸ *Ibíd.*, p. 74.

contempla fehacientemente que es posible obtener resultados de dispersión mucho más precisos para la teoría cuántica. Por ello en analogía recalcó:

“Nuestras leyes estadísticas pueden decirnos que no podemos reducir la dispersión por debajo de cierto límite. Pero concluir de ahí que somos incapaces de ‘medir’ las posiciones de los lugares donde vive la gente con mayor precisión que la mínima dispersión estadística es un error”⁵⁶⁹.

Como vemos, Popper insistió en la posibilidad de hallar resultados cada vez más precisos para las *relaciones estadísticas de dispersión*, que las permitidas por las aún vigentes teorías estadísticas. Los motivos ulteriores que justifican ésta consideración, se encuentran en los diferentes argumentos expuestos en tesis posteriores.

- 6) En la sexta tesis, Popper manifestó su postura realista con respecto a las dos fórmulas de Heisenberg. Según el autor austriaco, las fórmulas se refieren:

“[...] a una población de *partículas* (o experimentos con *partículas*) que están, muy adecuadamente, dotadas de posiciones y momentos (y masa-energía y varias otras propiedades físicas tales como el spin)”⁵⁷⁰.

Según Popper, las respuestas estadísticas de la mecánica cuántica representarían poblaciones de partículas. Toda partícula, a diferencia de lo que establece la Interpretación de Copenhague, poseería una posición y un momento precisos. En consideración del autor, si bien todavía no podemos conocer con absoluta precisión aquellas magnitudes para ninguna partícula individual, esto no quiere decir, o, mejor dicho, no implica lógicamente que una partícula en sí misma carezca de un momento y una posición definida. Además, Popper reconoció a partir de la evidencia aportada por la teoría cuántica (y no precisamente por el marco conceptual de la interpretación de Copenhague que asume equivocadamente el dogma de las relaciones de incertidumbre) que las ya mencionadas *relaciones estadísticas de dispersión*, mostrarían que habría: “1) la dispersión de la energía si *tomamos disposiciones* para un corto límite de tiempo, y 2) la dispersión del momento si *tomamos disposiciones* para una posición estrechamente limitada”⁵⁷¹. Sin embargo, lo que más llama la atención es la subsecuente afirmación del autor, según la cual: “[,,] esto solo significa que hay límites a la *homogeneidad estadística* de nuestros resultados experimentales”⁵⁷².

En ésta sexta tesis, Popper también analizó los aspectos axiomáticos de la teoría cuántica. Si bien estos análisis formales poseen innegable importancia, lo es aún

⁵⁶⁹ *Ibíd.*, p. 74-75.

⁵⁷⁰ *Ibíd.*, p. 75.

⁵⁷¹ *Ibíd.*, p. 75.

⁵⁷² *Ibíd.*, p. 75.

más para nuestro caso, el insistir en la comprensión de la anterior declaración, en donde se afirma que las relaciones estadísticas de dispersión indicarían ciertos *límites*, repetimos: “a la *homogeneidad* estadística de nuestros resultados experimentales”⁵⁷³. Para explicar cómo sucede esto, hay que advertir que debemos escapar obligatoriamente a lo que en exclusividad es terminantemente señalado por la sexta tesis, e intervenir momentáneamente con lo que sería una pequeña aproximación a la postura propensivista que tan solo es expuesta —y desde otro ángulo— en su décima tesis.

Ahora bien, ¿a qué se refiere Popper con *homogeneidad* estadística y que relación posee dicha homogeneidad con los *límites* que parece mostrar la teoría de la mecánica cuántica?

Como sabemos, la teoría estadística de la mecánica cuántica a partir de las relaciones de indeterminación de Heisenberg señala la existencia de ciertos *límites* en la precisión de los resultados experimentales; los mismos *límites* supuestamente indicarían de forma tajante lo que podríamos ciertamente conocer del mundo subatómico. No obstante, la novedad de Popper consiste en identificar una presunta *homogeneidad* que estaría oculta y presente en todas las tradicionales y reconocidas teorías estadísticas, y que además estaría influenciando el mismo proceso que determina y distingue aquellos *límites* estadísticos. ¿Pero cómo sucede aquello en las teorías estadísticas? Según parece indicar Popper, es como si las teorías estadísticas considerasen la probabilidad de los sucesos, elementos o propiedades que pertenecen a un específico espacio muestral siempre con el mismo rasero y/o proceder —en la medida o cálculo estadístico— para un diverso conjunto de casos posibles, y eso a pesar de que pudiesen existir algunas posibilidades iniciales con mayor «peso» que otros, y a pesar de que aquellas mismas posibilidades fuesen —presumiblemente— dependientes de las condiciones en el arreglo o conjunto situacional en que se encuentran inmersas. De modo que los *límites* hallados por la estadística tradicional, procederían irremediabilmente de considerar tácitamente una *homogeneidad estadística* en la teoría cuántica; es decir, habría una *homogeneidad* porque precisamente no se contempla —en ningún momento— la existencia de ciertas posibilidades que inicialmente predominen sobre otras, ni la posibilidad de que exista una especie de variabilidad en el equilibrio de todo el conjunto situacional. Luego, Popper no rechazó que aquellos *límites*, que en un principio fueron mencionados como *límites* a la precisión experimental, puedan ser efectivamente superados, puesto que consideró, que por medio de lo que sería una nueva teoría estadística que contemple la existencia de posibilidades con mayor «peso» que otras, y que —a su vez— también contemple aquello que podría denominarse como las condiciones del *espacio situacional*, se podría obtener mejores resultados conjeturables que correspondan efectivamente con los resultados empíricos o experimentales. Se apela a la necesidad de una nueva teoría estadística o probabilística en la que no siempre se tenga que cumplir

⁵⁷³ *Ibid.*, p. 75.

—constantemente y de forma tajante— con aquella *homogeneidad estadística* implícita en todas las tradicionales teorías del cálculo de probabilidades. La nueva teoría estadística, como se puede sospechar, sería la teoría propensivista del cálculo de probabilidades.

- 7) En la séptima tesis Popper reconoció que la interpretación de Copenhague también logra aceptar que la dispersión que muestra las fórmulas de Heisenberg son esencialmente estadísticas. No obstante, el autor austriaco apunta a que esta interpretación no se estaría percatando del importante hecho de que para encontrar “[...] mediciones, que tienen que ser más precisas que la dispersión”⁵⁷⁴, es necesario emplear mediciones que sean a su vez *retrodicciones*; así como tampoco se percataría de que aquellas mediciones retrodictivas servirían a su vez para contrastar la teoría.

Ante lo dicho anteriormente puede surgir la pregunta acerca de ¿qué son las mediciones retrodictivas? Si bien Popper al respecto no ofreció definición alguna, es posible acercarnos a una comprensión sencilla de lo que ellas estarían indicando para la investigación empírica y experimental. Se puede afirmar —en lo que sería un simple y escueto acercamiento a la complejidad sobre aquel tipo de mediciones—, que estas hacen referencia a mediciones que atienden al pasado de alguna situación física, o para el caso de la teoría cuántica, son mediciones que atienden al pasado de una partícula subatómica. Y como se afirmó al inicio de la presente séptima tesis, según Popper, las mediciones que son retrodicciones serían las que precisamente nos podrían ayudar a obtener una mayor precisión en los resultados, que aquellos conferidos por los supuestos *límites* que señala la interpretación de Copenhague.

Según Popper, la interpretación de Copenhague siempre sostuvo —y sostiene— una entera animadversión hacia las mediciones que son retrodicciones. Incluso el mismo Heisenberg, quien en un principio las llegó a considerar como mediciones posibles, manifestó en cierta oportunidad que dichas mediciones eran *carentes de sentido*, en especial “[...] cuando se vio que no había vectores en el espacio de Hilbert que correspondiesen a mediciones más precisas que las fórmulas (1) y (2) [es decir, las fórmulas de Heisenberg]”⁵⁷⁵. Lo anterior le resultó completamente absurdo a Popper, pues según él:

“[...] este hecho no crea ninguna dificultad. *Los vectores en el espacio de Hilbert corresponden a aseeraciones estadísticas de la teoría estadística*. No dicen nada sobre las mediciones ni sobre las *contrastaciones* de las aseeraciones estadísticas por medio de la determinación de la posición y el momento o de la energía y el tiempo de las partículas individuales”⁵⁷⁶.

⁵⁷⁴ *Ibíd.*, p. 80.

⁵⁷⁵ *Ibíd.*, p. 81. Entre corchetes aclaración incluida por el autor de la presente monografía.

⁵⁷⁶ *Ibíd.*, p. 81.

Indagando sobre los motivos que llevan al desprecio de las mediciones retrodictivas por parte de la interpretación de Copenhague, Popper encontró que su recurso o implementación ocasionaría problemas con los principios dogmas de aquella interpretación ortodoxa, pues aquellos supondrían que es imposible conocer tanto el pasado como el futuro de una partícula subatómica. Al respecto, en un esfuerzo de Popper por parafrasear las ideas del propio Heisenberg, las mediciones que son retrodicciones según este último autor: “[...] ‘no pueden usarse nunca como condiciones iniciales en algún cálculo del progreso futuro del electrón y [que] no pueden, por tanto, ser sometidas a verificación experimental’ están desprovistas de significación física”⁵⁷⁷. Sin embargo, ante dicho panorama Popper realizó las siguientes dos objeciones: a) los enunciados de contrastación que miran hacia el pasado también son importantes para la teoría cuántica, y b) es un error considerar que los enunciados de contrastación que miran hacia el pasado de una partícula no puedan ser realmente contrastables.

Popper también alegó que, entre los fundamentos de la teoría cuántica, se halla precisamente el considerar que *cualquier tipo de medición* puede ser efectivamente contrastada, en tanto que se puedan obtener predicciones sobre la repetición de ciertos resultados empíricos. De modo que realmente no habría motivo alguno por el cual se pueda justificar un rotundo rechazo a las mediciones que son retrodicciones. Aun así, el rechazo de Heisenberg y la interpretación de Copenhague a las mediciones que son restricciones, alcanza tal nivel, que inclusive realizan afirmaciones como la siguiente: “es una cuestión de creencia personal si a tal cálculo que concierne a la historia pasada del electrón puede atribuírsele alguna realidad física o no”⁵⁷⁸. Pero Popper no solo encontró esta última afirmación absurda, sino que además se atrevió a sentenciar que las mediciones retrodictivas hacen parte de un método que es incuestionablemente indispensable para la teoría de la mecánica cuántica; un método que, según Popper, incluso permitiría abandonar cualquier duda de si: “[...] *un electrón puede ‘tener’ una posición y un momento precisos. Sí que puede*”⁵⁷⁹.

- 8) En la octava tesis Popper señaló que existe una estrecha relación entre la teoría de la mecánica cuántica y la interpretación del cálculo de probabilidades.

Puesto que el análisis acerca de las interpretaciones de la probabilidad ya fue esbozado con antelación, nos resulta aún más interesante adentrarnos con mayor profundidad en las consideraciones de Popper sobre la probabilidad propensivista, que en principio son desarrolladas como evolución de las otras dos interpretaciones objetivas, a saber, de la interpretación clásica y de la interpretación frecuencial de

⁵⁷⁷ HEISENBERG, Werner citado por Popper en: *Ibíd.*, p. 81.

⁵⁷⁸ *Ibíd.*, p. 82-83.

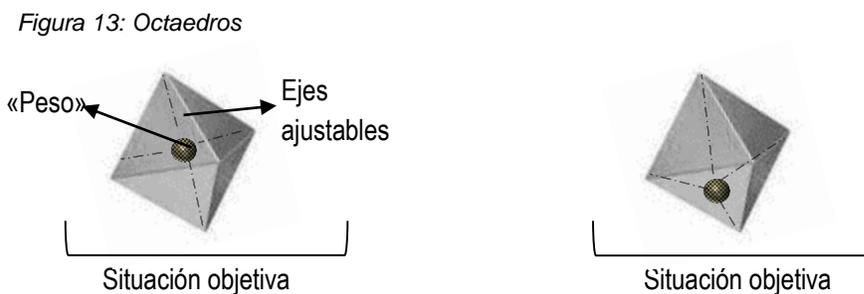
⁵⁷⁹ *Ibíd.*, p. 83.

la probabilidad. Al respecto, veamos aquello que inicialmente considero Popper acerca de su nueva interpretación:

Al proponer la interpretación propensivista, propongo considerar los *enunciados de probabilidad* como enunciados sobre alguna medida de una propiedad (una propiedad física, comparable a la simetría o la asimetría) de *toda la disposición experimental repetible*; una medida, más exactamente, de una *frecuencia virtual*; y propongo considerar los *enunciados estadísticos* como enunciados sobre la *frecuencia real* correspondiente⁵⁸⁰.

Para entender a cabalidad la anterior afirmación de Popper, debemos proseguir con el análisis sobre la evolución de la probabilidad, mientras tanto denotemos la anterior aseveración como *propuesta temporal de las propensiones*.

Para empezar, ya conocemos que el ejemplo más sencillo sobre el tránsito evolutivo de la *concepción clásica de la probabilidad* a la nueva propuesta propensivista, remite al sencillo ejemplo lúdico de los dados trucados, cuyos lados o caras denotarían posibilidades desiguales o no-equiosibles entre sí. No obstante, para profundizar un poco más en el desarrollo de aquella propuesta, resulta pedagógico nuevamente imaginar otra situación lúdica. Por ejemplo, imaginemos ahora un poliedro, o para ser más precisos, un octaedro regular, y además imaginemos que en su centro posee un trozo esférico de plomo cuya posición es ajustable, tal y como aparece en la siguiente ilustración⁵⁸¹:



Ante la situación propuesta, resulta evidente que mientras concibamos que el trozo de plomo se encuentra en una posición en la cual equidista de todas sus aristas, o en otras palabras, mientras aquel trozo de plomo se encuentre en el centro del octaedro regular, podemos fácilmente suponer, y contrastar empíricamente, que dicho octaedro regular tendría la misma posibilidad de caer para cada uno de sus lados, es decir que conservaría una incuestionable equiposibilidad (o en otras

⁵⁸⁰ *Ibíd.*, p. 90.

⁵⁸¹ Ilustración realizada por el autor de la presente monografía. Se advierte que no debe confundirse las propensiones con propiedades físicas de los objetos, pues las propensiones serían propiedades de toda la situación objetiva. En dicho sentido, el «peso» (el cual indica un grado de posibilidad) que se muestra en la imagen, pretende representar que un cambio en las posibilidades, implica también, un cambio en las propensiones.

palabras, aplicamos el principio de indiferencia). Pero si luego ajustamos aquel trozo de plomo, y lo ubicamos en un lugar diferente que no equidiste de igual forma de todas las aristas, claramente aquella equiposibilidad se habría desvanecido por entero, y en consecuencia estaríamos ante un nuevo caso en el cual obviamente se produce una mayor probabilidad de que el octaedro caiga con preferencia sobre una de sus caras en particular.

En dicha circunstancia, es de notar que no solo habríamos cambiado la posición del «peso» del trozo de plomo (o posibilidades), sino que además también habríamos cambiado toda la *situación objetiva* del arreglo experimental y por ende la *distribución de probabilidad*, o quizá sea mejor decir que entonces habríamos cambiado las propensiones. En consecuencia, habría que considerar el importante hecho según el cual, las propensiones no serían de ninguna manera propiedades físicas de las cosas, sino que son propiedades de la situación física objetiva total. Según Popper:

“Las propensiones no son, pues, propiedades de las partículas sino de la situación física objetiva; por ejemplo, de una situación experimental”⁵⁸².

Popper le confiere realidad a las propensiones, pero no como propiedades singulares de las cosas físicas, sino como propiedades relacionales de la *situación objetiva* o como propiedades disposicionales. Por ello —parafraseando a Popper⁵⁸³— aquello que constituimos como propensión sería una especie abstracta de propiedad física, mas no habría que desconocer que ciertamente se trata de una propiedad física real. Debido a que las propensiones serían reales, podrían ser claramente sometidas a contrastación empírica.

Precisemos ahora dos aspectos importantes que resulta necesario comprender: 1) los enunciados de probabilidad o propensión ofrecerían mediciones o resultados sobre *frecuencias «virtuales»* que se remiten a medidas hipotéticas o «pesos» que suponemos existentes en la realidad empírica, mediciones obtenidas por cierta teoría probabilística (conjeturada), que obviamente emplea cierta específica axiomatización matemática. 2) La realidad experimental, por su parte, nos ofrece enunciados estadísticos sobre las *frecuencias relativas* de los sucesos o elementos que son medidos empíricamente, siempre y cuando el experimento sea claramente repetible según las condiciones que el procedimiento experimental establece; en cuanto a este último aspecto resulta importante señalar que —según Popper⁵⁸⁴— los experimentos deben ser independientes, es decir, deben estar libres de

⁵⁸² Cita extraída de un añadido realizado por Popper al Post Scriptum en el año 1980, y que aparece en la nota número 63 de aquel mismo libro. POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 90.

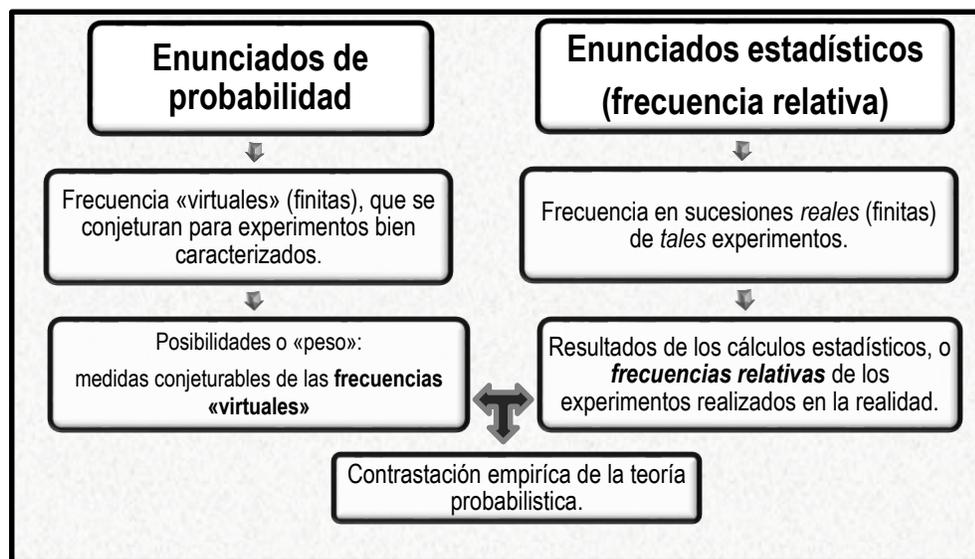
⁵⁸³ *Ibíd.*, p. 91.

⁵⁸⁴ Véase: POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 330.

dependencia o efectos secundarios, además, los primeros experimentos no deben afectar a los posteriores porque de otro modo el experimento operaría bajo nuevas condiciones (en otras palabras, no deben cambiar las condiciones pertinentes).

Dicho todo lo anterior, ahora podemos retornar a lo que en párrafos anteriores hemos denominado *la propuesta temporal de las propensiones*, y cuyas ideas principales son susceptibles de sintetizar en el siguiente esquema⁵⁸⁵:

Esquema 5: Propuesta temporal de las propensiones



En lo que se ha denominado —en la presente monografía— *la propuesta temporal de las propensiones*, el autor austriaco estaría indicando que las propensiones serían plenamente contrastables en el sentido de que es posible comparar, si las mediciones obtenidas por las *frecuencias «virtuales»* de una teoría probabilística (conjeturada) realmente corresponden con las *frecuencias relativas* obtenidas por la realidad experimentable. En caso de evidenciar empíricamente dicha correspondencia, las propensiones habrían sido finalmente contrastadas. La anterior distinción entre los enunciados de probabilidad y los enunciados estadísticos sería solamente temporal, pues una vez se han contrastado las propensiones, los enunciados evidenciarían corresponder entre sí. En conclusión, según Popper⁵⁸⁶ la teoría de la probabilidad como propensión claramente puede ser una teoría puesta a prueba en la realidad experimental, es decir, puede ser claramente contrastada o, en otras palabras, puede ser falseada.

⁵⁸⁵ Esquema realizado por el autor de la presente monografía.

⁵⁸⁶ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 90.

Popper resumió su punto de vista sobre la contrastación de las propensiones, en su primer volumen del *Post Scriptum: Realismo y el objetivo de la ciencia*, de la siguiente manera:

[...] es esencial para una sucesión de experimentos repetidos, que cada uno de ellos se lleve a cabo bajo las mismas condiciones enunciadas y que, por esa misma razón, los experimentos sean *independientes*, lo que no es más que otro modo de decir que los experimentos deben estar libres de efectos secundarios. La probabilidad o propensión hipotéticamente estimada se contrastará por medio de distribuciones de frecuencias en esas distribuciones independientes. (La distribución de las frecuencias de una sucesión independiente debe ser 'normal' o 'gaussiana'; y como consecuencia, tiene que indicar claramente si la propensión conjeturada debe considerarse o no como refutada o corroborada por la contrastación estadística)⁵⁸⁷.

Llegados a este nivel, hay que recordar que Popper presentó su propuesta bajo el rotulo 'metafísico', es decir como 'teoría metafísica de la propensión'. Pero como vemos, no se trata de que sea 'metafísica' debido a que su teoría no es contrastable, pues, de hecho, como se habrá podido advertir, sí que puede serlo. La teoría de la propensión de Popper puede ser contrastable, y aquel rótulo de 'metafísica' puede atribuírsele solo en parte debido a su incompletitud: hace falta por desarrollar ciertos elementos formales y axiomáticos de la teoría propensivista, que permitan que las *frecuencias «virtuales»* correspondan efectivamente con las *frecuencias relativas (empíricas)*.

Pero si bien lo anterior puede tomarse como un aspecto por el cual atribuir un presumible carácter 'metafísico' a la teoría propensivista (según la ausencia —parcial— de ciertas condiciones axiomáticas requeridas para su contrastación empírica), también existen otras razones por las cuales Popper consideró que su propuesta es de índole metafísica, pero aquellas serán desarrolladas más adelante.

Por otro lado, es de aclarar que en la presente monografía no resulta conveniente desarrollar una descripción detallada de los aspectos formales que hasta el momento logra incluir la axiomatización de la propuesta propensivista. Aquellos problemas no escapan de ser de índole matemática. Un análisis de dichos aspectos formales resultaría muy dispendioso y por lo demás requiere de un enfoque mayormente técnico y especialmente formal. Quien estuviese interesado en dicho tema, puede obtener un adecuado acercamiento de los aspectos formales a través del análisis que sucintamente realiza David Miller⁵⁸⁸ en su artículo "Tres pasos de las frecuencias a las propensiones". Resulta pertinente señalar que la propuesta propensivista —tal y como lo afirmó Popper— debe incorporar claramente en su axiomatización aquello que conocemos como probabilidad condicional, cuya

⁵⁸⁷ POPPER, Karl. *Realismo y el objetivo de la ciencia*. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 330.

⁵⁸⁸ MILLER, David. Tres pasos de las frecuencias a las propensiones. En: revista *Praxis Filosófica Nueva serie*, No. 24, enero-junio 2007: 5-20 ISSN: 0120-4688.

notación se expresa como $P(A|B)$ o $P(A/B)$, es decir como la probabilidad de A dado B.

- 9) En su novena tesis Popper hizo referencia a la denominada 'reducción del paquete de ondas' o 'derrumbamiento del vector estado'⁵⁸⁹, y afirmó que este no sería un efecto exclusivo de la teoría cuántica, sino de toda la probabilidad. En síntesis, Popper pretendió mostrar que efectuar una medición no *obliga* en ningún momento a la partícula a que tome en ese instante preciso —por ejemplo— una posición determinada; así mismo rechazó aquel supuesto según el cual, antes de la efectuada medición, la partícula se encontraría en una supuesta superposición de varios estados.

A consideración de Popper, el denominado *colapso de ondas* sería simplemente una circunstancia atribuible a la generalidad de la teoría de la probabilidad. Imaginemos en términos básicos el siguiente caso que ofrece Popper⁵⁹⁰ con base en ciertos ejemplos que recoge de Einstein y que a su vez también fueron debatidos por Heisenberg. Imaginemos una situación hipotética según la cual se lanza un haz de luz que impacta un espejo semitransparente. De aquella situación podríamos suponer que la probabilidad de que aquel haz de luz sea reflejado por el espejo es de $\frac{1}{2}$, y en correspondencia que la probabilidad de que el haz de luz traspase aquel mismo espejo será también de $\frac{1}{2}$. Es decir, mientras no hayamos *medido* la probabilidad siempre tendremos $\frac{1}{2}$ para ambos casos de aquella misma situación experimental; formalmente esto equivale a

$$(i) p(a, b) = \frac{1}{2} = p(-a, b)$$

Donde " $-a$ " representa el suceso de la reflexión de la luz. Como se observa, aquella es una situación derivable de la circunstancia probabilística y no tiene nada absolutamente que ver con alguna presunta "superposición de estados". Por otro lado, cuando se procede a *medir* aquella probabilidad, los valores encontrados que puede adquirir aquella situación pueden ser o bien 0 (la luz fue reflejada) o 1 (la luz pasa por el espejo); esta situación es similar a lo que Copenhague interpreta como la circunstancia según la cual, al momento de efectuar la *medición* se muestra un presunto "colapso del paquete de ondas", o "colapso de ondas". Ahora supongamos que ocurre " $-a$ " (la luz es reflejada), entonces tenemos que:

$$(ii) p(a, -a) = 0$$
$$(iii) p(-a, -a) = 1.$$

⁵⁸⁹ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 93.

⁵⁹⁰ *Ibid.*, p. 95-96

Popper advirtió que lo importante que debemos identificar es que el paquete de probabilidad del haz de luz, o $p(a,b)$ sigue siendo $\frac{1}{2}$, y que $p(a,-a) = 0$ es otra probabilidad distinta ya que este “se refiere a un experimento totalmente diferente que, aunque empieza como el primero, termina según su especificación sólo cuando descubrimos (con la ayuda de una placa fotográfica) que el fotón ha sido reflejado”⁵⁹¹.

Ahora veamos como Heisenberg interpreta aquella misma situación propuesta cuando el fotón de luz es reflejado:

Supongamos que encontramos con la ayuda de la placa fotográfica que un fotón (que es indivisible) ha sido reflejado. Entonces, la probabilidad de encontrar el fotón en el otro paquete [de fotones que atraviesan el espejo] inmediatamente llega a ser cero. Por lo tanto, el experimento de medir la posición del fotón en el paquete reflejado ejerce una acción a distancia (la reducción del paquete de ondas) en la posición ocupada por el paquete [de fotones] transferidos [=no reflejados], y se ve que esa acción es propagada con una velocidad mayor que la de la luz⁵⁹².

En el anterior comentario de Heisenberg se evidenciaría una confusión, ya que en el caso propuesto no hubo ninguna acción a distancia sino solamente dos experimentos diferentes: (1) un experimento con fotones antes de llegar al espejo, y (2) otro experimento con fotones reflejados por el espejo; cada experimento con sus funciones de probabilidad diferentes, en el primero (i) y en el segundo (ii, iii). Al respecto el profesor John Auping comentó:

El hecho de que $[p(a,-a) = 0]$ no cambia para nada la otra función de que $[p(a,b) = \frac{1}{2}]$. Y la afirmación de Heisenberg, de que $[p(a,b) = \frac{1}{2}]$ se ‘transforma’ o ‘se reduce’ a $[p(a,b) = 0]$ por una observación de posición es un error lógico y síntoma de una notable falta de comprensión de lógica elemental. No parece que Heisenberg estaba pensando con la cabeza, cuando hacía estas afirmaciones⁵⁹³.

Popper declaró que la situación del colapso de ondas, no es más que un hecho que se manifiesta en cualquier teoría de la probabilidad, y por lo tanto aquello no sería —tal y como presupone la interpretación de Copenhague— un rasgo característico de la teoría cuántica. Popper ejemplificó esto del siguiente modo:

⁵⁹¹ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 96.

⁵⁹² Heisenberg citado por Popper en: *Ibíd.*, p. 96. Se ha incluido varias frases aclaratorias tal y como aparece citado por John Auping en: AUPING, John. Una revisión de las teorías sobre el origen y la evolución del universo: física, metafísica, ciencia ficción y (a)teología en la cosmología antigua y moderna. Mexico D.F: Universidad Iberoamericana, 2009, p. 451.

⁵⁹³ AUPING, John. Una revisión de las teorías sobre el origen y la evolución del universo: física, metafísica, ciencia ficción y (a)teología en la cosmología antigua y moderna. Mexico D.F: Universidad Iberoamericana, 2009, p. 451.

Supongamos que lanzamos un penique al aire. La probabilidad de cada uno de los estados posibles es igual a $\frac{1}{2}$. Mientras no miremos el resultado de nuestra tirada, podemos seguir diciendo que la probabilidad será $\frac{1}{2}$. Si nos agachamos a mirar, la probabilidad cambia 'de repente': una probabilidad se hace 1 y la otra 0. ¿Ha habido un salto cuántico debido a que hayamos mirado? ¿Ha influido nuestra observación en el penique? Es obvio que no. (el penique es una partícula 'clásica'). Ni siquiera la probabilidad o la propensión han sido influidas. Aquí, como en cualquier reducción del paquete de ondas, no está implicado nada más que un principio trivial: si nuestra información contiene el resultado de un experimento, entonces la probabilidad de ese resultado, *por lo que respecta a esta información* (considerada parte de la especificación del experimento) será siempre, de modo trivial, $p(a, a) = 1$ ⁵⁹⁴.

En una entrevista que realizó el filósofo y matemático español Jesús Mosterín a Karl Popper, el autor austriaco también explicó lo anterior a través de otro ejemplo que extrae de De Broglie, veamos:

De Broglie explicó el colapso del paquete de ondas del siguiente modo. Uno construye una máquina que consiste en una caja que puede partirse en dos partes por el medio. La división que parte la caja tiene espejos en sus lados interiores. Así que tenemos dos cajas con espejos en sus lados. Empezamos con la caja inicial y una partícula dentro, para lo que de Broglie da las ecuaciones. La partícula se mueve muy deprisa entre las dos partes. Dividimos la caja en dos, y enviamos una a Tokyo y otra a París. Se pueden describir estas cajas. Abrimos la caja en Tokyo y encontramos la partícula dentro. En ese mismo momento —dice de Broglie— la onda en París colapsa. Esa es la descripción de De Broglie del colapso del paquete de ondas. Imaginemos ahora una situación parecida, con una caja provista de aislamiento acústico en vez de espejos. Ponemos un guisante dentro y dividimos la caja con una pared acústicamente aislante. No sabemos dónde está el guisante. Enviamos una caja a Tokyo y otra a París. Abrimos la caja de Tokyo y encontramos el guisante. En ese mismo momento la probabilidad de encontrar el guisante en París (que hasta entonces había sido un medio) se vuelve cero. Y los guisantes no siguen las leyes de la mecánica cuántica, sino las de la clásica. Por tanto, no se trata de un efecto cuántico, sino de un simple asunto probabilista⁵⁹⁵.

Según Popper, la partícula siempre poseería un estado concreto, pese a que la teoría probabilística —hasta ahora— solamente lograra identificar para la teoría cuántica aquella denominada *función de probabilidad*, que manifiesta ciertos posibles estados de una partícula para los momentos en que finaliza un experimento. La teoría probabilística estaría siendo empleada para los casos en los

⁵⁹⁴ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 97-98.

⁵⁹⁵ MOSTERÍN, Jesús. Entrevista con Karl Popper. En: *Humánitas: EPISTEME NS*, Vol. 22, N° 1, 2002, p. 109.

cuales únicamente se realiza una *medición predictiva*; al parecer⁵⁹⁶, dichas teorías probabilísticas solamente lograrían conocer de forma efectiva la *medida* o la distribución de probabilidad que posee cierta partícula específica una vez finaliza el procedimiento empírico (es decir, cuando por ejemplo choca la partícula contra una placa fotográfica). Pero lo que acontece previamente a dicha *medición* realizada sería una circunstancia donde la teoría probabilística no logra tomar valores efectivos (o resultados conjeturales de la nueva dispersión (virtual) que sean más precisos), pues se estarían excluyendo —u omitiendo— *formalmente* ciertas *probabilidades relativas*⁵⁹⁷, que surgirían respecto a las que serían nuevas especificaciones impuestas al conjunto del arreglo experimental. En relación con lo dicho anteriormente, según Popper, cuando se cambian las especificaciones experimentales se generan otras *condiciones situacionales*, porque cambia el *arreglo experimental*, lo cual finalmente influye para que se produzca una distribución de probabilidades totalmente diferente a la generada únicamente por aquella *medición predictiva*. Veamos esto con mayor detalle.

En primer lugar, resulta obvio que si cambian las especificaciones que tendría cierto experimento, entonces también cambia la *situación objetiva*, o, en otras palabras, cambia el *arreglo experimental* y por ende las *condiciones situacionales*. Asimismo, debe quedar claro que la especificación experimental (o el arreglo experimental) que se emplea para medir una partícula cuando finaliza la experimentación (medición predictiva), debería ser otra muy diferente a la especificación que requeriría aquella misma partícula para los momentos previos a finalizar la experimentación. Y, en segundo lugar, es de considerar que la especificación experimental en gran medida condiciona la distribución de probabilidad y por ende la propensión de la partícula a adoptar cierto estado específico y concreto. De modo que una cosa es la distribución de probabilidad (o la curva de distribución normal) que se manifiesta cuando finaliza el experimento, y otra sería la distribución de probabilidad que se manifestaría —por ejemplo— en medio del procedimiento experimental. Por lo tanto, si cambia la especificación experimental, también cambian las propensiones de la partícula a adoptar cierto tipo de estado. Aquel denominado “*colapso*” de la distribución probabilística sería una muestra del cambio de las condiciones impuestas en el arreglo experimental, y por ende también un cambio de las propensiones.

⁵⁹⁶ Como se dijo antes en la explicación de la séptima tesis del *Post Scriptum*, Heisenberg en varias ocasiones vacila con respecto a la posibilidad de mediciones retrodictivas. Al respecto, puede verse la nota 598 de la presente monografía, en donde se cita al propio Heisenberg, y su postura en torno a las mediciones en la teoría de la mecánica cuántica.

⁵⁹⁷ Según Popper, las probabilidades relativas “[...] son relativas respecto a lo que vamos a considerar una repetición de nuestro experimento; o, dicho de otro modo, son relativas respecto a qué experimentos son, o dejan de ser, considerados pertinentes para nuestra contrastación estadística”. En: POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: *Teoría cuántica y el cisma en física*. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 95.

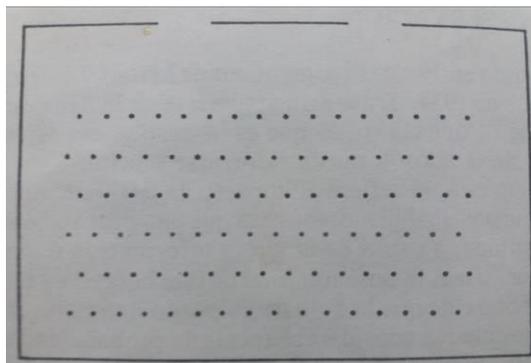
La distribución de probabilidad de un experimento cuando finaliza es completamente diferente a la distribución de probabilidad en los momentos previos a finalizar, puesto que serían diferentes las especificaciones experimentales y/o *condiciones situacionales* de la partícula; la teoría de la probabilidad solamente —hasta el momento— logra conocer de manera efectiva (o *medir*) la primera distribución de probabilidad para la *medición predictiva* sobre alguno de los estados de un par de variables conjugadas, desconociéndose —entre otras cosas— la forma axiomática de hallar las *probabilidades relativas* de una partícula previas al momento de concluir el experimento⁵⁹⁸.

Popper⁵⁹⁹ ejemplifica esto último a través de un tablero de billar romano, en el que se deja rodar una bola real que desciende por un tablero que posee varias clavijas con las que puede chocar la bola antes de concluir su recorrido hasta la parte inferior de un tablero. Algunas condiciones o variables experimentales que pudiese poseer aquella situación serían, por ejemplo: la inclinación de tablero y la forma en que se distribuyen por el tablero algunas clavijas con las que puede chocar la bola real antes de finalizar su recorrido.

⁵⁹⁸ Es de considerar que Heisenberg en su libro *Física y filosofía* afirmó: “cuando se ha determinado, en física cuántica, la función de probabilidad, mediante la observación en el momento inicial, puede calcularse según las leyes de la teoría cuántica la función de probabilidad para un instante posterior, y puede determinarse, por lo tanto, la probabilidad de que una cantidad medida arroje un resultado establecido. Podemos pronosticar, por ejemplo, la probabilidad de encontrar el electrón en un instante dado en un determinado punto de la cámara de niebla. Debe hacerse notar, sin embargo, que la función de probabilidad no representa por sí misma una serie de acontecimientos en el trascurso del tiempo. Representa una tendencia hacia acontecimientos, y nuestro conocimiento de ellos. **La probabilidad puede relacionarse con la realidad sólo si se cumple con una condición esencial: siempre que se efectúe una nueva medición para determinar una determinada propiedad del sistema. Sólo entonces la función de probabilidad nos permite calcular el probable resultado de la nueva medida.** El resultado de la medición será establecido, otra vez, en términos de la física clásica”. La negrilla ha sido añadida. En: HEISENBERG, Werner. *Física y filosofía*. Buenos Aires: Editorial la Isla, S. R. L., 1959, p. 31-32.

⁵⁹⁹ *Ibíd.*, p. 94. Se aclara que el ejemplo del billar romano únicamente es empleado para señalar que los cambios de las condiciones experimentales, generan un cambio en las propensiones. De modo que aquí Popper tan solo pretende indicar que la probabilidad es una cualidad del sistema complejo (o de la situación objetiva), y que no es atribuible a un exclusivo elemento del sistema.

Figura 14: Billar romano⁶⁰⁰



De la situación propuesta se puede calcular o *medir* experimentalmente la distribución de probabilidad que posee la bola real una vez finaliza su descenso por todo el tablero, es decir, una vez finaliza el experimento. Al respecto, nótese un aspecto importante: en las *mediciones* (que por cierto son *mediciones predictivas*) sobre la distribución de probabilidad, no hay ninguna necesidad de saber con cuáles clavijas precisas choca o interactúa la bola real antes de finalizar su recorrido, porque sin importar aquello, en una serie larga y finita de repeticiones experimentales, si las condiciones permanecen estables, la distribución de probabilidad siempre resulta similar. Por lo demás, lo anterior nos arrojaría una *medición* que nos ayudaría a calcular el estado de la bola para los momentos en que finaliza el experimento; de ahí que las mediciones sean precisamente predictivas. Esto último equivaldría —más o menos— a lo que efectivamente lograrían *medir* las teorías probabilísticas en el campo de la mecánica cuántica.

Si cambiamos las especificaciones del experimento, exigiendo por ejemplo que la bola en su descenso por el tablero choque en el lado izquierdo con cierta clavija en particular, entonces también habríamos cambiado la especificación experimental y por ende la distribución de probabilidad, produciéndose así otros resultados en las posibles *mediciones* según las nuevas condiciones especificadas; esto de ninguna manera equivaldría a que la bola real poseyera cierta *superposición de estados* que *colapsaría* con la medición, pues lo único que realmente sucede en este caso, es que se han cambiado las especificaciones experimentales, y por ende la distribución de probabilidad, o lo que finalmente es lo mismo, se ha cambiado la propensión de una partícula para adoptar cierto tipo de estado específico.

En conclusión de Popper, la “reducción del paquete de ondas” es un efecto derivable de la teoría de la probabilidad, y ello no implica que ontológicamente, cuando se realiza una medición, se obligue a la partícula a adoptar un estado preciso, como tampoco implica la superposición de estados; a la partícula o a la *bola real*

⁶⁰⁰ Ilustración extraída de: POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 106.

objetivamente no se le obliga a nada, ella siempre poseería un estado concreto y definido, siempre en concordancia con su entorno o *condiciones disposicionales*, y donde la supuesta circunstancia según la cual se encuentran diferentes valores de estados, deriva de la propia teoría de la probabilidad que aún no logra incluir en su formalismo ciertas condiciones relevantes con relación a los posibles arreglos experimentales que generan las nuevas *condiciones situacionales*, o para decirlo en otras palabras, la teoría de la probabilidad no logra incluir aquellas *probabilidades relativas* que se precisan de acuerdo a las diferentes y posibles condiciones impuestas y/o presentes en la situación objetiva de todo el proceso experimental.

Véamos a continuación las afirmaciones del profesor John Auping Birch, quien explicó la anterior denuncia popperiana en torno a la confusión de Copenhague sobre el “colapso de la función de onda”, en aplicación al caso experimental con ranuras. Según John Auping:

La confusión de las ‘ondículas’ (wavicles) [embrollo cuántico] y la otra confusión de la supuesta imposibilidad de hacer una medición precisa de la posición y el momento de una partícula, se juntan para generar la tercera confusión, que es la peor de todas y que ha incidido decisivamente en los teóricos del multiverso. Se trata de la creencia de que se produce un ‘colapso’ de la onda, por una ‘observación de la posición’ del fotón o electrón, en los experimentos con la rendija. En realidad, no se colapsa ninguna onda, sino que una función probabilística es sustituida por otra. Al observar una partícula, que ya pasó por la rendija, y se encuentra en determinada posición entre la rendija y la placa fotográfica y al tomar en cuenta solamente las partículas que pasan por esta posición, se reemplaza la función de onda original por una nueva función probabilística, que en este caso es uno, a saber, la probabilidad de que la partícula aterriza en determinado punto de la placa fotográfica. La onda original ‘colapsó’, no por la intervención de la conciencia subjetiva del observador, o por la medición, sino porque se creó un nuevo arreglo experimental⁶⁰¹.

Aprovechamos esta sección para señalar que, las anteriores consideraciones de Popper poseen varias implicaciones para la teoría cuántica que permanecen sujetas a un intenso debate. Entre ellas es de considerar que (1) para algunos Popper estaría sugiriendo la existencia de variables ocultas y (2) al parecer Popper estaría poniendo en duda la posibilidad de la acción a distancia. Las dos implicaciones señaladas fueron ampliamente discutidas en relación con otros reconocidos planteamientos, como la postura de Von Neumann sobre la imposibilidad de variables ocultas, y por el famoso argumento de Einstein – Podolsky – Rosen (EPR), en el cual muchos físicos suponen que triunfa la interpretación de Copenhague.

El autor austriaco alcanzó a ofrecer algunas cuantas consideraciones en las que él habló directamente del asunto, pues los experimentos de Allan Aspect, que

⁶⁰¹ AUPING, John. Una revisión de las teorías sobre el origen y la evolución del universo: física, metafísica, ciencia ficción y (a)teología en la cosmología antigua y moderna. Mexico D.F: Universidad Iberoamericana, 2009, p. 450.

controvierten el principio de localidad —y que, para algunos también controvierte el realismo—, fueron realizados durante el año de 1982. Veamos rápidamente algunos cuantos miramientos de Popper, que se encuentran incluidos en el tercer volumen del *Post Scriptum* (que como sabemos, fue íntegramente publicado por primera vez en 1982).

Popper cuestionó la prueba matemática de Von Neumann, que propuso el concepto de *variables ocultas* y que fue introducido en el año de 1932. Dicha demostración sentenciaría que la existencia de *variables ocultas* no podría darse efectivamente, o que aquellas simplemente contradirían la mecánica cuántica. Popper insinuó que el concepto de variables ocultas no sería nada claro, *a fortiori* cuando, con el transcurrir del tiempo, se ha cambiado implícitamente las ideas sobre lo que realmente serían aquellas *variables ocultas*. Además, Popper⁶⁰² señaló en el *Post Scriptum* que a partir de 1932 se descubrieron nuevas partículas como el neutrón, el positrón, el neutrino, y el mesón, y se preguntó: “¿no eran ésas variables anteriormente ocultas? Y, si no, ¿qué habían sido?”⁶⁰³. Pero como señaló el mismo Popper, ninguna de aquellas partículas fue considerada como *variable oculta*.

Por otro lado, según Popper⁶⁰⁴, el argumento EPR —que es un argumento con el que se encuentra plenamente de acuerdo— supondría que no hay acción a distancia, puesto que aquel sería excluido por la teoría de la relatividad especial de Albert Einstein. Lo anterior implica para Popper que, si hubiese acción a distancia, la teoría de la relatividad especial tendría que ser reformada, y, por lo tanto, se debiera retornar a la interpretación de Lorentz del formalismo de la teoría de la relatividad especial. Pero gracias a la reformulación de David Bohm del experimento imaginario del EPR y de los aportes teóricos de J. S. Bell en 1964, que han derivado en lo que se conoce como *la desigualdad de Bell*, fue posible efectuar algunas contrastaciones experimentales como el experimento de Aspect (1982), que al parecer sus conclusiones y resultados apuntaban a ir en contra de las ‘teorías locales realistas’ y quizá a favor de la interpretación de Copenhague. Popper —por aquella época— se declaró muy sorprendido por resultados experimentales, pero afirmó no abandonar su interpretación realista de la física, pues: “[...] no hay la mínima razón para suponer que esos nuevos experimentos afecten al realismo, incluso aunque sus resultados mostrasen que no se puede sostenerse el principio de localidad”⁶⁰⁵.

Hay que tener en cuenta que Popper, pese a que dudó de la acción a distancia, no excluyó definitivamente la posibilidad de que exista, ya que según afirmó “quizá con el spin se tenga realmente acción a distancia”⁶⁰⁶. Pero advirtió que, de existir la

⁶⁰² POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 34.

⁶⁰³ *Ibid.*, p. 35.

⁶⁰⁴ *Ibid.*, p. 41.

⁶⁰⁵ *Ibid.*, p. 47.

⁶⁰⁶ *Ibid.*, p. 46.

acción a distancia, se debe replantear el formalismo de la teoría especial de la relatividad de Einstein y pensar de nuevo en el espacio absoluto de Newton. Además el autor⁶⁰⁷ también procuró dejar claro que la posible existencia de la acción a distancia no representaría un conflicto con el realismo. Por ello, al final de su prólogo del tercer volumen del *Post Scriptum*, afirmó lo siguiente:

Mi propia reacción ante esto: no estoy del todo convencido de que todos los experimentos se hayan interpretado correctamente; pero, en caso afirmativo, tendremos que aceptar la acción a distancia. Creo (con J.-P. Vigiier) que ello sería, desde luego, muy importante, pero no creo, de ningún modo, que debilitase al realismo, ni si quiera creo que lo afectase. Newton y Lorentz eran realistas y aceptaron la acción a distancia; y el de Aspect sería el primer experimento crucial entre la interpretación de Lorentz y la interpretación de Einstein de las transformaciones de Lorentz⁶⁰⁸.

De modo que el autor austriaco, con los experimentos de Aspect, no encontró críticas contundentes, que negasen la viabilidad de su propuesta interpretativa para la mecánica cuántica, la cual, como sabemos, es realista e indeterminista.

- 10) En su décima tesis Popper afirmó que: “la interpretación propensivista resuelve el problema de la relación entre las partículas y sus estadísticas y, por tanto, el de la relación entre partículas y ondas”⁶⁰⁹. Según Popper, su interpretación propensivista resuelve la relación entre las partículas y la función de onda, porque establece que las partículas son reales, con una posición y momento definidos, en tanto que el campo de propensión (u ondas) refiere a todo el arreglo experimental o situación objetiva.

Además, el autor⁶¹⁰ austriaco resaltó ciertos acuerdos que guarda con las ideas de Paul Dirac en cuanto a la consideración de que las partículas singulares siempre estarían acompañadas “de una onda —u ondas— de propensiones”⁶¹¹, y en cuanto a la consideración de que la función de onda aportaría información sobre la probabilidad de que un fotón se encuentre en un sitio concreto. Sin embargo, advirtió que a diferencia de Dirac, quien consideraba que “solo los trenes de ondas que pertenecen a una y la misma partícula pueden interferir entre sí”⁶¹², Popper consideró que lo que existen son condiciones relacionales en la situación objetiva que interfieren. En esencia Popper estaría reclamando para la teoría cuántica ciertas propiedades relacionales que poseería la situación de una partícula, y que no estarían siendo debidamente consideradas.

⁶⁰⁷ *Ibíd.*, p. 49.

⁶⁰⁸ *Ibíd.*, p. 22.

⁶⁰⁹ *Ibíd.*, p. 98.

⁶¹⁰ POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 98. Véase nota 77 de aquella obra.

⁶¹¹ *Ibíd.*, p. 98. nota 71.

⁶¹² *Ibíd.*, p. 98. nota 71.

Por otro lado, Popper argumentó que la teoría propensivista está revestida de mucho valor e importancia en tanto que posibilita una aplicación de la teoría probabilística a casos singulares. Aplicación que no se reduce a hablar privativamente de fotones o partículas, pues aquella nueva aplicación tomaría en consideración las propiedades de la situación, o, en otras palabras, las propiedades disposicionales de la partícula que surgen en relación a su entorno o situación objetiva. Así lo manifestó Popper:

Las propensiones no son propiedades ni de las partículas ni de los fotones ni de los electrones ni de los peniques. Los enunciados de propensiones en física describen propiedades de la situación y son contrastables si la situación es típica, es decir, si se repite [...]. Son, por tanto, *propiedades también de las disposiciones experimentales repetibles*: físicas y concretas en la medida en que pueden ser contrastadas empíricamente (y llevar, en el caso del billar romano, a una disposición real física característica de las bolas) —y abstractas en la medida en que cualquier disposición experimental particular puede ser considerada como un ejemplo de más de una especificación para 'su' repetición⁶¹³.

De modo que las propensiones (u ondas) no serían propiedades físicas, sino que serían propiedades de una situación, las cuales, de ser repetibles, pueden ser contrastables. Además, estas podrían ser descritas con la *especificación* de sus disposiciones experimentales.

- 11) En su undécima tesis Popper afirmó que si bien las partículas y los campos de probabilidades (o campos de propensiones u ondas) son reales, es una equivocación aseverar que existe una presunta «dualidad» entre ellos. En conformidad con el físico Alfred Landé, Popper afirmó que: “[...] no hay dualidad en ningún sentido en el que podamos hablar o bien de partícula o bien de onda, pero no de las dos a la vez —de la misma manera que no hay una dualidad entre una partícula y su momento que nos impida hablar de los dos al mismo tiempo”⁶¹⁴. Por otro lado, el autor reiteró y aclaró aspectos referentes a la *situación objetiva* de una partícula o fotón, pues según Popper: “[...] la totalidad de la disposición experimental determina el ‘espacio muestral’ y la distribución de la probabilidad”⁶¹⁵. Es decir, sería un error hablar de dualidad onda-partícula, o de una dualidad entre partículas y campos de propensión, porque los campos de propensión son propiedades disposicionales de una situación experimental dada, pero no de las partículas individuales que son objeto de estudio de la teoría cuántica. Asimismo, tampoco hay necesidad de un ‘observador’ para colapsar la función de onda, porque sencillamente no hay ningún ‘colapso’ en términos físicos u ontológicos.

⁶¹³ *Ibíd.*, p. 99.

⁶¹⁴ *Ibíd.*, p. 100.

⁶¹⁵ *Ibíd.*, p. 101.

- 12) En su duodécima tesis Popper afirmó que el error de considerar una presunta «dualidad» entre partícula y onda se debe “[...] a las esperanzas que crearon de Broglie y Schrödinger de formular una teoría ondulatoria de la estructura de las partículas”⁶¹⁶. Si bien este intento había fracasado, según Popper la interpretación de la dualidad onda-partícula persistió erradamente.
- 13) En su última tesis expuesta en el tercer volumen del Post-Scriptum Popper afirmó que la física clásica y la moderna son ambas teorías indeterministas. Y además afirmó que:

La peculiaridad de la mecánica cuántica es el principio de la superposición de las amplitudes de ondas —un tipo de *dependencia probabilística* (llamada *interdependencia* por Landé) que aparentemente no tiene equivalente en la teoría clásica de la probabilidad. A mi modo de ver, eso parece un punto en favor de que puede decirse que las propensiones son físicas y reales (aunque virtuales, como ha resaltado Feynman). Porque la superposición puede recibir patadas: la coherencia (la fase) puede destruirse por medio de las disposiciones experimentales⁶¹⁷.

En lo que refiere al debate sobre el indeterminismo en la ciencia física, aquellos asuntos ya fueron expuestos en el capítulo dos, de la primera parte de la presente monografía.

Hace falta aclarar que Popper, además de considerar que la mecánica cuántica es indeterminista, deseó que las predicciones en dicha teoría también —algún día— obtuviesen un carácter determinista *prima facie*, semejante a las predicciones de la mecánica clásica. Así lo afirmó:

Mi sueño abarca también el programa de Faraday, Einstein y Schrödinger de una realidad física determinada por leyes deterministas *prima facie*; una realidad que considero que consiste en propensiones. Esto hace posible unir esas dos concepciones, indeterminismo y determinismo, de una manera muy natural, por medio de un argumento de correspondencia (por el cual se muestra que las teorías deterministas son aproximaciones de teorías indeterministas); y sugiere, al mismo tiempo, una teoría de la materia que explica las partículas en términos de conceptos de campos⁶¹⁸.

⁶¹⁶ *Ibíd.*, p. 101

⁶¹⁷ *Ibíd.*, p. 102

⁶¹⁸ *Ibíd.*, p. 192.

4.3.4. La probabilidad en la teoría cuántica no es nesciencia

En la discusión de Popper contra la interpretación de Copenhague encontramos que para el autor austriaco los resultados del cálculo estadístico de la teoría de la probabilidad, no son una medida de lo que conocemos o ignoramos, sino que realmente señalaría ciertas conjeturas sobre las *frecuencias relativas* ocultas tras la naturaleza. Según Popper:

[...] los enunciados de la física son objetivos y no refieren de ningún modo a nuestro estado de información: ni *expresan* nuestra información ni nuestra nesciencia. Son aserciones —aserciones conjeturables, naturalmente— sobre el mundo. Esto es igualmente válido respecto a los enunciados de probabilidades de las ciencias físicas. *No son resultado de nuestra carencia de conocimiento*. La carencia de conocimiento no produce milagrosamente un conocimiento de las frecuencias, ni siquiera con ayuda de leyes sobre los grandes números⁶¹⁹.

La probabilidad indicaría ciertas conjeturas sobre las *frecuencias relativas* que se desarrollan en nuestro mundo, y, por ende, estas también se referirían a propiedades *reales* de la naturaleza; propiedades que, por cierto, serían indiferentes al conocimiento que tengamos sobre ellas. Según Popper, una teoría aceptable de la probabilidad, debe ser objetiva, debe referir a la realidad del mundo, lo cual implica que éstas propiedades deben ser contrastables.

En primer lugar, sabemos que podemos calcular a través de ciertos experimentos en la naturaleza física, cuál es la *frecuencia relativa* de ciertos sucesos, eventos o elementos, midiendo estadísticamente los resultados empíricos que arroja una serie de experimentos. No hay que olvidar, claro está, que dichos experimentos deben ser repetibles según las condiciones especificadas y detalladas por el propio procedimiento empírico. En segundo lugar, vemos que la teoría de la probabilidad en su consideración objetiva, responde a una conjetura sobre las posibles axiomatizaciones que puedan corresponder efectivamente a la realidad, o lo que es lo mismo, una conjetura que pueda arrojar resultados que correspondan a las frecuencias empíricas de la naturaleza, pero cuyos resultados matemáticos denominamos *frecuencia «virtual»*. Estas *frecuencias «virtuales»* que son conjeturables y que procederían de una adecuada teoría probabilista, como la teoría propensional, deberían —en algún momento— corresponder a las frecuencias empíricas. Por consiguiente, las medidas de la teoría de la probabilidad no podrían ser aserciones de *creencia* acerca de lo que creemos conocer o ignoramos, sino que son medidas que tratan de develar —por medio de alguna axiomatización— ciertos aspectos *reales* del mundo físico. La probabilidad es —desde la propuesta propensionista— una teoría que nos ofrece ciertos cálculos medibles teóricamente, y

⁶¹⁹ POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 430.

cuyos resultados o *frecuencia 'virtuales'* podrían ser contrastados al compararlos con las *frecuencias empíricas* presentes en la naturaleza física experimentable.

En pocas palabras, la teoría de la probabilidad en la mecánica cuántica —para Popper— hace referencia a conjeturas sobre ciertas propiedades reales (aunque abstractas) de la naturaleza, que podrían revelar, como en el caso de las propensiones, las *probabilidades singulares* de que una partícula adopte cierto estado particular según las condiciones de su situación objetiva, pero también, el cómo surgen las diferentes *frecuencias estadísticas* que se desenvuelven en nuestra realidad. Los resultados medibles de las *frecuencias estadísticas* serían completamente independientes del conocimiento que tengamos sobre ellas, ya que las frecuencias solamente dependerían de sus *condiciones generadoras* o de su situación objetiva.

Finalmente, consideremos que —según Popper— una de las fuentes que mayormente contribuyó en la ciencia física a que la probabilidad fuese entendida como nesciencia (i.e. algo que empleamos porque no tenemos pleno conocimiento de todas las condiciones iniciales de un proceso empírico), se debe a la física probabilística, que adquirió importancia para la teoría de la materia desde Maxwell y Boltzmann. Según los partidarios de dicha concepción, si por ejemplo supiésemos todas las posiciones y momentos precisos de una molécula de gas en un recipiente, se supone que no tendríamos que atribuir probabilidades a las diversas posibilidades; no tendríamos que recurrir a la mecánica estadística. La anterior consideración, representaría la postura de la gran mayoría de físicos e incluso habría sido la postura de Einstein, quien durante gran parte de su vida consideró que el empleo de la probabilidad en física es producto de nuestra falta de conocimiento. Popper procuró rebatir dicha falsa asociación entre (i) la probabilidad y (ii) el “conocimiento incompleto”, empleando los siguientes dos argumentos:

Uno [...] incluso aunque conociéramos todo, seguiríamos teniendo que derivar *información estadística* de ese conocimiento para resolver lo que son problemas esencialmente estadísticos, tales como la explicación de la presión de un gas o la intensidad de rayas del espectro. (Esto puede verse también por la forma que tenemos de obtener información estadística a partir de cuestionarios). El segundo argumento [...] era el argumento lógico más general de que necesitamos premisas estadísticas o probabilísticas (una teoría estadística o probabilística) para derivar conclusiones estadísticas⁶²⁰.

Por lo tanto, según Popper, la probabilidad no sería nesciencia, pues aún con el conocimiento completo de todas las condiciones iniciales sobre las posiciones y momentos de las partículas de un gas, se requeriría el recurso estadístico para conseguir nueva información estadística de relevancia, y, por otro lado, porque las

⁶²⁰ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 28, nota 10.

conclusiones estadísticas que se refieren a frecuencias relativas (empíricas), solo pueden obtenerse gracias a premisas que son probabilísticas.

4.4. LA INTERPRETACIÓN DE POPPER DEL EXPERIMENTO DE LA DOBLE RENDIJA

En el experimento de las dos ranuras es evidente la diferencia ocasionada entre la franja que se produce con una sola ranura abierta y las franjas que se producen con las dos ranuras abiertas al mismo tiempo. En el último caso, se logra observar una interferencia, que señalaría que ambas ranuras ‘cooperan’ en la producción de franjas, o lo que es equivalente, en la probabilidad de que la partícula alcance un punto determinado en la segunda pantalla en vez de otro. Pero una vez consideramos que cada partícula solo puede pasar por una sola ranura, cabe preguntarnos lo siguiente: ¿Cómo puede influenciar el hecho de que la otra ranura este abierta o cerrada en aquella producción de franjas? Frente a ello, Popper respondió con su teoría propensivista que: “[...] es la totalidad de la disposición experimental la que determina las propensiones”⁶²¹. Es decir, en el experimento de las dos ranuras (sea que se encuentre la otra ranura cerrada o abierta), es la configuración de la *situación objetiva* la que determina el comportamiento de las partículas, o, mejor dicho, sus propensiones. Si la otra ranura se encuentra —por ejemplo— abierta, esto indicaría una particular característica perteneciente al espacio del sistema evaluado y que generaría su influjo en el conjunto de la disposición experimental. Por ello el autor afirmó: “[...] la partícula pasará a través de una sola ranura y, en cierto sentido, permanecerá imperturbada por la otra ranura. En lo que influye la otra ranura es en las propensiones de la partícula relativas a toda la disposición experimental, no a la partícula en sí: las propensiones a alcanzar uno u otro punto en la segunda pantalla”⁶²².

Por otro lado, si se pregunta: ¿cómo ‘saben’ las partículas, si la otra rendija está abierta o cerrada?, la respuesta de Popper es: “la partícula no necesita ‘saber’ nada; ella simplemente interactúa con la pantalla (que ‘sabe’), según las leyes de la conservación del momento y de la periodicidad espacial; o, más exactamente, interactúa con la totalidad de las disposiciones experimentales”⁶²³. Un ejemplo que emplea el autor⁶²⁴ para dar a entender la idea según la cual la probabilidad es una

⁶²¹ *Ibíd.*, p. 169.

⁶²² *Ibíd.*, p. 169.

⁶²³ *Ibíd.*, p. 79.

⁶²⁴ Es de aclarar que en el ejemplo del *billar romano* Popper no pretendió explicar la interferencia que se produce en el experimento de las dos ranuras, pues como aclaró en el contenido de su novena tesis del *Post Scriptum*: con el *billar romano* “no podemos imitar el experimento de las dos ranuras”, ya que las probabilidades de dicho ejemplo son aditivas, cosa contraria a lo que sucede con el patrón de interferencia del experimento de las dos ranuras donde la situación no es aditiva. En el ejemplo del *billar romano* Popper tan solo pretendió indicar que la probabilidad es una cualidad de un sistema

cualidad que depende de todo el sistema complejo, se refiere a la situación que se presenta en el tablero de billar romano, ejemplo ya presentado en la sección 4.3.3. de la presente monografía, y que versa en las afirmaciones de la novena tesis del tercer volumen del *Post Scriptum*. En aquel tablero se dejan caer unas bolas pequeñas que ruedan hasta el final del tablero y que durante su tránsito o descenso chocan con algunas cuantas clavijas que se encuentran diseminadas por el todo el espacio de aquel tablero. Habrá algunas clavijas con las que no chocan aquellas bolas, pero que, de alguna manera, también influyen en las propensiones inherentes en la disposición experimental. Según Popper, las propensiones cambiarían si se quitasen aquellas clavijas, o si simplemente, se cambiasen de lugar, pues según él, si cambia la disposición experimental, también cambian los resultados estadísticos o las propensiones.

Sabemos que, en el experimento de las dos ranuras, cuando ambas ranuras están abiertas, se presenta una ‘cooperación’ en la producción de franjas, se muestra un patrón de interferencia, pero algo más extraño sucede cuando se pretende averiguar por cuál de las dos ranuras transita la partícula, pues en aquel caso desaparece aquel patrón de interferencia. Ante esta extraña circunstancia, Popper insistió en su afirmación de que los cambios disposicionales transforman el experimento, y, por ende, las propensiones. Así lo afirmó el autor:

[...] tomamos cualquier otra disposición que nos permita averiguar a través de cuál de las dos ranuras pasa la partícula. (Por ejemplo, un rayo de luz que nos permita ‘ver’ o fotografiar un electrón cuando emerge de una ranura o cuando entra en ella). Cualquier disposición de esa índole cambiará el experimento; y al calcular el experimento veremos que el cambio elimina las franjas. (Esto lo sabemos porque la teoría entraña las relaciones de Heisenberg), Interpretamos esto en el sentido de que las propensiones —que dependen de la disposición experimental— han cambiado. Ni siquiera necesitamos preguntar si el cambio se debe a una interferencia con el electrón (como en el caso del rayo de luz que bordea las ranuras) o sólo a una interferencia con las posibilidades, es decir, las propias propensiones (como en el caso de que se cierre una ranura): todo lo que necesitamos saber para todos esos casos es que la ecuación de ondas que nos permite determinar las propensiones entraña relaciones de dispersión de Heisenberg, y que estas limitan las predicciones posibles⁶²⁵.

Y en otro apartado afirmó:

complejo (o de situación objetiva), y que no es atribuible a un exclusivo elemento del sistema. Para mayor claridad véase nota 65 de: POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 92; y BARTLEY III, William en: *The Philosophy of Karl Popper*, edited by Paul Arthur Schilpp, Two Volumes, La Salle: Open Court, Library of Living Philosophers, 1974, p. 695.

⁶²⁵ POPPER, Karl. *Hacia una resolución de las paradojas de la física cuántica*. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 169.

“En el caso del experimento de las dos ranuras, la teoría nos dice que cualquier disposición que nos permita averiguar que la partícula (fotón, electrón, etc.) ha pasado por un cierto lugar, cambiará inevitablemente la disposición experimental, de tal manera que con ello cambiarán las propensiones”⁶²⁶.

Ya sabemos que para Popper los cambios de la situación objetiva cambian las propensiones, pero hace falta comprender cómo explica físicamente el efecto de interferencia en el experimento de la doble rendija. De una forma más completa el filósofo de la ciencia William Bartley III⁶²⁷, quien fue discípulo de Popper, y uno de los más interesados en la interpretación de la teoría cuántica del autor austriaco, describe cómo la interpretación propensivista de Karl Popper, para explicar éste fenómeno que ocasiona las ondas, también recurre —aparte de la propia idea original de Popper sobre las propensiones estadísticas— a los planteamientos teóricos del físico Alfred Landé sobre la aplicación de lo que él denominó *la tercera regla cuántica de Duane*; hipótesis que presume posibilitaría la explicación física y racional del patrón de interferencia en el experimento de las dos rendijas, y de otros fenómenos similares. Según Bartley III:

Para su explicación alternativa del patrón de ondas, Popper se basa esencialmente en el trabajo del eminente físico, el fallecido Alfred Landé, quien defiende una interpretación particular de partículas mecánicas del experimento de las dos rendijas. La curva ondulatoria es, según Landé, causada por un paquete de impulso de la pantalla, como se explica por lo que Landé llama la "tercera ley cuántica", debido a Duane (1923) y Epstein y Ehrenfest (1924 y 1927), que complementa la regla cuántica de Planck para la energía y la regla cuántica de Sommerfeld-Wilson para el momento angular. "La tercera regla cuántica", como dice Landé, "produce una explicación completa de todos los fenómenos ondulatorios de la materia, incluyendo la difracción y la coherencia, sin utilizar la fantástica hipótesis de partículas que ocasionalmente se transforman en ondas". La difracción de electrones y los similares fenómenos de ondulación relacionados, sostiene Landé, pueden explicarse por la acción puramente mecánica de las partículas sin interferencia de las ondas. En el caso específico del experimento de las dos rendijas, una partícula incidente reacciona no a una rendija individual sino a toda la situación experimental. Una pantalla con una rendija tiene componentes espaciales periódicos de varias longitudes que componen su forma geométrica; y una pantalla con dos rendijas tiene un conjunto diferente de longitudes. Dado que los diversos componentes de la longitud L dan lugar a transferencias de impulso $\Delta p = h/L$ respectivamente,

⁶²⁶ *Ibid.*, p. 170-171.

⁶²⁷ Según explico Bartley, si bien la aplicación de Popper del enfoque Landé-Duane, es fundamental para la explicación de algunos fenómenos cuánticos como lo que sucede en el experimento de la doble rendija, no es en absoluto el aspecto más significativo del autor austriaco en su trabajo sobre la mecánica cuántica; pues Popper también atacó la interpretación de Copenhague en otro flanco, que es a partir de su interpretación estadística de la propensión, que consideró esencial para su interpretación de la mecánica cuántica. Véase: BARTLEY III, William en: *The Philosophy of Karl Popper*, edited by Paul Arthur Schilpp, Two Volumes, La Salle: Open Court, Library of Living Philosophers, 1974, p. 686.

los dos casos de una y dos rendijas producen ángulos de desviación diferentes con intensidades diferentes. El diafragma con su estructura de hendidura actúa como un cristal. El electrón cambia su impulso en reacción a los componentes armónicos de la distribución de materia de la pantalla de dos rendijas en su conjunto; el electrón desviado puede que ni siquiera sea idéntico al incidente. Todo lo que importa es la conservación de la carga y el momento total durante la reacción entre el electrón y el difractor. La diferencia entre la curva producida por las balas y la curva producida por los electrones es que con los electrones la periodicidad espacial de la pantalla se vuelve relevante. Landé no da una detallada explicación matemática de cómo sucede todo esto⁶²⁸.

Popper consideró que los planteamientos de Landé sobre lo que este denominó la *tercera regla de Duane*, podían ofrecer una explicación racional sobre la interferencia de probabilidades, y por ende una explicación del cómo surge la forma de onda en la probabilidad de aquellos fenómenos.

No sobra decir que, para Popper las teorías de la ciencia no son conjeturas monolíticas, sino que éstas ciertamente poseen en su estructura una complejidad teórica, ya que pueden hacer recurso de diferentes leyes, axiomas, principios, hipótesis auxiliares o hipótesis ad hoc. La propuesta propensivista de la mecánica cuántica —al igual que cualquier reconocida teoría de la ciencia—, no es la excepción a esa complejidad estructural.

4.5. EL PAPEL DE LA MEDICIÓN EN LA MECÁNICA CUÁNTICA SEGÚN POPPER

La interpretación de Copenhague supone la existencia de un *problema de la medición cuántica*, el cual consiste en la presunta interacción que se entabla entre el objeto observado y los aparatos o herramientas de medición empleados para dicha labor. Como vimos anteriormente, dicho problema de la medición cuántica se piensa que procede del formalismo cuántico, y en pocas palabras considera que el resultado de la interacción que se presenta en el transcurso del proceso de medición representa la superposición de los estados físicos del sistema observado y de la herramienta (o aparato de medición) empleado para observarlo. En esa medida, el problema considera que la realidad de los objetos cuánticos sería asequible sólo por medio de la herramienta experimental que, al realizar una medición concreta, perturbaría el sistema físico y ocasionaría un colapso de la función de onda: la energía empleada en el acto de medición no sería despreciable dada la magnitud de los objetos microfísicos; el mismo acto de medición modificaría el sistema físico medido. Así lo manifestó en su libro *La teoría atómica y la descripción de la naturaleza* el físico Niels Bohr: “[...] el postulado cuántico implica que toda

⁶²⁸ BARTLEY III, William en: *The Philosophy of Karl Popper*, edited by Paul Arthur Schilpp, Two Volumes, La Salle: Open Court, Library of Living Philosophers, 1974, p. 684-685.

observación de los fenómenos atómicos lleva aparejada una interacción con el aparato de observación que no puede ser despreciada. Por consiguiente, no puede adscribirse una realidad independiente en el sentido físico ordinario ni a los fenómenos ni a los instrumentos de observación”⁶²⁹. De ese modo el objeto microfísico se tornaría supuestamente indisociable de la presencia de un observador.

Popper emprendió un ataque contra las consideraciones epistemológicas de Bohr y Heisenberg, puesto que ambos —aunque de formas diferentes— supusieron la entera imposibilidad de ‘observar’ un sistema sin perturbarlo. Según Popper, la fuente principal de las consideraciones a partir de las cuales se cree que el ‘observador’ perturba o hace colapsar la función de onda, deriva de la interpretación estadístico-subjetiva que hace Copenhague de experimentos como el de las dos ranuras, así describe la situación el filósofo de la ciencia William Bartley III:

A partir de este y otros experimentos comparables, se llega a la conclusión de que la naturaleza se manifiesta de dos maneras contradictorias: a veces como ondas, a veces como partículas, y que las transiciones de una manifestación a otra pueden ocurrir a una velocidad superluminal. Por otra parte, el papel del observador es crucial: cuando se miran los electrones, su distribución en la pantalla es diferente de la forma que se obtiene cuando no miramos. Eugene P. Wigner concluye: "No era posible formular las leyes de la mecánica cuántica de una manera totalmente consistente sin hacer referencia a la conciencia. Todo lo que la mecánica cuántica pretende proporcionar son conexiones de probabilidad entre impresiones posteriores"⁶³⁰.

Popper⁶³¹ aseguró que no hay mayor diferencia entre la medición en la física clásica y la medición en la mecánica cuántica, y que el supuesto problema del ‘observador’ procedería —especialmente— de una mala interpretación de la teoría probabilidad y de sus distribuciones estadísticas; en ese sentido el observador no tendría ningún papel crucial en el mundo microfísico, diferente del que pudiese tener un experimentador en el campo de la física clásica. Como vimos en las críticas de Popper a la interpretación subjetiva de la probabilidad, según el autor austriaco, no solo es insostenible, sino también absurdo, explicar las frecuencias estadísticas objetivas por medio de la ignorancia subjetiva. Asimismo, para el autor⁶³² resulta

⁶²⁹ BOHR, Niels. La teoría atómica y la descripción de la naturaleza. Madrid: Alianza Editorial, 1988, p. 99.

⁶³⁰ BARTLEY III, William en: The Philosophy of Karl Popper, edited by Paul Arthur Schilpp, Two Volumes, La Salle: Open Court, Library of Living Philosophers, 1974, p. 683. La cita se ha traducido por el autor de la presente monografía.

⁶³¹ Según Popper: “Si hay una diferencia importante, es porque ha aumentado el grado de indirección de las mediciones, tanto como el grado de ‘objetividad’. Donde hace treinta o cuarenta años los físicos miraban por un microscopio para hacer una ‘lectura’ tal como un recuento de centelleos, hay ahora películas fotográficas o contadores automáticos que hacen la ‘lectura’”. En: POPPER, Karl. Trece tesis. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 62.

⁶³² Véase: Ibíd., p. 125.

inadmisible considerar, que, por ejemplo, las monedas caen o las moléculas colisionan de forma aleatoria debido a la *nesciencia*, es decir, a que nosotros no conocemos completamente sus condiciones iniciales, y que actuarían de modo diferente si nosotros consiguiésemos conocer aquellas condiciones. Mientras que para la interpretación de Copenhague la intervención del ‘observador’ durante una medición produce la reducción del paquete de ondas, según Popper aquella circunstancia puede explicarse de manera diferente, objetiva y realista, sencillamente considerando que dicho resultado obedece a un cambio en las condiciones de generación o de la configuración experimental, por lo cual no hay necesidad de requerir la figura de un ‘observador’. Por ello el autor afirmó:

[...] aunque las películas fotográficas y la lectura de los contadores tienen que interpretarse (a la luz de una teoría, como ocurre con todos los experimentos o las observaciones), de ninguna forma se ‘interfiere’ físicamente con ellos o se les ‘influencia’ con nuestras interpretaciones teóricas. Admitámoslo, muchas constataciones experimentales tienen ahora un carácter principalmente estadístico, pero eso no las hace menos ‘objetivas’: su carácter estadístico (a menudo elaborado automáticamente por contadores y ordenadores) no tiene nada que ver con la supuesta intrusión del observador o del sujeto o de la conciencia en la física. Por el contrario, la preparación o el plan de un experimento siempre ha tenido, y continua teniéndolo, mucho que ver con nuestro cambiante conocimiento: *depende de la teoría*⁶³³.

A juicio de Popper, nosotros no interferimos con los objetos cuánticos, sino que, ellos simplemente obedecerían a una “preparación de estado”⁶³⁴, circunstancia que, constantemente, tratamos de comprender por medio de conjeturas.

Por otro lado, Popper⁶³⁵ señaló que la interpretación subjetiva que procede de Heisenberg, y que fue adoptada por el grupo de Copenhague, según la cual las *limitaciones* de la teoría vendrían impuestas por la circunstancia de que al medir una partícula subatómica la perturbaríamos o interferiríamos, supondría una primitiva interpretación en donde la partícula podría manifestar una posición y momento definidos, pero que debido a nuestra ‘interferencia’ nunca podríamos medir ambos estados a la vez. No obstante, aquella interpretación primitiva se habría cambiado luego de que Schrödinger propusiese que una partícula podría representarse o ser un paquete de ondas. Y posteriormente, las ondas de Schrödinger serían consideradas por físicos como James Jeans⁶³⁶, como ondas de probabilidad subjetiva.

Por lo demás, como se indicó al final del anterior apartado —por medio de la explicación que aporta el filósofo Bartley III—, Popper pretendió ofrecer una

⁶³³ POPPER, Karl. Trece tesis. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 62-63.

⁶³⁴ Sobre la *preparación de estado*, véase: *Ibíd.*, p. 45-46, notas 32 y 33.

⁶³⁵ Véase: *Ibíd.*, p. 40-41.

⁶³⁶ POPPER, Karl. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 217.

respuesta racional sobre los fenómenos ondulatorios que ocurren en el experimento de las dos rendijas de manera objetiva y a partir de la investigación del físico Alfred Landé sobre lo que él denominó la *tercera regla cuántica*, que se nutre de los planteamientos de Duane, Epstein y Ehrenfest.

Popper⁶³⁷ rechazó enteramente una supuesta interacción entre la conducta de los objetos cuánticos con los instrumentos de medir, sentenciando que la teoría cuántica es tan objetiva como puede ser cualquier otra teoría. Además, según Popper⁶³⁸, la única tarea que cumple el observador en la mecánica cuántica es la de contrastar la teoría, y nada más. Por ello Popper en su ensayo "Conocimiento sin autoridad (1960)" afirmó:

"No hay nada peculiar en el papel del observador: no interviene en absoluto. Lo que 'interfiere' con la función Ψ son sólo los cambios en el orden experimental"⁶³⁹.

Reiteramos que, según Popper, para el caso del experimento de las dos ranuras, si por ejemplo cerramos una ranura, estaríamos con ello cambiando las posibilidades, y por tanto obteniendo como resultado una función Ψ diferente (otra distribución de la probabilidad de los posibles resultados). Pues según Popper, cada cambio en el proceso empírico, causa a su vez un cambio en la distribución de los «pesos» de las posibilidades. Algo similar, afirmó Popper, sucede cuando se emplea una disposición experimental que posibilita averiguar por cuál ranura pasó la partícula, pues con la nueva disposición se habría cambiado las propensiones. Por lo cual, el autor⁶⁴⁰ austriaco advirtió que, considerar que la observación interviene, obedece más bien a la interpretación subjetivista de la probabilidad que 'interfiere' en nuestro conocimiento real de la circunstancias subatómicas, por lo cual sugirió que más bien deberíamos hablar únicamente en términos de 'órdenes experimentales y de los resultados empíricos'.

4.6. LAS 'RELACIONES DE INCERTIDUMBRE' A PARTIR DE LA INTERPRETACIÓN PROPENSIVISTA DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

Comúnmente se piensa que el principio de incertidumbre conlleva considerar que no podemos conocer de forma precisa, y simultáneamente dos magnitudes conjugadas de una partícula subatómica como lo son (I) la posición y el momento, (II) la energía y el tiempo, (III) el momento angular y la posición angular, y (IV) el

⁶³⁷ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 138.

⁶³⁸ *Ibíd.*, p. 57.

⁶³⁹ MILLER, David, comp. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 220.

⁶⁴⁰ *Ibíd.*, p. 220.

momento de inercia y la velocidad angular. Se presume que el propio acto de medición de aquellas magnitudes afectaría al mismo sistema físico; sería una hipótesis derivada de la práctica experimental, e indicaría que supuestamente hay ciertos *límites* para nuestro conocimiento, y eso sería precisamente algo que se seguiría o sería previsto, según la interpretación de Copenhague, por las fórmulas de *relaciones de incertidumbre* de Heisenberg.

No obstante, según Popper las fórmulas matemáticas que Heisenberg interpretó como principio de incertidumbre, esto es, “enunciados sobre los márgenes de incertidumbre debido a los límites de precisión que podemos alcanzar en nuestras mediciones”⁶⁴¹, deberían más bien interpretarse como “enunciados probabilísticos formalmente singulares, es decir, que debe dárseles una interpretación estadística: e interpretadas de esta suerte, tales fórmulas afirman que existen ciertas relaciones entre ciertos márgenes de ‘dispersión’ o ‘variancia’ o ‘diseminación’ (a las que llamaremos ‘relaciones estadísticas de dispersión’)”⁶⁴². En otras palabras, Popper⁶⁴³ afirmó que el principio de incertidumbre, el cual supuestamente estaría imponiendo ciertos *límites* precisos (o fijos) a nuestro conocimiento subjetivo sobre los estados de una partícula, debería entenderse más bien como *relaciones de dispersión* que son estadísticas y objetivas, las cuales permitirían consentir la posibilidad de que se pueda obtener una precisión cada vez mayor a la impuesta por los supuestos *límites* de los que alguna vez habló Heisenberg; según reflexionó Popper⁶⁴⁴, aquellos aparentes *límites* (fijos e insuperables), de ninguna manera serían consecuencia lógica de la teoría cuántica. El autor⁶⁴⁵ afirmó que, si bien las fórmulas de Heisenberg ($\Delta x \Delta p_x \geq \frac{h}{4\pi}$, etc.)⁶⁴⁶ se concluyen de la teoría cuántica, no es lícito una interpretación de éstas fórmulas como la propuesta por Heisenberg, que sentencie la ‘prohibición’ de mediciones más exactas. Así lo ejemplificó el autor:

La creencia de que unas medidas aisladas puedan contradecir a las fórmulas de la física cuántica parece insostenible lógicamente: tan insostenible como la creencia de que puede descubrirse algún día una contradicción entre un enunciado probabilístico formalmente singular, ${}_a P_k(\beta) = P$ (digamos, «la probabilidad de que en la tirada k salga un cinco, es igual a $1/6$ »), y uno de los dos enunciados siguientes: $k \in \beta$ («de hecho sale un cinco») y $k \in \bar{\beta}$ («de hecho no sale un cinco») ⁶⁴⁷.

⁶⁴¹ POPPER, Karl. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 201.

⁶⁴² *Ibid.*, p. 201.

⁶⁴³ *Ibid.*, p. 210.

⁶⁴⁴ *Ibid.*, p. 202.

⁶⁴⁵ Popper en el tercer volumen del Post Scriptum: *Teoría cuántica y el cisma en la física*, argumentó que las fórmulas de Heisenberg, se pueden derivar “[...] de teorías que son mucho más antiguas que las relaciones de conmutación de la mecánica cuántica”. En: POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 75.

⁶⁴⁶ POPPER, Karl. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 209.

⁶⁴⁷ *Ibid.*, p. 213.

Ni las fórmulas de la teoría cuántica ni su interpretación estadística como *relaciones de dispersión* rechazan, según Popper, la posibilidad de alcanzar medidas con mayor grado de precisión que el permitido por la interpretación de Heisenberg del principio de incertidumbre⁶⁴⁸. La existencia de un presunto *límite* para la precisión que se pueda obtener, y que es indicado por Heisenberg, no obedecería ciertamente a una *consecuencia lógica* que se pueda deducir de las fórmulas de la teoría, según Popper⁶⁴⁹, realmente se trataría de un '*supuesto separado o suplementario*'.

Como se explicó anteriormente (en la quinta y sexta tesis del tercer volumen del Post Scriptum: *Teoría cuántica y el cisma en la física*), el autor sentencia que las fórmulas de Heisenberg son *relaciones estadísticas de dispersión* que "[...] establecen ciertos límites inferiores a la *dispersión estadística* de los resultados de sucesiones de experimentos"⁶⁵⁰. También afirma que las *relaciones estadísticas de dispersión* pueden ser contrastadas al efectuarse posibles mediciones "[...] que sean mucho más precisas que la extensión o amplitud de la dispersión"⁶⁵¹. Es decir, según Popper⁶⁵², si bien las fórmulas de Heisenberg parecen *limitar* la precisión de ciertas predicciones individuales, puesto que no podemos evitar en los experimentos repetibles (1) la dispersión de la energía cuando se emplean disposiciones para un pequeño límite del tiempo y (2) la dispersión del momento cuando se emplean disposiciones para una posición reducidamente limitada, sería posible medir el momento y la posición, o la energía y el tiempo, con una precisión superior a lo que las fórmulas de Heisenberg parecen consentir. La razón de ello es que los supuestos *límites* a la precisión de las predicciones individuales indicarían que "[...] hay ciertos límites a la homogeneidad estadística de nuestros resultados experimentales"⁶⁵³. Popper consideró que la *homogeneidad estadística* puede ser superada a través de una nueva visión de la teoría estadística reinterpretada como teoría de las propensiones. También es de recordar que, según Popper⁶⁵⁴, estas mediciones más precisas y que se requieren para constatar las relaciones de dispersión, demandan el insumo de mediciones que son retrodicciones. Ahora bien, Popper también afirmó que en

[...] la interpretación ortodoxa, de Copenhague, ideas tales como el papel de la observación y de la medición son de importancia decisiva y las relaciones de indeterminación, que excluyen mediciones precisas, tienen como función

⁶⁴⁸ Popper afirmó: "[...] trazare una distinción neta entre las fórmulas —que llamaré, por razones de brevedad, las 'fórmulas de Heisenberg'— y su interpretación (también debida a Heisenberg) como relaciones de incertidumbre: esto es, como enunciados que imponen limitaciones a la precisión de medida alcanzable". En: POPPER, Karl. *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 209.

⁶⁴⁹ *Ibíd.*, p. 202.

⁶⁵⁰ POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: *Teoría cuántica y el cisma en física*. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 74.

⁶⁵¹ *Ibíd.*, p. 74.

⁶⁵² *Ibíd.*, p. 75.

⁶⁵³ *Ibíd.*, p. 75.

⁶⁵⁴ *Ibíd.*, p. 163.

principal la de introducir en la teoría un elemento de incertidumbre y con él, consideraciones probabilísticas. En otras palabras, la teoría de la probabilidad entra en escena a causa de ciertas limitaciones que la teoría impone sobre las mediciones y, por tanto, sobre la precisión de *nuestro conocimiento*, lo que da a la teoría *su característica mezcla de elementos objetivos y subjetivos*⁶⁵⁵.

Lo anterior quiere decir que las relaciones de indeterminación de la interpretación de Copenhague, que fueron inicialmente interpretadas como *limitaciones* a nuestro conocimiento subjetivo de las partículas, se emplean fundamentalmente para sentenciar el carácter estadístico y probabilístico de la mecánica cuántica. Por consiguiente, para Popper⁶⁵⁶, los defensores de la interpretación de Copenhague, parten de las relaciones de indeterminación, y de la interpretación subjetiva de la probabilidad, para luego recaer en otro principio (principio de complementariedad), el cual destacaría la '*indeterminación*' o '*incertidumbre*' que deriva del primero, para señalar finalmente el carácter «dual» de las partículas y ondas. Ante las presunciones de la interpretación de Copenhague, Popper⁶⁵⁷ sostuvo que, primero, sería una enorme equivocación considerar que la supuesta *limitación* a nuestro conocimiento pueda ser empleada correctamente para declarar el carácter estadístico de la mecánica cuántica, pues "[...] las leyes estadísticas añaden a nuestro conocimiento: es un error pensar que imponen límites a nuestro conocimiento"⁶⁵⁸, y en segundo lugar, en cuanto al supuesto carácter «dual» de las partículas, las leyes estadísticas no se refieren a un caso individual. El filósofo Ramón Queralto⁶⁵⁹ aclara que para Popper las leyes estadísticas representarían secuencias de fenómenos individuales, por ende, no habría motivos por los cuales dudar de existencia de las partículas a las que se refieren las relaciones de dispersión al considerar posición y momento; las probabilidades o campos de propensiones (u ondas), señalarían las características relacionales (o disposicionales) que manifestarían las partículas en un espacio muestral.

También debemos insistir en que la '*indeterminación*' para Popper nada tiene que ver con una presunta falta de conocimiento, como lo sentencia la interpretación subjetiva de la probabilidad, en la cual muchos refuerzan con las fórmulas de relaciones de indeterminación de Heisenberg, pues como señala el filósofo Jaime Navarro:

Con las propensiones Popper pretende simultanear la existencia de magnitudes probabilistas (innegables en la nueva física), con el carácter objetivo de éstas. La indeterminación que aportan tales magnitudes no es atribuida a la naturaleza

⁶⁵⁵ *Ibíd.*, p. 151.

⁶⁵⁶ Véase: POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p.75.

⁶⁵⁷ *Ibíd.*, p. 75.

⁶⁵⁸ *Ibíd.*, p. 75.

⁶⁵⁹ Véase: QUERALTO, Ramón. Función interpretativa de la propensión como principio de unificación. Karl Popper, de la epistemología a la metafísica. Sevilla: Universidad de Sevilla, 1996, p. 121.

de los objetos físicos (las partículas), sino a las situaciones. De este modo la indeterminación se traslada a los hechos posibles; ni a las cosas mismas, ni a nuestro conocimiento de ellas. Y así, el indeterminismo no aparece como fruto de nuestra ignorancia (caso de la mecánica estadística clásica), pero tampoco fruto del carácter difuso de las estructuras básicas del mundo físico (propio de la interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica). Con esta interpretación de la probabilidad Popper pretende conjugar el formalismo de la mecánica cuántica con su visión de lo que debe ser una física realista u objetivista⁶⁶⁰.

Recordemos que, para Popper, la *indeterminación* refiere a la circunstancia cosmológica según la cual nuestro mundo y sus procesos se encuentran abiertos a la emergencia de nuevas posibilidades. En dicho sentido, también podemos entender que los procesos del mundo cambian sus posibilidades conforme cambia su relación con el entorno y su situación objetiva; ello es precisamente lo que indica las propensiones. La indeterminación, no siendo un asunto atribuible a la nesciencia de los sujetos, es una circunstancia objetiva describable por medio de propensiones. Además, como afirmó Popper:

No hay necesidad de atribuir este indeterminismo a una falta de exactitud o nitidez en el estado de la partícula o a las relaciones de indeterminación: éstas surgen, más bien, como relaciones de dispersión a consecuencia del hecho de que la interacción determinista sea sustituida por propensiones. Esta perspectiva no sólo sustituye la creencia errónea de que la indeterminación es 'debida' (o, más bien, 'debida' en parte) a nuestra interferencia, a nuestras mediciones, etc., sino que además la explica, hasta cierto punto. Porque toda medición se basa en la interacción de las partículas; y por tanto, creará dispersión, de acuerdo con la distribución de las propensiones⁶⁶¹.

Según Popper, las relaciones de indeterminación de Heisenberg deberían entenderse realmente como relaciones de dispersión estadísticas que son objetivas y que pueden ser explicadas por medio de propensiones; además, la *indeterminación* no sería muestra del "conocimiento incompleto", sino que sería un indicativo, de las diversas formas en que se puede producir la *interacción* propensivista de una partícula —o conjunto de partículas— según su entorno.

⁶⁶⁰ NAVARRO, Jaume. Karl Popper, un filósofo con los pies en el suelo. Anuario Filosófico, No 34, 2001, p. 166-167.

⁶⁶¹ *Ibíd.*, p. 203.

4.7. EL 'PRINCIPIO DE COMPLEMENTARIEDAD' Y EL FALSO DUALISMO PARTÍCULA Y ONDA; PLANTEAMIENTOS DESDE LA INTERPRETACIÓN PROPENSIVISTA DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

Como se afirmó antes, en lo que respecta al principio de complementariedad de Bohr⁶⁶², Popper encontró en este postulado serios problemas de índole epistemológica y, principalmente, de índole ontológica. Entre sus consideraciones se encuentra que dicho principio, junto con la interpretación subjetiva de la probabilidad, le estaría atribuyendo una suerte de sometimiento o subordinación del estado y estructura de un objeto microfísico a un sujeto observador (problema ontológico). Además, el principio de la complementariedad insiste abiertamente en el carácter ininteligible del mundo subatómico (problema epistemológico). Si bien en las secciones anteriores vimos algunas consideraciones al respecto, es necesario profundizar e insistir en los planteamientos más importantes que efectuó Popper.

- a) **El principio de la complementariedad es *ad hoc***: lo primero a resaltar es que Popper⁶⁶³ consideró que el principio de la complementariedad es un recurso *ad hoc* en la teoría cuántica, el cual se emplearía con el único propósito de poder manipular dos 'imágenes' que en la física clásica poseen descripciones incompatibles o excluyentes (la 'imagen' corpuscular y la 'imagen' ondulatoria), afirmando que ambas se requieren para la física cuántica. Dicho recurso *ad hoc*, obedecería a pretensiones instrumentalistas, según los cuales para ciertas ocasiones resultaría provechoso emplear 'imágenes' corpusculares y para otros casos 'imágenes' ondulatorias, lo cual implicaría —según Popper⁶⁶⁴— la renuncia absoluta en la ciencia a un programa unificador como el deseado por Einstein y Schrödinger, que pretendiese arrojar luz sobre la crisis de la física y que a su vez otorgase una imagen coherente del mundo. Por ello Popper afirmó:

Confío en que los físicos pronto comprendan que el principio de complementariedad es *ad hoc* y (lo cual es más importante) que su única función es evitar la crítica e impedir la discusión de las interpretaciones físicas;

⁶⁶² Según Popper: "las formulaciones de Bohr del principio de complementariedad son vagas y difíciles de debatir". En: POPPER, Karl. Sobre el uso y abuso de experimentos imaginarios, especialmente en la teoría cuántica. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 423. También afirma: "He explicado el "Principio de Complementariedad" de Bohr tal como yo lo entiendo, después de muchos años de esfuerzo. Sin duda, se me dirá que mi formulación del mismo no es satisfactoria. Pero si es así, estoy en buena compañía, pues Einstein dice: "A pesar de todo el esfuerzo que le he dedicado, no he logrado... llegar a una formulación clara del principio de complementariedad de Bohr". En nota 8: POPPER, Karl. Tres concepciones sobre el conocimiento humano. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p. 134.

⁶⁶³ POPPER, Karl. Tres concepciones sobre el conocimiento humano. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p.134.

⁶⁶⁴ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 189.

pues la crítica y la discusión son absolutamente necesarias para reformar cualquier teoría. Entonces, ya no seguirán creyendo que la estructura de la teoría física contemporánea les impone el instrumentalismo⁶⁶⁵.

Para evitar las contradicciones que subsistían en la interpretación de la teoría cuántica la escuela de Copenhague, al establecer aquel principio de la complementariedad, habría hecho recurso de un principio que es *ad hoc*, lo cual es propio de una filosofía instrumentalista, es decir, de una filosofía interesada especialmente en salvaguardar la práctica experimental y la predicción, sin reparar mayormente en la necesidad de una explicación o descripción del mundo; lo cual iría en contra de las exigencias de la tradición racionalista, cuya expresión más representativa —según Popper⁶⁶⁶— fue la *concepción galileana de la ciencia*, la cual procuraba en la ciencia teorías de contenido informativo, y que a su vez pudiesen explicar lo desconocido por lo conocido. Asimismo, Popper consideró que el instrumentalismo del principio de la complementariedad genera que muchos físicos asuman de forma acrítica y bajo la misma consideración de Niels Bohr, que la física cuántica se encuentra —por su constitución misma— imposibilitada de ser comprendida en términos clásicos; concluyendo de esa manera que la *teoría cuántica* no puede ser plenamente aprehensible por la razón humana⁶⁶⁷.

- b) El principio de la complementariedad implica una renuncia al conocimiento satisfactorio de las partículas subatómicas:** como vimos anteriormente, el principio de la complementariedad también implica la completa ‘renuncia’ a la pretensión de encontrar un conocimiento aprehensible de la naturaleza microfísica, pues a partir de aquel principio se considera que la mecánica cuántica no puede ser enteramente comprensible; que solo la mecánica clásica lo era, y que, por lo tanto, había que resignarse con el hecho de que la teoría cuántica tan sólo fuese parcialmente comprensible, y ello en recurso de la física clásica. Dicha situación supondría una especie de resignación del investigador ante los supuestos *límites* que impondría dicho principio al conocimiento humano, sentenciando que, en lo que respecta a la comprensión de los niveles microfísicos de la naturaleza, “ese era el *límite* de lo que nuestro entendimiento podía penetrar”⁶⁶⁸. *El principio de la complementariedad* niega manifiestamente la posibilidad de entender los objetos subatómicos bajo la supuesta consideración de que únicamente podemos entender las ‘imágenes clásicas’. Dicho principio estaría ocasionando un problema epistemológico, en tanto que impone límites al propio conocimiento y a la razón humana. También estaría quebrantando aquella condición señalada por el

⁶⁶⁵ POPPER, Karl. Tres concepciones sobre el conocimiento humano. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p.150.

⁶⁶⁶ *Ibíd.*, p. 137.

⁶⁶⁷ Sobre el *principio de complementariedad*, véase: POPPER, Karl. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991, p.134.

⁶⁶⁸ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 33.

racionalismo crítico de Popper⁶⁶⁹, según la cual, las teorías científicas deben ostentar un contenido informativo abundante, como a su vez, una claridad que facilite una comprensión adecuada e intersubjetiva de la teoría. Popper afirmó en *La lógica de la investigación científica*:

“A mi parecer, existe una relación obvia entre el ‘principio de complementariedad’ de Bohr y esta tesis metafísica de una realidad incognoscible —tesis que sugiere la ‘renuncia’ (para emplear un término favorito de Bohr) de nuestras aspiraciones al conocimiento, y la restricción de nuestros estudios físicos a apariencias y a sus relaciones mutuas—”⁶⁷⁰.

- c) El principio de complementariedad surge de un ‘gran embrollo cuántico’:** como mostramos ya en la sección 4.3.3. de la presente monografía, Popper⁶⁷¹ explicó en su cuarta tesis del tercer volumen del *Post Scriptum: Teoría cuántica y el cisma en la física*, que el principio de la complementariedad que expresa el supuesto dualismo partícula-onda, surgiría como producto de un *embrollo cuántico*, el cual versa en un inadecuado tratamiento de la teoría de la probabilidad, y en el que se confundirían las características de un espacio muestral con las propiedades físicas de los elementos individuales. Al respecto, veamos la siguiente afirmación de Popper:

Desgraciadamente, mucha gente, incluidos los físicos, hablan como si la función de distribución (o su forma matemática) fuese una propiedad de los elementos de la población en cuestión. No distinguen entre categorías o tipo de cosas totalmente diferentes y se basan en la suposición nada prudente de que ‘mi’ probabilidad de vivir en el sur de Inglaterra es, como ‘mi’ edad, una de ‘mis’ propiedades quizá una de mis propiedades físicas⁶⁷².

Popper señaló que las propiedades estadísticas (dígase por ejemplo la desviación estándar) son propiedades de un espacio muestral o conjunto de elementos, sucesos o números, pero no una propiedad que sea particular a cada uno de esos elementos. En dicho sentido, el embrollo cuántico trataría inadecuadamente las distribuciones estadísticas de densidad (o la función de onda Ψ), como si fuese una propiedad real y concreta, para cada uno de los elementos de la población, pues “no distinguen entre categorías o tipo de cosas totalmente diferentes”, y ello ocasionaría que en la teoría cuántica se disocie el realismo y el objetivismo, lo cual conduce a una interpretación subjetiva y no realista⁶⁷³ de la teoría cuántica. Según

⁶⁶⁹ POPPER, Karl. *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 218.

⁶⁷⁰ *Ibid.*, p. 423.

⁶⁷¹ POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: *Teoría cuántica y el cisma en física*. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 72.

⁶⁷² *Ibid.*, p. 72-73.

⁶⁷³ Véase: QUERALTÓ, Ramón. *Función interpretativa de la propensión como principio de unificación*. Karl Popper, de la epistemología a la metafísica. Sevilla: Universidad de Sevilla, 1996, p. 120.

Popper, el embrollo cuántico, que obliga a incurrir en el principio de complementariedad, involucraría ciertos problemas ontológicos, pues como clarifica apropiadamente Queraltó:

[...] los defensores de éste [del principio de la complementariedad de Bohr] parten como base, de la consideración de que las leyes estadísticas naturales son 'deficientes' o 'imperfectas', y que por tanto la teoría cuántica con la indeterminación interpretada como límite subjetivo del conocimiento, significa que no podemos estar seguros de la estructura misma de lo real, si es partícula o si es onda⁶⁷⁴.

Sin embargo, a partir de la interpretación estadística de Popper de la mecánica cuántica la función de onda no sería propiamente una entidad física y concreta (es decir, no es algo que se pueda asemejar a una propiedad material como en el caso de la partícula), sino que sería simplemente una propiedad disposicional y por ende abstracta (aunque lo anterior no quiere decir que la función de onda no sea una propiedad real). En dicho sentido la interpretación de Copenhague no habría entendido claramente que la estructura de la realidad microfísica se constituye tanto de partículas (que son reales y concretas), como de sus correspondientes campos de propensiones u ondas (que también son reales, aunque abstractos).

Según Popper, "la conexión que hizo Bohr del 'principio de complementariedad' con el 'dualismo de partícula y onda' se vino abajo cuando se aceptó la interpretación de Born del cuadrado de la amplitud de onda como una probabilidad para hallar la partícula. Porque esto significaba, en realidad, la aceptación de que la interpretación corpuscular era básica"⁶⁷⁵. Pero las ondas de Schrödinger fueron consideradas por físicos como James Jeans⁶⁷⁶, como ondas de probabilidad subjetiva, es decir como si fuesen ondas de nuestro conocimiento.

Por circunstancias en donde la interpretación de Copenhague no asume una distinción clara, Popper⁶⁷⁷ consideró que, el supuesto dualismo entre partícula y onda, que surge del embrollo cuántico, introduciría en la teoría cuántica el papel de la conciencia. El autor aseveró que aquello resultaría evidente al considerar afirmaciones como las de Heisenberg cuando dice: "La concepción de la realidad objetiva... se ha esfumado, así... en la trasparente claridad de una matemática que no representa ya la conducta de las partículas, sino, más bien, nuestro conocimiento de esa conducta"⁶⁷⁸. Es por ello que Popper cuestionó férreamente aquella

⁶⁷⁴ *Ibid.*, p 121. Entre corchetes se ha agregado aclaración.

⁶⁷⁵ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 33.

⁶⁷⁶ POPPER, Karl. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 217.

⁶⁷⁷ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 104.

⁶⁷⁸ HEISENBERG, Werner citado por POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 104.

concepción interpretativa dependiente del observador que ofrece la interpretación de Copenhague; retoma los planteamientos de la verdad objetiva, el realismo e indeterminismo, para replantear y controvertir la interpretación subjetiva de la teoría estadística y de la probabilidad. Según explica Queraltó, a partir de la postura de Popper:

[...] no se trata de que el sujeto cognoscente cree esa realidad conocida al 'elegir' o 'forzar' a la naturaleza a que se manifieste de una determinada forma —dualidad onda y corpúsculo, por ejemplo, o principio de complementariedad de la interpretación de Copenhague—, sino que los límites de una teoría científica vienen impuestos por la naturaleza misma de los problemas que plantea; de ahí que si sus problemas son de índole estadística no pueda exigirse posteriormente un mayor grado de certidumbre⁶⁷⁹.

Popper evaluó el papel de la probabilidad en la teoría cuántica y luego ofreció su propia propuesta propensivista de la probabilidad, la cual pretende esclarecer el verdadero comportamiento cuántico de las partículas frente a la supuesta dualidad postulada por el principio de complementariedad de Bohr. Popper se propuso superar el antiguo formalismo estadístico por medio de las propensiones, las cuales posibilitarían considerar propiedades relacionales, que son abstractas, reales, semejante a las fuerzas newtonianas (pero “diferente de una fuerza en que produce frecuencias en lugar de aceleraciones”⁶⁸⁰), y las cuales serían las causantes del dinamismo de las partículas, y por ende, de que las partículas adoptasen cierto estado específico bajo ciertas condiciones. Una vez se desenmascarase el embrollo cuántico, pensaba Popper, no habría ninguna dualidad cuántica, porque la *partícula* podría ser efectivamente una propiedad física, concreta y real, mientras que por su parte la *onda* nunca estaría representando una propiedad física e individual, sino que estaría representando propiedades disposicionales de las partículas.

Según Popper: “no hay, pues, simetría ni dualidad entre ondas y partículas: las ondas describen propiedades disposicionales de las partículas”⁶⁸¹. Asimismo, como explica Queraltó: “la realidad, finalmente, estará compuesta de partículas y campos de propensiones, los cuales son objetivos y medibles precisamente a través de las leyes estadísticas”⁶⁸².

La estructura ontológica de los fenómenos cuánticos no mostraría ninguna incompatibilidad o dualidad (es decir, no se excluyen entre sí), ya que las partículas serían propiedades reales y concretas, mientras que las propensiones u ondas

⁶⁷⁹ QUERALTÓ, Ramón. La objetividad del mundo. Karl Popper, de la epistemología a la metafísica. Sevilla: Universidad de Sevilla, 1996, p. 50.

⁶⁸⁰ POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 437.

⁶⁸¹ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 145.

⁶⁸² QUERALTÓ, Ramón. Karl Popper, de la epistemología a la metafísica. Sevilla: Universidad de Sevilla, 1996, p. 124.

también serían reales, aunque abstractas, ya que aquellas señalarían propiedades disposicionales o relacionales de las partículas según todo su entorno y situación objetiva; en dicho sentido resulta importante advertir que las propensiones no serían propiedades únicamente de la partícula, si no de ésta y de toda su situación objetiva.

d) No existe ninguna *dualidad* entre partícula y onda:

Según Popper, el hablar de una «dualidad» induce al error, pues “[...] no hay dualidad en ningún sentido en el que podamos hablar o bien de partícula o bien de onda, pero no de las dos a la vez —de la misma manera que no hay una dualidad entre una partícula y su momento que nos impida hablar de los dos al mismo tiempo—”⁶⁸³. Es decir, según Popper⁶⁸⁴ no hay nada que realmente nos impida hablar, para el mismo caso experimental, tanto de las partículas como de las ondas, pues como hemos visto, mientras las partículas señalan propiedades físicas e individuales, las ondas serían representaciones matemáticas de las propensiones, pues estas serían propiedades disposicionales de la situación física que pueden interpretarse como propensiones de las partículas a adoptar ciertos estados específicos, según ciertas condiciones de la *situación objetiva*. Es por ello que Popper afirmó lo siguiente:

Como siempre, nada depende de las palabras, pero el hablar del ‘dualismo onda-partícula’ ha creado mucha confusión, como resalta Landé con razón: tanta confusión que yo quiero apoyar su sugerencia de que se abandone el término ‘dualismo’. Propongo que hablemos en cambio (como lo hizo Einstein) de la partícula y sus ‘*correspondientes*’ campos de propensiones (el plural indica que los campos no sólo dependen de las partículas, sino también de otras condiciones), y evitemos así la sugerencia de una relación simétrica⁶⁸⁵.

De modo que, las partículas manifestarían propiedades físicas y reales, en tanto que las ondas manifestarían propiedades relacionales que son abstractas como las fuerzas newtonianas y por lo tanto también reales. Las propiedades de partícula y de onda pueden manifestarse en el mismo procedimiento empírico sin que haya ninguna especie de *dualidad*. En una entrevista a Popper —a sus 87 años de

⁶⁸³ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 100.

⁶⁸⁴ *Ibíd.*, p. 145.

⁶⁸⁵ *Ibíd.*, p. 103. El profesor John Auping comentó: “a partir de la mitología generada por la escuela de Copenhague, se ha arraigado en la mente de los académicos y del público en general la falacia de que el patrón de franjas en ciertos experimentos se debe a la interferencia de unas partículas con otras, análogamente a la interferencia de olas de agua que se refuerzan o neutralizan. De esta confusión nació otra, a saber, la de concebir a electrones y fotones como partículas en unos experimentos y ondas, en otros experimentos. En realidad, siempre se trata de partículas a cuyas variadas conductas en diferentes experimentos siempre están asociadas diferentes distribuciones de probabilidad”. En: AUPING, John. Una revisión de las teorías sobre el origen y la evolución del universo: física, metafísica, ciencia ficción y (a)teología en la cosmología antigua y moderna. Mexico D.F: Universidad Iberoamericana, 2009, p. 132.

edad— hecha por el filósofo Jesús Mosterín, aquel se refiere al práctico caso de la experimentación con ranuras, y sobre ello afirmó:

No tiene ningún sentido decir que el experimento de las dos ranuras sólo tiene propiedades de onda, y el de una ranura de partícula. Ambos experimentos tienen fundamentalmente propiedades de partícula y sólo adquieren las de onda si suministramos un número suficientemente alto de partículas. En el primer experimento las propiedades de onda se exhiben de un modo dramático, pero también se exhiben en el segundo, aunque de un modo menos dramático. La ecuación de Schrödinger se aplica a ambos, y ambos exhiben propiedades de partículas. Es cierto que ambos experimentos se excluyen mutuamente, pero no en el sentido de que uno sólo exhiba propiedades de onda y el otro de partículas. La consecuencia del principio de complementariedad es simplemente falsa⁶⁸⁶.

Según Popper, no existe ningún tipo de *dualidad*, la teoría cuántica sería una teoría cuyo objeto fundamental son las partículas, y puesto que es una teoría estadística, las probabilidades (u ondas) que determina, se refieren a sus correspondientes campos de propensiones, los cuales, como se ha reiterado, indican las propensiones a que las partículas adopten cierto estado en ciertas condiciones. Por ello es de entender como lo expresa Queraltó, que para Popper:

[...] no es de ninguna manera procedente establecer una ‘oposición’ entre partícula y onda, o partícula o campo, a la que se llega de acuerdo con la errónea concepción de la dualidad entre ambas. No hay que elegir como si se tratara de una disyunción absoluta, no es correcto afirmar que se ha de adoptar como real solamente una de las dos descripciones físicas —incluida la cuestión de la elección entre causalidad o conocimiento de la entidad individual—, sino que ambas se integran armónicamente, ya que los corpúsculos ‘aislados’ completamente, sin relaciones propensivistas, no tienen cabida en este mundo físico así entendido. De esta forma, ‘las probabilidades que la teoría determina son siempre las *propensiones* de las partículas a adoptar cierto estado bajo ciertas condiciones. No hay, pues, simetría ni dualidad entre ondas y partículas: las ondas describen propiedades disposicionales de las partículas’⁶⁸⁷.

Lo anterior implica que, según Popper⁶⁸⁸, las partículas no aparecerían explícitamente en el formalismo de la teoría cuántica, pues si bien la teoría cuántica es una teoría cuyo objeto fundamental son las partículas, al ser una teoría probabilística es una teoría de ondas o de matrices, las cuales describirían las propensiones de ciertas variables (o estado de ciertas partículas) a tomar ciertos valores. Por ello Popper afirmó:

⁶⁸⁶ MOSTERÍN, Jesús. Entrevista con Karl Popper. En: *Humánitas: EPISTEME NS*, Vol. 22, Nº 1, 2002, p. 106.

⁶⁸⁷ QUERALTÓ, Ramón. Función interpretativa de la propensión como principio de unificación. Karl Popper, de la epistemología a la metafísica. Sevilla: Universidad de Sevilla, 1996, p. 125.

⁶⁸⁸ POPPER, Karl. La objetividad de la teoría cuántica. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 145.

“La teoría cuántica actual, vista desde la interpretación propensivista, es una teoría de partículas. Las ondas no hacen más que determinar los estados probables de la partícula, es decir la probabilidad o propensión de la partícula a estar en un lugar determinado o a poseer un momento determinado”⁶⁸⁹.

Según la interpretación propensivista de la mecánica cuántica de Popper, en el mundo físico realmente existirían las partículas; las ondas representarían las propensiones de las partículas a adoptar cierto estado específico, según las *condiciones generadoras* presentes en su situación objetiva. Puesto que las ondas serían muestra de las *interacciones propensivistas* de la partícula con toda su situación objetiva, éstas también se remitirían a ciertas propiedades y tendencias que serían reales, aunque *ocultas* y *abstractas*, y las cuales pueden considerarse que se refieren a propiedades relacionales o disposicionales.

Popper consideró que la teoría cuántica es una teoría de partículas (o corpúsculos), pero también ansió, al igual que el último *programa metafísico de investigación* de Schrödinger, Einstein, Maxwell, de Broglie y Faraday —un programa que sondeó especulaciones sobre el concepto de campo—, que eventualmente se pudiese explicar “la materia como una perturbación de algo que, a su vez, no es material”⁶⁹⁰; o que permitiese “concibir al mundo —los átomos así como el vacío— en términos de campos continuos”⁶⁹¹.

En uno de sus últimos libros, *La responsabilidad de vivir* (publicado en 1994), reiteró su rechazo al principio de complementariedad de Bohr que presume la dualidad partícula-onda, y mostró su adhesión por una explicación como la otorgada por la teoría de ondas piloto de De Broglie, pues afirmó:

“Yo soy partidario de las ondas piloto de De Broglie; por lo tanto, de la hipótesis mucho más simple de que existen tanto partículas como ondas y que las partículas materiales son dirigidas por las inmateriales, cuyas amplitudes determinan tendencias probabilísticas”⁶⁹².

⁶⁸⁹ *Ibíd.*, p. 158.

⁶⁹⁰ *Ibíd.*, p. 174. Al respecto, el filósofo Ramón Queraltó afirmó: “[...] aunque el filósofo se haya visto obligado a interpretar la teoría cuántica como una teoría de partículas, su ideal es poder explicar en un futuro que la materia es ‘una perturbación de algo que a su vez no es material’, es decir, explicar la materia como entidad corpuscular por medio del campo físico o campo de energía”. En: QUERALTÓ, Ramón. Karl Popper, de la epistemología a la metafísica. Sevilla: Universidad de Sevilla, 1996, p. 139.

⁶⁹¹ POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 232.

⁶⁹² POPPER, Karl. La responsabilidad de vivir. Zaragoza: Editor digital Titivillus, 1994, p. 90.

No obstante, ésta última afirmación de Popper se muestra algo problemática, en tanto que habría criticado la teoría de ondas piloto de De Broglie en su *Post Scriptum* de la siguiente manera: “[...] quiero indicar por qué dudo de que la llamada teoría de las ondas piloto de De Broglie, redescubierta por David Bohm, sea aceptable. Lo dudo a causa de la réplica de Bohm a Einstein, Podolsky y Rosen. Bohm no acepta la concepción de que las partículas tengan tanto posiciones como momentos nítidos

En conclusión, según la interpretación propensivista de la mecánica cuántica, en cuanto a la estructura de los objetos microfísicos, no existe ninguna *dualidad partícula-onda* que sentencie la posibilidad de que *algo desconocido* se muestre a veces como partícula, y otras veces como onda, y de forma tal que ambas estructuras o formas fenoménicas se excluyan mutuamente; esta *dualidad* sería realmente un malentendido fruto del *embrollo cuántico*, ya que lo que realmente existiría son las partículas con sus correspondientes campos de ondas o propensiones (las cuales también serían reales pero abstractas, y ocultas o potenciales).

Por último, aprovechamos para dejar claro aquí, que así como vimos en la novena tesis del *Post Scriptum*, la probabilidad sería una cualidad de toda la situación objetiva, y esto sería lo que envuelve aquello que se denomina la reducción del paquete de ondas, por lo cual, a partir de la interpretación propensivista, el estado de las partículas solo depende de las condiciones de generación presentes en la configuración experimental, en otras palabras, el estado de las partículas no estaría supeditado a un sujeto observador, sino exclusivamente a las condiciones impuestas a toda la situación objetiva del experimento.

4.8. LA TEORÍA PROPENSIVISTA DE LA MECÁNICA CUÁNTICA DE KARL POPPER

Como se ha pretendido mostrar a lo largo de la presente monografía, la teoría metafísica de la propensión de la mecánica cuántica procede de un programa metafísico de investigación, o de una cosmología propensivista. Dicho programa recoge fundamentalmente los planteamientos filosóficos y metafísicos sobre el objetivismo, el realismo y el indeterminismo, con la intención explícita de regular las posibles soluciones a los problemas que persisten en toda la ciencia empírica, pero Popper se enfocó especialmente en aquellos problemas que surgen de la

[...]”. En: POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 167. Aunque no se pretende desarrollar aquí un análisis sobre el conflicto entre ambos argumentos, se advierte que, si bien aquellas afirmaciones resultan —entre sí— algo problemáticas, puede que no señalen una contradicción argumentativa que sea del todo insuperable; en todo caso puede presumirse que Popper posteriormente habría abandonado aquellas dudas sobre la teoría de ondas de De Broglie, asumiendo otra interpretación de ésta (más cercana a la reinterpretación de Bohm, conocida como la interpretación de Broglie-Bohm), y donde no se le atribuya una supuesta imprecisión a la posición y momento de las partículas. Además, el mismo Popper, también en el *Post Scriptum*, habría señalado lo siguiente: “para evitar cualquier malentendido, quiero dejar claro que no creo que haya dualismo entre ondas y partículas ni nada lejanamente parecido. Respecto a las ondas piloto de De Broglie, sugiero que la mejor manera de interpretarlas es como ondas de propensiones”. En: POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 159.

interpretación de la mecánica cuántica. Es por ello que la teoría propensivista de Karl Popper comienza por evaluar la interpretación de la teoría cuántica más aceptada por la comunidad científica, a saber, la interpretación de Copenhague, a partir de los tres planteamientos señalados (objetivismo, realismo e indeterminismo), y encontrando luego que la versión de Copenhague mantiene constantes conflictos con ellos, especialmente con el indeterminismo y el realismo.

Recordemos que el objetivismo de Popper procura mantener siempre en tela de juicio tanto las teorías, leyes e hipótesis, como las mismas observaciones de la ciencia, porque (1) las teorías no obedecen a verdades definitivas, ni a verdades “probables” que se instauran de una vez y por todas en el tiempo, pues no escapan de ser más que sorprendentes conjeturas que en cualquier momento pueden fracasar y (2) las observaciones no son “puras”, “desnudas”, desinteresadas y sin prejuicios, pues en cierta medida son formadas con base a nuestros intereses o expectativas, o interpretadas a la luz de nuestras teorías. Por consiguiente, el objetivismo de Popper nos señala que, pese a lo imperfecto que puedan estar nuestras teorías y observaciones, es posible que, gracias a la perpetua discusión crítica e intentos de refutación empírica, adquirir poco a poco, mayores grados de verosimilitud sobre nuestras conjeturas.

En lo que respecta al indeterminismo, pese a que la interpretación de Copenhague considera que la teoría cuántica es una teoría estadística, según Popper⁶⁹³, esta consideración estaría basada en criterios desacertados: estaría atribuyendo el carácter estadístico de la teoría cuántica a una supuesta carencia de conocimiento (esto equivale a una interpretación subjetiva de la probabilidad) que se presume derivaría de las relaciones de indeterminación de Heisenberg. Popper vería, por su parte, que la teoría cuántica es estadística porque los problemas que la originan y trata de resolver son de índole estadística, y por ende trata a las diversas y específicas frecuencias relativas que manifiesta la naturaleza física. Si la teoría cuántica es indeterminista, según Popper⁶⁹⁴, no lo es a causa de una presunta carencia de conocimiento subjetivo, sino porque la naturaleza misma es indeterminista y emergente, es decir que para Popper el indeterminismo sería una circunstancia cosmológica, según la cual las partículas poseerían *propensiones* a adoptar ciertos estados específicos en el tiempo, según cambia su entorno y la situación objetiva.

En cuanto al realismo, los evidentes *titubeos sistemáticos*⁶⁹⁵ de la interpretación de Copenhague entre la interpretación subjetiva y la interpretación objetiva⁶⁹⁶ de la probabilidad, propiciarían planteamientos como el supuesto «dualismo» entre

⁶⁹³ POPPER, Karl. La objetividad de la teoría cuántica. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 151.

⁶⁹⁴ *Ibíd.*, p. 195.

⁶⁹⁵ Véase: *Ibíd.*, p. 126

⁶⁹⁶ Es de precisar que existen interpretaciones de la probabilidad como la lógico-subjetivo de Keynes que afirman ser “objetivas”, pero que —según Popper— realmente no lo son.

partícula y onda, que arrojaría serias dudas acerca del verdadero carácter ontológico de las partículas subatómicas. Las anteriores consideraciones muestran el por qué Popper razonó que los problemas interpretativos de la física cuántica, poseen una estrecha relación con la interpretación de la teoría de la probabilidad, y es precisamente por ello que Popper propuso un replanteamiento de la interpretación clásica de la teoría de la probabilidad como una teoría de las propensiones, la cual presumió objetiva y que puede dar cuenta en la teoría cuántica de los posibles y diversos estados de una partícula, según la *situación objetiva* en la que se encuentran inmersas.

La interpretación de Copenhague, a través del principio de complementariedad de Bohr, pretendió disipar las diferentes dificultades teóricas presentes en la teoría cuántica, por medio de una actitud meramente instrumentalista. Popper vio en dicho principio un mero recurso *ad hoc*, cuya pretensión fundamental consistiría en evitar la crítica y la discusión racional que indagase ulteriormente a la misma teoría cuántica. Popper propuso una nueva interpretación de la teoría cuántica que se nutre de su propuesta propensivista de la probabilidad y la cual no consideró *ad hoc*, pues según afirmó el autor:

“Es una interpretación que no es *ad hoc*, porque es aplicable a las tiradas de monedas y a la estadística clásica tanto como la teoría cuántica. Y también puede ser criticada, espero que lo sea”⁶⁹⁷.

Popper arguyó a favor de su teoría propensivista de la probabilidad, que no sería *ad hoc*, por cuanto además de posibilitar la crítica y la discusión racional, piensa que es factible que pudiese —una vez complete su formalismo— arrojar mediciones o frecuencias «virtuales», que efectivamente correspondiesen con las frecuencias relativas que manifiesta la naturaleza experimentable; es decir, la teoría propensivista podría ser, eventualmente, susceptible de falsabilidad y por ende, de constatación empírica individual.

La teoría propensivista de Popper consiste en considerar también los casos en los cuales no siempre hay eventos o sucesos equiposibles, pues en la naturaleza física cotidianamente se manifiestan posibilidades que poseen mayor «peso»; esto último entendido como probabilidad o propensión física de efectuarse o actualizarse, más que otras posibilidades.

Popper cuestionó las tradicionales teorías de la probabilidad (especialmente la teoría subjetiva, pero también la teoría frecuencial de la probabilidad), cuyo formalismo estaría presuponiendo en cualquier tipo de situación la equiposibilidad, o como también referencia el autor, dichas teorías probabilistas establecerían una *homogeneidad estadística*.

⁶⁹⁷ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 123.

Considerando lo anterior, pensemos por un momento en las *relaciones de indeterminación* de Heisenberg, que según la interpretación de Copenhague supondrían un *límite* a la precisión de ‘nuestro’ conocimiento sobre las partículas. Según Popper, aquel supuesto límite no sería una *consecuencia lógica* de la teoría, entre otras cosas, porque aquello que se interpreta como una insuperable falta de precisión de los estados cuánticos —o como preferiría decir la versión de Copenhague, de ‘nuestro’ conocimiento de los estados cuánticos—, obedece, en realidad, a que existirían límites en aquella *homogeneidad estadística* de los resultados experimentales. Popper consideró que resulta necesario superar la *homogeneidad estadística* considerando, entre otras cosas, la variabilidad del sistema, el entorno y las *condiciones generadoras*.

Los supuestos límites (fijos) que presuntamente muestran las relaciones de indeterminación de Heisenberg, pueden ser superados, a juicio de Popper, a través de su propuesta propensivista de la probabilidad (la cual no es de carácter *estadístico-homogéneo*), ya que entraría a considerar según la *situación objetiva* (o configuración experimental), las propensiones de una partícula a adoptar cierto estado bajo ciertas condiciones, es decir, se considera la existencia de posibilidades con mayor «peso» a efectuarse en la realidad experimentable, según las condiciones generadoras y la disposición experimental.

A partir de la propuesta propensivista de la probabilidad, el autor pensó que es posible reinterpretar la teoría cuántica como una teoría acerca de las propensiones, las cuales considerarían los *enunciados de probabilidad* como enunciados sobre la medida de propiedades (propiedades físicas —aunque abstractas— y que son relacionales) de la configuración experimental repetible o *situación objetiva*.

La interpretación propensivista de la mecánica cuántica, para explicar fenómenos como los presentes en el experimento de la doble rendija, además de recurrir a la interpretación propensivista del cálculo de probabilidades, también recurre a los planteamientos del físico Landé, sobre lo que éste denomina como: “la tercera regla cuántica de Duane”.

Con todos aquellos elementos teóricos, la *interpretación metafísica de la propensión de la mecánica cuántica* de Popper, confiere realidad a las propensiones, pero no como propiedades concretas de las cosas físicas, sino como propiedades relacionales que derivan de la *situación objetiva* o como propiedades disposicionales. De acuerdo a Popper⁶⁹⁸, aquello que establecemos como propensión sería una especie abstracta de propiedad física, pero aun así, afirma que no habría que desconocer que se trataría de una propiedad física *real*. Según sentenció Popper: “[...] las propensiones no son, pues, propiedades de la partícula

⁶⁹⁸ *Ibíd.*, p. 91.

sino de la situación objetiva; por ejemplo, de una situación experimental”⁶⁹⁹. Por lo tanto, las propensiones no son propiedades estrictamente de la partícula individual, sino de la partícula y de toda la situación entera.

Ahora bien, según Popper⁷⁰⁰ la mecánica cuántica tiene entre sus peculiaridades el principio de la superposición de amplitudes de ondas, por lo cual las probabilidades (o propensiones) se caracterizarían porque sus amplitudes pueden interferirse, serían para el autor efectivamente reales y físicas, “[...] y no un simple artificio matemático”⁷⁰¹. Ello indica, según el filósofo⁷⁰², que las ondas de propensiones pueden interactuar, mostrando con ello que son reales, y por ende que existen los *campos de propensiones*. Según Popper:

“[...] las propensiones y los campos de propensiones son tan reales como las fuerzas y los campos de fuerzas. Son, como las fuerzas, propiedades disposicionales; y como las fuerzas o los campos de fuerzas son propiedades no tanto de las partículas como de toda la situación física; son como las fuerzas, propiedades relacionales”⁷⁰³.

Por consiguiente, si bien las propensiones no serían propiedades físicas de las partículas individuales o concretas, sí serían propiedades reales de la situación o propiedades relacionales, e incluso semejantes a las fuerzas newtonianas (se aclara que son semejantes en dos sentidos: (1) en la medida en que las propensiones al igual que las fuerzas newtonianas son abstractas y ocultas y (2) en que, así como las fuerzas producen aceleraciones, las propensiones generan frecuencias).

Asimismo, Popper asemejó las propensiones a la *explicación* de la fuerza de gravedad de Newton, la cual también sería una especie de *propiedad relacional*. Popper advirtió que comúnmente suele suponerse que una propiedad con tales características *relacionales* no sería efectivamente ‘real’, sino ‘ideal’, error, a su

⁶⁹⁹ Nota 63 en: POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 90.

⁷⁰⁰ *Ibid.*, p. 102.

⁷⁰¹ *Ibid.*, p. 103.

⁷⁰² *Ibid.*, p. 103. Asimismo, el profesor John Auping Birch, refiriéndose al experimento con ranuras, explicó la idea de que las propensiones son reales, de la siguiente manera: “el indeterminismo de la causalidad, en este experimento, queda claro. Cada electrón o cada fotón tienen muchas opciones y es imposible predecir de antemano cuál ‘escogerá’. Lo que sí es posible determinar exactamente es la probabilidad de cada uno de los puntos de aterrizaje. El hecho de que estas probabilidades, definidas como los cuadrados absolutos de las amplitudes, pueden interferir, es decir, pueden reforzarse o anularse, comprueba que son reales, es decir, rasgos físicos reales del arreglo experimental, pero no de la partícula”. En: AUPING, John. Una revisión de las teorías sobre el origen y la evolución del universo: física, metafísica, ciencia ficción y (a)teología en la cosmología antigua y moderna. Mexico D.F: Universidad Iberoamericana, 2009, p. 447.

⁷⁰³ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 146.

juicio, muy frecuente entre los físicos. Al respecto, el siguiente fragmento resulta bastante esclarecedor:

Una razón de que Newton encontrase difícil aceptar su propia teoría como *explicación* de la gravedad era que le resultaba difícil ver en sus fuerzas de atracción —actuando a distancia— una propiedad *inherente o esencial* de la materia. La extensión podía ser una propiedad esencial de un trozo de materia, porque no dependía de nada más que de ese trozo de materia. Pero la atracción era una disposición a atraer a *otros trozos de materia*: era una propiedad relacional, una propiedad mutua; y era, por tanto, difícil de concebir como *inherente* al trozo de materia, tan difícil como es de considerar inherente a la propiedad de un trozo de materia de ser *más extenso (más grande) que otro trozo de materia*. Es nuestro hábito aristotélico y esencialista de expresarnos (unido a la preferencia habitual a usar enunciados 'categóricos', es decir, de sujeto-predicado) el que nos sugiere que las propiedades relacionales no son 'reales' sino 'ideales'; es decir, que tienen su fundamento sólo en nuestro pensamiento y en nuestras actividades de ordenación. Es esa actitud, en último término, la que lleva a la interpretación subjetiva de las probabilidades y la que hace difícil aceptar una interpretación objetiva de la propensión⁷⁰⁴.

Uno de los autores más representativos de la interpretación de Copenhague, Werner Heisenberg, muestra esta *actitud aristotélica* (en el sentido esencialista descrito en la sección 2.1.2. de la presente monografía), ya que manifestó en repetidas ocasiones que las ondas no son *reales*, y al mismo tiempo puso en entredicho la objetividad. Así lo deja ver en su libro *Física y filosofía* publicado en 1958, donde en debate con David Bohm, porque éste consideró que tanto las partículas como las ondas en el espacio de configuración son "objetivamente reales", afirmó:

La palabra "real" se relaciona con la palabra latina "res", que significa "cosa"; pero las cosas están en el ordinario espacio tridimensional, no en un abstracto espacio de configuración. A las ondas del espacio de configuración se las puede llamar "objetivas" cuando se desea expresar que esas ondas no dependen de ningún observador; pero difícilmente se las puede llamar "reales" a menos que se quiera cambiar el significado de la palabra⁷⁰⁵.

⁷⁰⁴ *Ibíd.*, p. 146.

⁷⁰⁵ HEISENBERG, Werner. *Física y filosofía*. Buenos Aires: Editorial la Isla, S. R. L., 1959, p. 108. Pudiese parecer que Popper cae en una contradicción, pues: (1) Popper aseguró que la explicación instrumentalista se contrapone a la explicación esencialista, ya que los primeros poco se preocupan por la verdad de una conjetura (sólo les interesa la operatividad), a diferencia de los segundos que pretenden verdades últimas, y (2) Popper afirmó que Heisenberg es un instrumentalista. La contradicción surge una vez consideramos que Heisenberg también muestra una posición esencialista una vez niega la realidad de las propiedades relacionales. Pero como se dijo antes, la contradicción es aparente, pues el mismo Popper asumió una postura media entre el esencialismo y el instrumentalismo con su denominado "esencialismo modificado", por lo cual, en Heisenberg podemos concebir una postura sincrética, pero que recogería aquellas partes que más cuestionó Popper de aquellas dos doctrinas antes mencionadas.

No se pretende dilucidar que entiende David Bohm por "objetivamente reales", pues para nuestro interés, basta con entender que Heisenberg muestra una *actitud* cercana al *esencialismo aristotélico*, al considerar que las ondas en el espacio de configuración no son efectivamente *reales*, mientras que para Popper tanto las partículas son *reales como las ondas (o campos de propensiones)*, aunque éstas últimas posean una *realidad abstracta y oculta*.

No hay que olvidar que para el filósofo austriaco⁷⁰⁶ las propensiones no son precisamente propiedades inherentes a un objeto concreto (no representan propiedades esencialistas) ni de una partícula ni de un planeta ni de una moneda; son algo más *abstracto*, y de carácter relacional: propiedades que se presumen tendencias físicas *ocultas* y, en esa medida, semejantes a las fuerzas newtonianas. Como hemos visto, no por ello —aseguró Popper— habría que considerar las propensiones como objetos meramente *ideales* en el sentido de que sirvan simplemente para una actividad de ordenación mental, sino que ellas serían ciertamente *reales* en tanto que pueden interactuar de manera específica y según la situación objetiva que poseen, para que las partículas adopten uno u otro estado específico.

Todo lo anterior resulta ser para la ciencia física un planteamiento bastante especulativo. Es de recordar que Sir Karl Raimund Popper admitió desde un principio y abiertamente el carácter metafísico de su propuesta propensivista y ello por varias razones, entre ellas: si bien las propensiones o *campos de propensiones* guardan la posibilidad de una contrastación empírica, ya que según el autor: “[...] *puede recibir patadas y devolverlas*”⁷⁰⁷, todavía carece de ciertos elementos formales, que deben seguir siendo desarrollados a través de la discusión crítica y racional, hasta que finalmente se pueda algún día correlacionar las frecuencias «virtuales» que derivarían de la teoría propensivista, con las frecuencias relativas de la naturaleza empírica. Además, en la compilación realizada por David Miller, *Escritos selectos*, Popper presentó en su texto “Propensiones, probabilidades y la teoría cuántica”, en sus dos últimas tesis (tesis siete y ocho), otros argumentos que sentencian el carácter metafísico de su teoría. En dichas tesis afirmó:

“7) La idea de las propensiones es ‘metafísica’, exactamente en el mismo sentido en que las fuerzas o campos de fuerzas son metafísicos.

⁷⁰⁶ En *Escritos selectos*, Popper afirmó que: “la tendencia o disposición o propensión es, por tanto, como propiedad relacional de orden experimental, algo más abstracto que, digamos, una fuerza newtoniana con sus sencillas reglas de adición vectorial. La distribución de la propensión atribuye pesos a todos los posibles resultados del experimento”. En: MILLER, David, comp. Popper: *Escritos selectos*. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 220.

⁷⁰⁷ POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: *Teoría cuántica y el cisma en física*. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 91.

8) También es 'metafísica' en otro sentido: en el sentido de que proporciona un programa coherente para la investigación en física⁷⁰⁸.

En primer lugar, Popper⁷⁰⁹ aceptó que su teoría propensivista de la mecánica cuántica es metafísica, pues apuntaría a la existencia de ciertos *hechos abstractos* semejantes a las fuerzas newtonianas (aunque como reconoce el propio autor, a diferencia de estas últimas, los campos de propensiones no están todavía plenamente identificados), pero de los cuales se sospecha teóricamente que indicarían ciertas propiedades relacionales, pues:

las propensiones exhiben una cierta similaridad con las potencialidades aristotélicas. Pero hay una diferencia importante: no pueden estar inherentes a las cosas individuales, como se inclinarían a pensar los aristotélicos. No son propiedades inherentes al dado o al penique, sino algo un poco más abstracto, aunque físicamente real: son propiedades relacionales de la situación objetiva total⁷¹⁰.

Se reitera entonces que las propensiones no pertenecen de forma exclusiva a una cosa (como lo demandaría un esencialista aristotélico), sino que se producen conforme se relacionan las cosas entre sí, y de ahí su similitud con las fuerzas newtonianas. Popper consideró factible que los *hechos abstractos* que son las propensiones y los campos de propensiones, con el tiempo puedan identificarse claramente y convertirse en objetos de investigación.

En segundo lugar, Popper afirmó que el carácter metafísico de su propuesta propensivista también procede de la heurística de su programa metafísico de investigación, el cual pretende ofrecer con la ayuda de argumentos metafísicos (pero que asimismo son racionales y susceptibles de discusión crítica) criterios según los cuales obtener una cosmología coherente del mundo, es decir, una *profunda* explicación satisfactoria del mundo y de la naturaleza física que sea objetiva, realista e indeterminista.

Claramente, la *teoría de las propensiones de la mecánica cuántica*, posee un contenido abrumadoramente extenso, sin embargo, se presume que se han abordado los propósitos fundamentales señalados en los objetivos de la presente monografía.

Para finalizar, no hay que desconocer que la interpretación propensivista de la mecánica cuántica ha sido objeto de estudio para autores como: Wesley Salmon, Lawrence Sklar, James Fetzer, David Miller, Paul Humphreys, Patrick Suppes,

⁷⁰⁸ MILLER, David, comp. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995, p. 215.

⁷⁰⁹ *Ibid.*, p. 221.

⁷¹⁰ POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 398.

Mario Bunge, etc. Si bien dichos autores no necesariamente comparten todo el conjunto (o sistema) de la propuesta propensivista de Karl Popper, retoman algunas de sus apreciaciones analizándolas y desarrollándolas desde sus propias perspectivas científicas y filosóficas. Desde luego que aquí no resulta adecuado precisar los matices que presenta cada uno de aquellos autores sobre la propuesta propensivista, más resulta pertinente mostrar que dicha propuesta, ha merecido —para muchos académicos— seguir siendo evaluada y discutida.

4.9. BREVE BALANCE SOBRE LA INFLUENCIA DE LAS IDEAS DE KARL POPPER, EN LA REFLEXIÓN DE LA TEORÍA DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

En este último apartado se pretende indicar brevemente fragmentos del debate acaecido en torno a algunos cuantos planteamientos de Karl Popper en el campo de la ciencia física. Efectuar una descripción histórica de los debates filosóficos y científicos de forma detallada, excede los propósitos de ésta monografía, pues desde el surgimiento de la interpretación propensivista de la mecánica cuántica a finales de los años 50 del siglo pasado hasta la fecha, han transcurrido más de seis decenios de historia.

Para este pequeño informe, además de la obra de Popper, se usa principalmente las siguientes fuentes: el artículo de William Bartley III “The Philosophy of Karl Popper”, publicado en 1974, y donde el autor efectúa una descripción y evaluación de la propuesta propensivista de la mecánica cuántica de Karl Popper hasta los principios de la década de los 70; dos artículos del primer volumen del *Quanta Academic Journal* del año 2012 y que fue dedicado al trabajo de Karl Popper sobre la mecánica cuántica: “A Historical Survey of Sir Karl Popper’s Contribution to Quantum Mechanics” del investigador William M. Shields, y el artículo: “Popper’s Experiment: A Modern Perspective” del investigador Tabish Qureshi. Estos dos últimos artículos no debaten la interpretación propensivista de la mecánica cuántica, sino que especialmente muestran otro tipo de debates ocurridos durante las últimas décadas en la comunidad de físicos, acerca de lo que se denominó “el experimento de Popper”. Finalmente, el artículo del profesor del departamento de ciencias estadísticas, de la Universidad de Bolonia, Rodolfo Rosa, que se titula “The Merli-Missiroli-Pozzi Two-Slit Electron Interference Experiment”, que fue publicado también en el año 2012, y en el cual su autor habla del experimento MMP realizado hace más de 30 años; un experimento que no había sido debidamente discutido, y que, según el mismo autor, podría arrojar luz sobre la existencia de las propensiones individuales. Estos artículos mencionados nos brindarán varios elementos relevantes sobre el asunto a tratar. Desde luego, hay muchos más artículos que hablan acerca de algún tipo de influencia de Popper en la mecánica cuántica, pero estos artículos muestran una investigación exhaustiva y poseen significativas referencias bibliográficas sobre investigaciones en cuestión. Aquí solo veremos

algunos cuantos aspectos que nos revelan los autores, ya que entrar en las especificaciones experimentales y en el análisis del formalismo, excede los propósitos señalados en los objetivos de la monografía, además, esto exigiría una reflexión bastante extensa.

4.9.1. Repaso histórico sobre algunos aspectos significativos que conciernen a las ideas de Popper en la mecánica cuántica

Popper siempre tuvo un interés en los problemas de la física, prueba de ello es que, aun antes de elaborar su propuesta propensivista de la mecánica cuántica, en 1934, propuso en el apartado 77 de *La Lógica de la Investigación Científica* un experimento mental con el cual se pudiese poner a prueba ciertas implicaciones teóricas atribuibles a la interpretación de Copenhague. Pero dicho experimento fue cuestionado en 1935 por un par de físicos, entre ellos Albert Einstein. Es por ello que Popper, muy poco tiempo después de la publicación de aquella obra, descartaría su propuesta experimental e incluiría en el *corpus* de las reimpressiones posteriores, en el apéndice XII, la carta de Einstein, en el que el famoso físico, además de señalar los errores que poseía su propuesta experimental, describe lo que sería el experimento de Einstein, Podolski y Rosen. En aquellas reimpressiones de su obra Popper también advertiría, en varias ocasiones, que se debe descartar su propuesta experimental, y sugiere que los argumentos que buscaba salvaguardar con su fallido experimento podrían ser reemplazados con los argumentos del EPR.

Aquel primer y desafortunado experimento mental propuesto por Popper suele sospecharse como una versión primitiva del experimento mental de Einstein, Podolski y Rosen⁷¹¹. Pese a que Popper le había enviado por correspondencia y con cierta antelación su propuesta a Einstein, no existe evidencia alguna de que Einstein se haya inspirado en la fallida propuesta de Popper para la elaboración de lo que sería el reconocido experimento mental que conocemos como EPR, y el cual fue debidamente presentado en año de 1935. Se sabe con garantía que aquella circunstancia desalentó considerablemente a Popper, pues aproximadamente durante un par de décadas el autor austriaco no volvió a publicar nada en torno a los problemas de la mecánica cuántica.

⁷¹¹ Una descripción sobre el primer experimento imaginario de Popper, puede verse en: Ruiz, Eduardo M. La observación en la palabra. La función de los experimentos imaginarios en la física cuántica. Tesis doctoral en historia de la ciencia, Universidad Autónoma de Barcelona, facultad de ciencias, 2012, p. 216-234. Y algunos cuantos comentarios señalados en éste pequeño párrafo en: RESTREPO, Edison. La interpretación de la mecánica cuántica según Karl R. Popper. Revista Voces. No 8, junio, 2000, p. 54-56.

Sin embargo, como indica el investigador William M. Shields, a finales de la década de los años 40, el autor austriaco habría retornado a la reflexión de los aspectos cuánticos, luego de haberse esforzado notablemente por mejorar, aclarar y ampliar sus conocimientos en la teoría cuántica, y de haber efectuado varias consultas con el físico Arthur March.

A comienzos de los años 50 Popper emprendió el desarrollo de lo que sería su nueva propuesta propensivista del cálculo de probabilidades y en 1956 desarrolló más profundamente su propuesta propensivista de la mecánica cuántica. A raíz de ello, Popper también había replanteado su primer experimento mental, o mejor dicho, había propuesto un nuevo experimento, que pretendió incluir en su posdata a *La Lógica de la Investigación Científica*, pero que finalmente terminaría formando parte de lo que conocemos como los tres volúmenes del *Post Scriptum*, escritos principalmente entre 1951 y 1956, y que tan solo serían publicados en su integridad en 1982, aunque ciertamente una pequeña fracción de estas obras ya había sido previamente publicada en revistas, y sus borradores circulaban previamente entre varios alumnos y colegas de Popper. En cuanto al mencionado nuevo experimento mental de Popper, éste pasaría inadvertido por los físicos hasta los años 80.

Durante los años 70 el filósofo de la ciencia William Bartley III empezó a llamar la atención sobre el escaso debate en la comunidad física sobre la teoría propensivista de la mecánica cuántica de Popper. En el artículo de Bartley III publicado en los volúmenes de Schilpp, realizados en honor al autor austriaco, efectúa tanto una descripción de la teoría como una evaluación de ella. En la descripción que efectuó Bartley resaltan dos aspectos importantes sobre la teoría propensivista de la mecánica cuántica de Popper: (1) afirmó que la explicación de Popper de la mecánica cuántica recurre particularmente a la investigación de Landé sobre la tercera regla cuántica de Duane para esclarecer fenómenos como el patrón de interferencia en el experimento de las dos rendijas; (2) afirmó que si bien lo anterior resulta importante, no es lo más fundamental y significativo, pues para enfrentar las concepciones subjetivistas de la interpretación de Copenhague, Popper habría diseñado su propia interpretación propensivista del cálculo de probabilidades. En cuanto al primer aspecto mencionado, Bartley consideró que podría denominarse como “la situación problemática”, pues —en cierta medida— la versión de Popper de la mecánica cuántica terminaría siendo rehén de aquella conjetura teórica de Landé. Además, Bartley⁷¹² señaló que, hasta aquella fecha (1974), tan solo se habían realizado dos muy breves ataques contra el planteamiento de Landé, y por ello aseguró que la conjetura de Landé continuaba por aquel entonces sin un examen exhaustivo, dado que no había ocurrido ninguna tentativa sostenida de refutar aquella posición. En cuanto al segundo aspecto, sabemos por autores como Ian Hacking y Tom Settle que la interpretación propensivista del cálculo de probabilidades por aquella época ya era ampliamente discutida, y que de hecho

⁷¹² BARTLEY III, William en: *The Philosophy of Karl Popper*, edited by Paul Arthur Schilpp, Two Volumes, La Salle: Open Court, Library of Living Philosophers, 1974, p. 685.

poseía cierta aceptabilidad y unos cuantos adeptos. Bartley prefiere enfatizar el carácter objetivo que le confiere la propuesta popperiana del cálculo de probabilidades a la teoría de la mecánica cuántica y señaló, conforme a las ideas de Popper, que fueron dos los obstáculos que inicialmente impidieron comprender de forma objetiva la mecánica cuántica (a) el determinismo metafísico y (b) que la única interpretación objetiva disponible en los comienzos de la mecánica cuántica era la interpretación frecuencial, pero aquella resultaba inadecuada ya que las probabilidades de eventos singulares no se podían manejar de forma objetiva. De ahí que para autores como Bartley la nueva interpretación de Popper sobre el cálculo de probabilidades adquiriese suma importancia para restablecer la objetividad de la teoría cuántica. Claramente, no resulta adecuado aquí insistir en los aspectos ya descritos de la interpretación propensivista, sino antes bien, en su debate. Veamos lo que según Bartley⁷¹³ fue el único intento serio —aunque desafortunado— que hasta entonces había procurado refutar el análisis de Popper sobre la reducción del paquete de ondas (un análisis descrito en la novena tesis del tercer volumen del *Post Scriptum*). Dicho intento de refutación procedía de Paul Feyerabend, quien en su artículo "On a Recent Critique of Complementarity" publicado en dos partes durante los años de 1968 y 1969, cuestionó los argumentos de Popper que controvierten el supuesto colapso de ondas, en recurso del ejemplo que el mismo Popper había empleado sobre el billar romano, y alegando que las probabilidades del billar romano son aditivas, mientras que en la teoría de la mecánica cuántica, donde hay patrón de interferencia, la situación no es aditiva. Además, según describe Bartley, para Feyerabend Popper no habría intentado explicar los patrones de interferencia, como tampoco habría considerado ninguna "teoría dinámica", sino que tan solo se habría dedicado a señalar una y otra vez el carácter relacional de las probabilidades. Ante las críticas de Feyerabend, Bartley fue enteramente contundente, y mostró los inmensos descuidos de éste autor, pues, en primer lugar, Bartley indicó claramente cómo el mismo Popper había advertido que en el ejemplo de billar romano no hay ninguna superposición de amplitudes. Según describió el mismo Popper en la novena tesis del *Post Scriptum*, con aquel ejemplo él no pretendió explicar la interferencia que se produce en el experimento de las dos ranuras: "con el billar romano 'no podemos imitar el experimento de las dos ranuras', ya que las probabilidades de dicho ejemplo son aditivas, cosa contraria a lo que sucede con el patrón de interferencia del experimento de las dos ranuras donde la situación no es aditiva"⁷¹⁴. En el ejemplo del *billar romano* Popper tan solo pretendió indicar que la probabilidad es una cualidad de todo el sistema y su contexto (o situación objetiva), y que no es atribuible a un exclusivo elemento del sistema. Un cambio en el arreglo experimental, implicaría una modificación de las probabilidades o propensiones, y esta circunstancia envolvería lo que denomina como la reducción del paquete de ondas. En segundo lugar, Bartley afirmó lo siguiente: "lejos de no considerar ninguna 'teoría dinámica', Popper de hecho se

⁷¹³ *Ibíd.*, p. 694-695.

⁷¹⁴ POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 92; véase nota 65 de aquella obra.

basa esencialmente en la aplicación de Landé de la tercera regla cuántica de Duane para explicar el patrón de interferencia de ondas”⁷¹⁵. De modo que, aquellos argumentos críticos de Feyerabend resultaron ser completamente inválidos para Bartley.

El físico y filósofo de la ciencia Mario Bunge, en su libro *Filosofía de la física* publicado en 1978, manifestó estar de acuerdo en términos generales con la propuesta propensivista de Popper, pero a su vez declaró que el autor austriaco, había cometido un error en algunas de sus consideraciones, según Bunge:

“La versión de Popper concierne al compuesto objeto-dispositivo experimental y podría, por consiguiente, ser errónea al apoyar la tesis de Bohr de la inextricable unidad de los dos —como de hecho ha interpretado Feyerabend (1968) —. En una comunicación personal, Sir Karl ha indicado su acuerdo con mi reinterpretación”⁷¹⁶.

En síntesis, Bunge estuvo cuestionando una presunta relación que Popper habría dejado abierta entre los objetos y los aparatos que los ‘observan’ o miden, pues de aquella forma las propensiones podrían interpretarse como dependientes de un presunto observador. Pero como veremos, Bunge malinterpreto algunas expresiones lingüísticas de Popper. Al respecto, el mismo Popper es claro, y respondió a la crítica de Bunge en una nota que incorpora en el tercer volumen del *Post Scriptum*, allí afirmó:

Siempre pretendí que mi teoría de las propensiones fuese una teoría física completamente objetiva. Las propensiones se refieren a cualquier situación física. Las propensiones no son, pues, propiedades de la partícula sino de la situación física objetiva; por ejemplo, de una situación experimental. Naturalmente, la situación objetiva será normalmente una que haya surgido en el mundo físico sin interferencia humana, aunque puede ser debida al hombre y quizá incluso a un físico que ha construido un aparato. En este último caso hablamos de una ‘disposición experimental’. Mi uso algo accidental de esta frase [...] ha llevado a algunos de mis críticos a pensar que hablo de propensiones sólo en relación con esas disposiciones experimentales *creadas por el hombre*. Y por ello han concluido que no tengo éxito de exorcizar al ‘observador’; también que mi teoría es esencialmente equivalente a la de Bohr. [...] Esto es tomar como base para criticarle a uno una formulación casi accidental, ignorando todo el contexto y todo lo que he escrito sobre las propensiones. [...] las propensiones, como yo las llamo, son completamente objetivas y no dependen de nuestra disposición de los experimentos, sino

⁷¹⁵ BARTLEY III, William en: *The Philosophy of Karl Popper*, edited by Paul Arthur Schilpp, Two Volumes, La Salle: Open Court, Library of Living Philosophers, 1974, p. 695. Cita traducida por el autor de la presente monografía.

⁷¹⁶ BUNGE, Mario. *Filosofía de la física*. Barcelona: Editorial Ariel, 1982, p. 91.

simplemente de la situación física que, en ciertos casos, puede ser experimentalmente controlada⁷¹⁷.

Según Popper, las ‘disposiciones experimentales’ elaboradas por físicos en la medida en que manipulan las condiciones de sus aparatos y herramientas, no implican un compuesto objeto-dispositivo experimental. Esta expresión se referiría a que las propensiones simplemente dependerían de su situación física. Lo anterior resulta claro una vez se considera que las propensiones pueden referir a cualquier situación física, incluso aquellas donde no interviene ningún ser humano o aparato empleado. Además, como vimos en secciones anteriores, mientras que para la interpretación de Copenhague la intervención del ‘observador’ durante una medición produce la reducción del paquete de ondas, según Popper aquella circunstancia puede explicarse de manera diferente, objetiva y realista, simplemente considerando que dicho resultado obedece a un cambio en las condiciones de generación o de la configuración experimental, por lo cual no hay necesidad de requerir —al igual que hizo Bohr— la figura de un ‘observador’.

Desde la perspectiva de Popper en la naturaleza física las propensiones acaecen sin necesidad de que requieran ser observadas por alguien, ya que solo dependen de sus condiciones de generación; pueden existir sin que nadie se percate de su existencia. En los laboratorios donde se realizan preparaciones de estado, tenemos que ‘los cambios en el orden experimental’ solo indican cambios en la situación objetiva, y por ende un cambio de las propensiones. Ahora bien, si queremos saber por cuál rendija pasa una partícula, ciertamente podríamos decir que tendríamos que ‘observarla’ y disponer un cambio experimental como el incluir una fuente de luz que nos permita averiguar si la partícula pasa por cierta rendija o no. Pero aquí resulta engañoso atribuir los cambios de propensión a la ‘observación’ que efectúa un sujeto y que hace ‘colapsar el paquete de ondas’, ya que los cambios de propensión solo obedecen a los cambios en el orden experimental, pues no existe ningún ‘colapso’ que derrumbe alguna ‘superposición de estados’, sino simplemente un cambio en la disposición experimental que llevaría aparejada otras propensiones.

A comienzos de los 80 Popper se asoció con varios físicos teóricos, entre ellos el físico italiano Augusto Garuccio y el físico francés Jean-Pierre Vigié. Como señala el investigador William M. Shields, Popper junto con los dos físicos mencionados escriben en conjunto un artículo para la reconocida revista de habla inglesa “Physics Letters”, publicado en diciembre de 1981 y en donde proponen un *Gedankenexperiment* (GPV) que involucra la interferencia de rayos láser. Vale la pena decir, que Shields llama la atención acerca del hecho de que hayan empleado el término *Gedanke*, pues aquel experimento —considera— cabía en el rango de la

⁷¹⁷ POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 90-91; véase nota 63. Según parece, el único error que Popper acepto haber cometido fue ‘el uso accidental de una frase’.

tecnología de aquella época. Por otro lado, aunque Shields parece sugerir que ese experimento es un refinamiento del que Popper había diseñado en su posdata por allá en 1956, la descripción es algo confusa, pues además éste investigador también informa de otro experimento mental de Popper (este sí sería *Gedanke*, en el pensamiento, ya que no describe ningún aparato), que fue incluido en el prefacio de 1982 del *Post Scriptum*, y al que el mismo Popper consideró como una extensión del argumento EPR. En el presente apartado presumimos lo siguiente: el experimento mental desarrollado inicialmente en 1956 es el mismo incluido en el prefacio de 1982 del *Post Scriptum*, pero éste experimento adquiere nuevos refinamientos que le conceden un carácter diferente al anterior en su nueva versión GPV; además, se considera que, con lo previamente dicho, no hay discrepancias con los argumentos expuestos por Shields, sino que solo se efectúa una pequeña aclaración sobre el asunto. En todo caso, lo importante es considerar que en aquellos experimentos mentales subyace el mismo propósito: poner a prueba algunas implicaciones que se le atribuyen a la interpretación de Copenhague.

Se advierte que no se pretende entrar aquí en detalles sobre aquel experimento, pues además de ser una tarea que requiere una descripción extensa, éste es debidamente descrito (en su primera versión) por Popper al final de su prefacio de 1982 del tercer volumen del *Post scriptum*, y en su versión GPV se discute con su complejidad técnica y formal, en los artículos mencionados del primer volumen del *Quanta Academic Journal*.

Baste con saber que aquel artículo en "Physics Letters" (1981) llamó rápidamente la atención de muchos físicos, quienes enseguida comenzaron a debatir el experimento GPV, aunque algunos otros —describe Shields—, como el físico Sudbery, analizarían la versión del prefacio de 1982. La discusión sobre la viabilidad experimental y las posibles conclusiones que pudiese arrojar aquella propuesta empírica, se denominaría como "el experimento de Popper", y aquello estaría presente en el ambiente de la física teórica y experimental durante las décadas de los 80 y 90, e incluso mucho tiempo después. Si bien no pretendemos entrar en detalles, cabe señalar que el investigador Tabish Qureshi, reflexiona la situación experimental propuesta por Popper de la siguiente manera:

La interpretación estándar de la mecánica cuántica, muchas veces llamada interpretación de Copenhague, propuesta por Niels Bohr, asume que ciertos estados de dos partículas bien separadas que no interactúan solo pueden describirse como un todo compuesto, y perturbar una parte, necesariamente perturba la otra parte. Einstein había llamado estos efectos como "acción espeluznante a distancia". Karl Popper estaba en desacuerdo con tal interpretación de la mecánica cuántica. Propuso un experimento, que eligió llamar una variante del experimento EPR, para probar la interpretación estándar

de la teoría cuántica. Más tarde llegó a ser conocido como el experimento de Popper⁷¹⁸.

Como vemos, Popper pretendió poner a prueba experimental algunos supuestos atribuibles a la interpretación de Copenhague.

El autor austriaco fallece en 1994 y tras su muerte se intensifica los deseos de algunos físicos por llevar a cabo el denominado “experimento de Popper”. Finalmente, en el año de 1999 los físicos Maryland Yanhua Shih y Yoon-Ho Kim, llevan a cabo —con algunas cuantas modificaciones— el “experimento de Popper”.

Las conclusiones de la experimentación de Shih y Kim ciertamente tomaron por sorpresa a buena parte de los físicos, por lo cual incluso muchos años después se siguió discutiendo las posibles conclusiones que ofrecería aquel experimento, ocasionando lo que Qureshi denomina, en su artículo previamente mencionado, un “*pandemónium*”. Esto debido a la inmensa confusión producida en el ambiente científico sobre cómo interpretar los resultados empíricos de aquel específico experimento. Se advierte que tampoco se procederá a desarrollar dicho debate que, por cierto, posee amplias y numerosas perspectivas que son entre sí bastante heterogéneas, sólo indicaremos brevemente las conclusiones a que llegan sobre el experimento Shields y Qureshi.

Según el investigador William M. Shields los resultados del experimento de Shih y Kim “tomados al pie de la letra ‘muestran que parece haber una violación del principio de incertidumbre’. Esto significaría, desde el punto de vista de Popper, que la interpretación de Copenhague es un error”⁷¹⁹. No obstante, Shields aclara que esta no fue la posición de los experimentadores Shih y Kim; ellos habrían argumentado que “es inadmisibles aplicar las relaciones de incertidumbre a cada uno de los fotones del estado entrelazado por separado”⁷²⁰. En dicho sentido, Shih y Kim habrían considerado que el ‘experimento de Popper’ habría servido mostrar el importante mensaje de que “la física de un sistema de dos partículas entrelazadas, sería intrínsecamente diferente al de dos partículas individuales”⁷²¹. Las consideraciones de los experimentadores generaron una gran variedad de comentarios, sugerencias y críticas, cuyo debate no parece haber finalizado. Shields sugiere al final de su artículo que en los propósitos del “experimento de

⁷¹⁸ QURESHI, Tabish. Popper’s Experiment: A Modern Perspective. En: Quanta (journal). Vol. 1, Núm. 1, 2012, p. 19. Disponible en internet en: <http://quanta.ws/ojs/index.php/quanta/article/view/3>. Cita traducida por el autor de la presente monografía.

⁷¹⁹ SHIELDS, William. A Historical Survey of Sir Karl Popper’s Contribution to Quantum Mechanics. En: Quanta (journal). Vol. 1, Núm. 1, 2012, p. 8. Disponible en internet en: <http://quanta.ws/ojs/index.php/quanta/article/view/1>. Se ha traducido éste pequeño fragmento. La cita referenciada es del investigador Shields, y contiene otra pequeña cita de Shih Y, Kim Y-H., que se encuentra en el artículo: Experimental realization of Popper’s experiment – violation of the uncertainty principle? Fortschritte der Physik 2000.

⁷²⁰ SHIELDS, William. En: *Ibíd.*, p. 8.

⁷²¹ Shih Y, Kim Y-H. Citado por SHIELDS, William. En: *Ibíd.*, p. 8.

Popper”, subyacerían consideraciones filosóficas sobre el realismo, la “incertidumbre” y el conocimiento, aspectos cuyos debates no tendrían por qué concluir enteramente, pues aún se podrían discutir en relación con las consideraciones filosóficas que enfrentan a Popper con la interpretación de Copenhague.

El profesor Qureshi, luego de efectuar en su artículo una detallada reflexión sobre ciertos aspectos formales de la teoría cuántica, señala que el “experimento de Popper” había tomado por sorpresa a los físicos: tanto los adeptos a la interpretación de Copenhague, como Popper, porque habían atribuido implicaciones a la interpretación de Copenhague que no eran del todo ciertas. En sus palabras:

[...] El pensamiento de Popper de que la interpretación de Copenhague implica que la partícula 2 experimentará el mismo grado de difracción que la partícula 1, no es correcto. Sin embargo, no se puede culpar a Popper por sí solo por esta suposición errónea. Todos los defensores de la interpretación de Copenhague parecían tener la misma opinión, por eso nadie señaló lo contrario, y esa es la razón por la que hubo tanta sorpresa ante los resultados del experimento de Kim y Shih⁷²².

Qureshi considera que los resultados del “experimento de Popper” irían realmente a favor de la interpretación de Copenhague en tanto que mostraría ciertos indicativos de la acción a distancia⁷²³, pero además señala que los resultados obtenidos por dicho experimento, serían consecuencia del formalismo de la mecánica cuántica, y no, de ninguna interpretación en particular. Luego concluye:

Hoy estamos en condiciones de sentarnos y reflexionar sobre por qué el experimento de Popper generó tanta controversia. El problema fue que Popper y la mayoría de sus críticos llegaron a una conclusión equivocada en cuanto a qué resultado produciría el experimento. Esto se debía simplemente a que a nadie le importaba hacer un análisis riguroso, sino que utilizó algunas nociones comúnmente entendidas sobre medición, lo que los llevó a una conclusión errónea. Con mucho trabajo teórico y experimental en sistemas cuánticos detrás de nosotros, ahora somos más sabios y nos damos cuenta de que la mecánica cuántica está llena de tales trampas. El experimento de Popper ha demostrado ser útil para comprender cuáles son las correlaciones cuánticas y, lo que es más importante, cuáles no son⁷²⁴.

Qureshi considera finalizada la discusión sobre la interpretación de los resultados del “experimento de Popper” y asegura que, si bien Popper no había estado en lo cierto en sus suposiciones sobre las consecuencias de aquel experimento, dicho

⁷²² QURESHI, Tabish. Popper’s Experiment: A Modern Perspective. En: Quanta (journal). Vol. 1, Núm. 1, 2012, p. 30. La cita ha sido traducida por el autor de la presente monografía.

⁷²³ Es de recordar que Popper no ve en la *acción a distancia* una circunstancia que niegue el realismo en la teoría cuántica.

⁷²⁴ *Ibíd.*, p. 30. Cita traducida por el autor de la presente monografía.

experimento había sido importante para comprender algunos aspectos particulares de la teoría cuántica.

A finales del siglo pasado los autores José A. Díez y C. Ulises Moulines publicaron el libro *Fundamentos de la filosofía de la ciencia* (1997). En este texto introductorio a la filosofía de la ciencia, también se debaten y problematizan varias ideas del autor austriaco, nosotros solo haremos mención a dos breves consideraciones allí mencionadas que involucran la cuestión de las propensiones físicas de Popper, y las cuales consideramos obedecen a una malinterpretación de la teoría del autor austriaco. El primer error interpretativo que cometen los mencionados autores es claramente perceptible en la siguiente afirmación:

“Estas entidades, denominadas 'tendencias' o 'propensiones', son propiedades objetivas independientes de nuestro conocimiento, son propiedades que poseen las cosas”⁷²⁵.

La anterior aseveración de José A. Díez y C. Ulises Moulines, señala que las propensiones son propiedades de las cosas, pero —como hemos visto— las propensiones no son propiedades que poseen las cosas (no corresponden a propiedades esencialistas en el sentido aristotélico), sino que son propiedades que deben involucrar toda la situación objetiva; son propiedades de la situación.

El segundo error interpretativo se encuentra en la siguiente afirmación, en la cual los autores indican su consideración sobre la mayor dificultad que enfrenta la interpretación propensivista de Popper, veamos:

“La verdadera dificultad, todavía no superada, es explicar satisfactoriamente cómo se determinan empíricamente estas propensiones, cómo se evalúan las hipótesis sobre ellas a partir de datos sobre frecuencias observadas dado que cualquier frecuencia sobre un número finito de casos es lógicamente compatible con cualquier propensión”⁷²⁶.

Consideramos que la dificultad de las propensiones no es empírica, pues Popper⁷²⁷ explicó cómo se deben someter a las propensiones —conjeturadas por una teoría probabilística— a contrastación experimental. En aquella medida, consideramos que la auténtica dificultad de las propensiones estriba en la completud de sus axiomas matemáticos los cuales deben continuar desarrollándose hasta permitir que una teoría de la probabilidad propensivista (conjeturable), arroje frecuencias

⁷²⁵ A. DÍEZ, José y MOULINES, Ulises. *Fundamentos de la filosofía de la ciencia*. Barcelona: Editorial Ariel S.A, 1999, p. 165.

⁷²⁶ *Ibid.*, p. 166.

⁷²⁷ Véase: POPPER, Karl. *Realismo y el objetivo de la ciencia*. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 330. Algunos aspectos sobre la forma de contrastar los enunciados de probabilidad o propensiones fueron descritos en la sección 4.3.3. en los comentarios a la octava tesis de Popper indicados en la presente monografía.

«virtuales» que luego puedan corresponder efectivamente con las frecuencias empíricas (o estadísticas) que manifiesta la naturaleza.

Por último, consideremos una pequeña parte de la extensa reflexión del profesor del Departamento de Ciencias Estadísticas de la Universidad de Bologna, Rodolfo Rosa, quien su artículo del 2012, referenciado al principio de éste apartado, plantea interesantes ideas sobre la posibilidad de analizar la propuesta propensivista de Popper, a través del experimento de Merli, Missiroli y Pozzi. Dicho experimento fue realizado a comienzos de la década de los años 70 por los físicos italianos Pier Giorgio Merli, Gian Franco Missiroli y Giulio Pozzi, quienes lograron efectuar una prueba empírica en donde los electrones llegaban de forma individual, uno por uno, a una pantalla en la cual se iban acumulando los impactos, formando poco a poco un patrón de interferencia (además habrían grabado una película de 16 milímetros del experimento). Éste experimento comúnmente se considera como el predecesor del experimento del físico japonés Akira Tonomura denominado como el experimento Hitachi (realizado en 1989). Los experimentadores italianos MMP presentaron su trabajo en el artículo “On the statistical aspect of electron interference phenomena” en 1974 al *American Journal of Physics* (publicado en marzo de 1976), pero el experimento no habría sido lo suficientemente apreciado, ni debidamente referenciado por los posteriores experimentos físicos. Al respecto, el profesor Rodolfo Rosa muestra cómo a principios del siglo XXI varios físicos rescatarían, y reconocerían valorativamente la importancia del experimento MMP.

No resulta posible entrar en los amplios detalles que describe el profesor Rodolfo Rosa y por ello se recomienda la lectura de su artículo completo. Además, se aclara que en lo que sigue, se trata de resumir, algunas de las reflexiones más importantes del profesor italiano.

Para el profesor Rodolfo Rosa el experimento Merli–Missiroli–Pozzi podría ser especialmente significativo para reflexionar filosóficamente el papel de la probabilidad en la mecánica cuántica. El experimento consiste en el lanzamiento de electrones individuales, y como explica el profesor:

“En el experimento MMP, el sistema observado es el único electrón, y las secuencias son el producto de eventos individuales. Por lo tanto, la probabilidad tiene que ser asignada a un solo evento. El experimento de un solo electrón conduce, por así decirlo, de manera natural a la búsqueda de una explicación de la estabilidad estadística en términos de propensión”⁷²⁸.

En esta medida, el profesor Rodolfo Rosa, se interesa en el problema del caso único investigado por Popper a partir de su propuesta propensivista del cálculo de

⁷²⁸ ROSA, Rodolfo. The Merli-Missiroli-Pozzi Two-Slit Electron Interference Experiment. En: *Physics in Perspective*. Vol. 14, 2012, p. 16. Disponible en internet: http://philsci-archive-dev.library.pitt.edu/3816/1/mmp_arch.pdf

probabilidades, y reflexiona sobre el asunto en el contexto de la mecánica cuántica. Rosa⁷²⁹ primero llama la atención sobre la definición de la propensión en Popper: una propiedad disposicional que involucraría de forma combinada tanto el sistema físico (el electrón, el dado, etc.) como todas las *condiciones generadoras* del sistema (entre ellas: el dispositivo de lanzamiento, el aparato de doble rendija, etc.). Para D.H. Mellor, mencionado por el profesor Rosa, la propensión no podría ser observable a partir de un solo resultado experimental, tan solo se podría percibir luego de una distribución estadística de varios resultados. Lo anterior supondría un problema, pues si bien las propensiones serían propiedades reales que se podrían medir experimentalmente, hasta el momento las únicas mediciones que se podrían efectuar serían las de frecuencias relativas. Por ello dice:

Básicamente, este problema se reduce a la necesidad de resolver la conexión entre el significado que se puede atribuir a la probabilidad de un solo evento, y las frecuencias relativas con las que se controla el valor de la probabilidad de ese evento. Por un lado, las propensiones se consideran propiedades físicas reales que se pueden medir experimentalmente, mientras que, por otro lado, las únicas medidas que pueden realizarse siguen siendo las del conteo de frecuencias relativas⁷³⁰.

Por otro lado, Rodolfo Rosa también señala que en el artículo de los experimentadores MMP (1976) se “revela claramente la tensión entre la necesidad de asignar a un electrón individual la probabilidad que tiene de alcanzar un punto dado en la placa fotográfica, y la inevitable necesidad de reconocer las franjas de interferencia como una distribución estadística de frecuencias relativas”⁷³¹. Además, estos experimentadores habrían ofrecido interesantes conclusiones según las cuales: “el electrón es una partícula que alcanza un punto claramente identificable en la pantalla, exponiendo un solo grano de la emulsión fotográfica, y el patrón de interferencia es el resultado estadístico de una gran cantidad de electrones. [...] El fenómeno de la interferencia es exclusivamente la consecuencia de la interacción del electrón individual con el aparato experimental”⁷³². Para Rosa⁷³³ experimentos como el de MMP, que discurren en la experimentación con electrones individuales, permitirían demostrar que el patrón de interferencia es el resultado de la acumulación de eventos individuales, por lo cual, al parecer, ofrecería apoyo a las críticas de Popper en torno a lo que el filósofo denominó el embrollo cuántico.

A partir de aquellas consideraciones descritas, el autor italiano se pregunta: “¿Puede el experimento de MMP considerarse un experimento crucial a favor de la

⁷²⁹ Véase: *Ibíd.*, p. 18.

⁷³⁰ *Ibíd.*, p. 18. Cita traducida por el autor de la presente monografía.

⁷³¹ *Ibíd.*, p. 19.

⁷³² Merli, P. G., Missiroli, G. F., and Pozzi, citado por ROSA, Rodolfo. En; *Ibíd.*, p. 19. La pequeña frase se ha traducido del idioma inglés.

⁷³³ Véase: *Ibíd.*, p. 13.

teoría de la propensión?”⁷³⁴. Para responder dicho interrogante, se propone evaluar la teoría propensivista de Popper.

El primer aspecto que señala Rodolfo Rosa en consideración de las especificidades del experimento MMP, es que “con o sin propensión, un cambio en las condiciones experimentales producirá un cambio en la probabilidad de que se den ciertos resultados”⁷³⁵. Que un cambio de la disposición experimental ocasione un cambio en las probabilidades o propensiones es descrito por Popper en su novena tesis del tercer volumen del *Post Scriptum*, y como hemos visto, para Popper aquella simple circunstancia sería indicativo de la realidad de las mismas. En cuanto a la analogía de Popper con el billar romano, Rosa es consciente de que este no pretendió explicar así los fenómenos de interferencia que ocurren en el experimento de la doble ranura; para explicar aquel tipo de fenómenos recurre al auxilio de la explicación de Landé, “que se basa en la teoría mecánica de la difracción de partículas desarrollada por Duane”⁷³⁶. No obstante, luego de una reflexión —que no se detallará aquí— sobre los aspectos técnicos de MMP en relación con el anterior asunto, Rosa afirma: “la teoría de Duane-Landé, sin embargo, no es capaz de explicar los resultados del experimento del MMP”⁷³⁷. Luego afirma que autores como Gibbins, Krips y él, coinciden en que los fenómenos de interferencia producidos por láser o microscopios electrónicos no pueden explicarse a partir de la interpretación propensivista de Popper, puesto que dicha interpretación se auxilia en la teoría de Landé. Finalmente, el profesor italiano también llama la atención sobre el hecho de que la teoría de la propensión, no está obligatoriamente vinculada al sistema completo de la interpretación de la mecánica cuántica ofrecida por Popper, por ende, da muestras de que es posible contemplar algunas transformaciones de dicha teoría.

Frente a la pregunta antes señalada, y que se hizo el mismo autor italiano, acerca de si el experimento MMP puede considerarse un experimento crucial a favor de la teoría de la propensión, el profesor afirma que dicho interrogante no tiene una respuesta clara. Lo que sí resultaría claro es que la teoría de Duane-Landé no es capaz de explicar los resultados del experimento de MMP.

Rosa a lo largo de su artículo muestra ser consciente de que la teoría de propensivista de la mecánica cuántica de Popper no se reduce al auxilio de la hipótesis de Landé-Duane, pues esta propuesta posee varios elementos entre los cuales destaca la interpretación propensivista del cálculo de probabilidades, que resultaría apropiado para partir de ella y reflexionar la probabilidad de casos únicos. Él no desecha la propuesta propensivista de la mecánica cuántica de forma

⁷³⁴ *Ibíd.*, p. 19. La pequeña frase se ha traducido del idioma inglés por el autor de la presente monografía.

⁷³⁵ *Ibíd.*, p. 19. La pequeña frase se ha traducido del idioma inglés, por el autor de la presente monografía; igual sucede con las demás citas traducidas que siguen a esta.

⁷³⁶ *Ibíd.*, p. 20. La pequeña frase se ha traducido del idioma inglés.

⁷³⁷ *Ibíd.*, p. 20. La pequeña frase se ha traducido del idioma inglés.

completa, sino que sólo muestra la necesidad de replantear aquel completo sistema propuesto por Popper, y la necesidad de pensar en una teoría propensivista de la mecánica cuántica algo modificado, o como señala, con otros posibles caminos. En palabras de Rodolfo Rosas: “La teoría de la propensión, [...] no está necesariamente vinculada a la interpretación de MC [mecánica cuántica] dada por Popper”⁷³⁸.

Ahora bien, en cuanto a las consideraciones del profesor italiano sobre el experimento MMP, afirma: “este experimento demuestra, de hecho, que ciertas hipótesis de importancia crucial para la interpretación estadística de la MC, podrían probarse empíricamente”⁷³⁹, y más adelante dice:

El aspecto crucialmente importante del experimento del MMP consiste básicamente en haber mostrado el significado empírico de la probabilidad de un solo evento dentro del contexto experimental de la MC [mecánica cuántica]. En los experimentos de física llevados a cabo en el mundo microscópico, la distribución estadística como tal es objeto de estudio cuando, por ejemplo, comprobamos si se ajusta o no a las expectativas teóricas. De modo que las frecuencias por sí mismas son vistas como el único constituyente de la probabilidad. En el experimento de un solo electrón, la situación está, por así decirlo, patas arriba. El foco está ahora en la partícula individual en el sentido de que hay razones empíricas para preguntar qué probabilidad hay de que un solo electrón llegue a un cierto punto en la pantalla incluso después de la llegada de una sola partícula y después de haber apagado el microscopio. El resultado nos lleva a considerar la probabilidad como una propiedad física que se revela en el caso de un solo electrón⁷⁴⁰.

Posteriormente el profesor Rodolfo Rosa declara las conclusiones que arrojaría el experimento MMP:

El experimento excluye finalmente que las franjas de interferencia puedan deberse a una onda real (electromagnética o paquete de ondas) asociada de alguna manera al electrón, o a la interacción entre un electrón y otro, o a cualquier característica específica de la fuente de electrones, o incluso a una transferencia mecánica recíproca de un impulso entre el electrón y la pantalla de hendidura. La explicación restante es que la propia naturaleza del electrón determina la frecuencia o los puntos de impacto en la pantalla, como se muestra en el patrón de interferencia. Esto equivale a admitir que el electrón muestra una probabilidad física (propensión) como consecuencia de su interacción con el aparato experimental⁷⁴¹.

Las anteriores conclusiones señaladas por el profesor italiano sobre el experimento MMP ciertamente muestran cierto nivel de afinidad con una interpretación propensivista de la mecánica cuántica.

⁷³⁸ *Ibíd.*, p. 21. La pequeña frase se ha traducido del idioma inglés. Entre corchetes frase aclaratoria.

⁷³⁹ *Ibíd.*, p. 20. La pequeña frase se ha traducido del idioma inglés.

⁷⁴⁰ *Ibíd.*, p. 22.

⁷⁴¹ *Ibíd.*, p. 22-23. La cita ha sido traducida por el autor de la presente monografía.

Para finalizar ésta pequeña descripción sobre algunos aspectos señalados por el profesor Alfredo Rosa en su artículo, vale la pena indicar que él muestra moderadamente su desacuerdo con el filósofo de la ciencia Donald Gillies por el escepticismo de este sobre el papel que desempeñan las propensiones de caso único en las ciencias empíricas. Como vimos en el tercer capítulo, sección 3.6.1. de la presente monografía, según Gillies las propensiones de caso único no podrían testarse y por ende aquel autor las considera metafísicas. Pero el profesor italiano manifiesta que, si bien no es posible conocer todas las condiciones generadoras, por ejemplo, para una situación cotidiana de juegos de azar (pues en tales casos cotidianos no tendríamos conocimiento de la medida de los factores relevantes), en el experimento del MMP la situación sería muy diferente, ya que podríamos tener todas las especificidades de los aparatos y de aquellos factores que son relevantes y que están bajo un estricto control. Por todo lo anterior, el profesor Rodolfo Rosa considera que el experimento de MMP posee relevancia empírica, ya que puede contribuir en el debate filosófico sobre la propensión.

4.9.2. Conclusiones sobre el balance de las ideas de Popper en la mecánica cuántica

Luego de explorar algunos aspectos importantes del sistema popperiano en torno a la mecánica cuántica, es posible considerar concisamente lo siguiente: (1) algunas de las ideas de Popper sobre su teoría propensivista de la mecánica cuántica fueron inicialmente malinterpretadas, por ejemplo, por Bunge y Feyerabend. (2) Resulta claro que ciertas ideas experimentales de Popper, si bien no mostraron en la práctica experimental —al parecer— ser acordes con las implicaciones que el autor atribuía a la interpretación de Copenhague, los resultados de dichos experimentos, luego de un “*pandemonium*”, arrojaron reflexiones importantes para clarificar ciertas particularidades de la teoría cuántica; particularidades que ni siquiera los mismos adeptos de Copenhague tenían presente. (3) La interpretación propensivista de Popper, en todo su sistema o estructura, resultaría ser —a la luz de la interpretación de los experimentos— inadecuado, en tanto que dicho sistema contiene la propuesta de Landé-Duane. (4) No obstante, la propuesta propensivista de Popper seguiría resultando pertinente, adecuada, o apropiada en otros aspectos, por ejemplo, en la reflexión que permite sobre los sucesos singulares en la teoría estadística o incluso, para algunos, en lo que dicha circunstancia pudiese representar para la física cuántica; por otro lado, también resultaría interesante, adecuada y pertinente, en la medida en que sus bases metafísicas (el realismo, el indeterminismo, y el objetivismo) posibilitarían una discusión constante sobre algunos aspectos interpretativos de la teoría cuántica. Finalmente, (5) a partir de la teoría propensivista de Popper, actualmente se han forjado múltiples y diversas versiones (Leslie E. Ballentine, Suppes, Bunge, Salmon, etc.) planteadas para la teoría probabilista y la teoría cuántica, cuya discusión y debate aún perdura.

ADENDA AL TRABAJO DE GRADO ‘LA TEORÍA METAFÍSICA DE LA PROPENSIÓN DE LA MECÁNICA CUÁNTICA DE KARL POPPER’

5. BREVES COMENTARIOS AL ARTÍCULO: “POPPER Y LA MECÁNICA CUÁNTICA. (COMENTARIOS CRÍTICOS AL III POST SCRIPTUM A LA LÓGICA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA)”

En la presente adenda efectuamos algunos breves comentarios al artículo “Popper y la Mecánica Cuántica. (Comentarios críticos al III Post Scriptum a la lógica de la investigación científica)” del profesor español Juan Cano de Pablo, quien aseguró que Popper había malinterpretado las ideas planteadas por la escuela de Copenhague; en palabras de este autor: “Popper no entiende o no quiere entender lo que desde la escuela de Copenhague se dice”⁷⁴².

Es consideración del profesor Juan Cano de Pablo que, si bien Heisenberg empleó palabras como ‘conciencia’ o ‘subjetivo’ para hablar del observador, no mostraría una ‘interpretación mentalista’ de la mecánica cuántica, tal y como pudiese ocurrir con Wigner. Argumentó que la circunstancia de que Popper viese aquello, radicaría en que no habría entendido el problema de la medición y de las observaciones. Veamos un poco como el profesor español explica esto.

El profesor Juan Cano de Pablo señaló que ‘el postulado cuántico’ de la interpretación de Copenhague comprendería dos sentidos: (1) un sentido restringido que indica la indivisibilidad de los procesos atómicos (esto debido a la aplicación del cuanto de acción), y (2) un sentido general según el cual se abandona el principio de continuidad. A raíz del ‘postulado cuántico’ el profesor Juan Cano de Pablo consideró —en afinidad con la interpretación de Copenhague— que debe modificarse el concepto de observación en la mecánica cuántica, y comprender que ‘el sujeto y el objeto forman un todo indivisible’ ya que el valor para la interacción entre los instrumentos y propiedades no sería ‘infinitamente reductible’; a diferencia de la mecánica clásica donde podemos restar la perturbación del resultado, en la mecánica cuántica aquello no sería posible porque la perturbación no es despreciable, o en otras palabras, ‘no es infinitamente reductible es discreta’.

No obstante, los anteriores argumentos del profesor Juan Cano de Pablo son discutibles desde la perspectiva popperiana, y esto por varias razones:

⁷⁴² DE PABLO, Juan Cano. Popper y la mecánica cuántica (Comentarios críticos al *III Post Scriptum a la lógica de la investigación científica*). Revista: Cuadernos de Materiales, filosofía y ciencias humanas, No 18, p. 35-41. Disponible en internet: <http://www.filosofia.net/materiales/num/num18/Popper.htm#ast>

1) En las diferentes referencias de Popper que recoge en su artículo el profesor Juan Cano de Pablo, como además en la bibliografía del autor austriaco, no encontramos que Popper haya empleado precisamente el término 'mentalista' o que se refiera a Copenhague como 'la interpretación mentalista', sino que en vez de ello, el autor austriaco acusó a la interpretación de Copenhague de no referirse directamente a la 'realidad objetiva' de las partículas, sino a 'nuestro conocimiento, nuestra observación o nuestra conciencia de las partículas'⁷⁴³; lo anterior pudiese sugerir la necesidad de una discusión hermenéutica sobre lo que significa la palabra 'mentalista', pero aquí consideramos que lo realmente importante es identificar que Popper examinó que la interpretación de Copenhague defendida por autores como Heisenberg, Bohr y Pauli, presentó múltiples aseveraciones que conducen ineludiblemente a controvertir la 'realidad' y el 'realismo objetivo' de las partículas subatómicas, y que esto resulta más que claro, considerando las propias afirmaciones de Heisenberg⁷⁴⁴ donde éste cuestiona —sin lugar a dudas— la 'realidad' de los objetos cuánticos; (por cierto, algunas de aquellas afirmaciones fueron traídas a colación en varias de las secciones anteriores, entre ellas: secciones 4.3.3. y 4.8. de la presente monografía). Quizá puede resultar acertada la afirmación del profesor Juan Cano de Pablo de que el idealismo de Wigner es más radical que el de Heisenberg, en todo caso, el mismo Heisenberg ofreció muestras de que no se apartó demasiado de una concepción idealista o positivista como la indicada en la sección 2.1. de la presente monografía. De hecho, como parece identificar el mismo profesor Juan Cano de Pablo, Heisenberg adoptó una postura similar a la de Berkeley según la cual: lo físico se relaciona con lo sensible o, en otras palabras, que lo existente es 'el ser percibido'; esto se corresponde con la 'teoría de la cubeta de la mente', ya que solo podríamos tener garantía de las sensaciones que obtenemos gracias a la experiencia, por lo cual, más allá de las sensaciones no podríamos hablar de 'cosas reales'; y esto claramente, obedece a una postura idealista o positivista.

2) Por otro lado, desde la perspectiva propensivista, es de considerar que contrario a las aseveraciones del profesor Juan Cano de Pablo, Popper si ofreció muestras de comprender lo que Copenhague denominó el 'problema de la medición', como lo mostró especialmente en la introducción del tercer volumen del *Post Scriptum*, y como vimos en la sección 4.5. de la presente monografía; lo que sucede, ciertamente, es que el autor austriaco no se encontró nunca de acuerdo con las afirmaciones de la interpretación de Copenhague que tanto defiende el profesor español. Ahora bien, consideremos que aquello que el profesor Juan Cano de Pablo indicó que es 'el postulado cuántico' de la interpretación de Copenhague, se encuentra implícito en las fórmulas de Heisenberg, y que desde la

⁷⁴³ POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 57.

⁷⁴⁴ Véase: HEISENBERG, Werner. *Física y filosofía*. Buenos Aires: Editorial la Isla, S. R. L., 1959, p. 121.

perspectiva de Popper, dicho postulado no supondría un problema porque: (a) cuando hay un cambio en la disposición experimental (por ejemplo una disposición que nos permita en el experimento de las dos ranuras averiguar a través de cuál de las dos ranuras atraviesa la partícula), dicho cambio expresaría un cambio de las propensiones, y lo único que necesitamos saber en aquellos casos es la ecuación de Schrödinger (la cual entraña las relaciones de dispersión de Heisenberg), por esta sencilla circunstancia Popper afirmó en el tercer volumen del *Post Scriptum* lo siguiente:

“No veo ninguna dificultad aquí ni ningún problema que estén relacionados específicamente con la teoría cuántica —es decir, con la constante h de Planck—. Nos enfrentamos, más bien, con un problema que reaparece en las teorías probabilísticas, por ejemplo, en la teoría de la difusión”⁷⁴⁵.

Además, porque (b) esto también posee cierto grado de relación con la sexta tesis del tercer volumen del *Post Scriptum*. Según Popper las fórmulas de Heisenberg no *limitan* la precisión de las partículas individuales, ya que si bien a la hora de experimentar con objetos cuánticos no se puede evitar “1) la dispersión de la energía si tomamos disposiciones para un corto límite de tiempo, y 2) la dispersión del momento si tomamos disposiciones para una posición estrechamente limitada [...] esto sólo significa que hay límites a la *homogeneidad estadística* de nuestros resultados experimentales”⁷⁴⁶.

El profesor español en su artículo además dice que la ciencia moderna es realista, y que a su vez acepta el principio de causalidad y el principio de determinación, pero que Popper niega este último principio. Al respecto, el mencionado profesor no es del todo claro ni preciso, por ello recordemos que Popper consideró que la idea intuitiva de causalidad como explicación causal (causa-efecto) es válida, mientras que el determinismo en su sentido más fuerte, es decir, como ‘determinismo laplaciano’, por su parte no sería legítimamente válido (véase sección 2.2.4.1. de la presente monografía). Además, el autor austriaco si bien consideró que la física clásica y la física cuántica —ambas— son indeterministas, anheló que la teoría cuántica pudiese obtener una capacidad predictiva más efectiva o un determinismo *prima facie* similar al de la mecánica clásica.

Por otro lado, Juan Cano de Pablo dice que Copenhague no es instrumentalista, pues “si así fuera no se preocuparía de buscar interpretaciones”⁷⁴⁷. Al respecto, vale la pena señalar que el mismo Popper afirmó que los físicos instrumentalistas que alguna vez abordaron cuestiones filosóficas de la teoría cuántica, realmente fueron

⁷⁴⁵ POPPER, Karl. *Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 170.

⁷⁴⁶ *Ibid.*, p. 75.

⁷⁴⁷ DE PABLO, Juan Cano. Popper y la mecánica cuántica (Comentarios críticos al *III Post Scriptum a la lógica de la investigación científica*). Revista: Cuadernos de Materiales, filosofía y ciencias humanas, No 18, p. 35-41.

muy pocos, como por ejemplo los mismos autores reconocidos: Heisenberg y Bohr, los cuales integraron parte de los físicos pioneros de la teoría cuántica; sin embargo, es frecuente o casi una regla general, que el físico instrumentalista de las nuevas generaciones encuentre innecesario problematizar cuestiones interpretativas, ya que una vez acepta los principios o conclusiones de la interpretación de Copenhague, termina por preferir —casi en exclusividad— la circunstancia de limitarse en aprender y desarrollar operativamente el formalismo matemático. Igualmente, consideramos que resulta cuestionable la afirmación del profesor Juan Cano de Pablo según la cual ‘Copenhague busca interpretaciones’, porque si fuese realmente así, entonces sería viable el debate o cuestionamiento al principio de complementariedad de Bohr en la interpretación ortodoxa, y no como se logra percibir: los adeptos de Copenhague realizando una defensa a ultranza o indicando los porqués debe aceptarse incuestionablemente dicho principio. Asimismo, es de considerar que, el profesor Juan Cano de Pablo se expresa confusamente, ya que primero dice que Copenhague no es instrumentalista, pero luego dice que Copenhague se ve obligada a asumir una posición instrumentalista “ante la imposibilidad de ofrecer una interpretación conceptual satisfactoria del formalismo matemático”⁷⁴⁸; nosotros nos preguntamos lo siguiente: ¿Copenhague busca interpretaciones o contrario a esto asume que es imposible cualquier otra interpretación?

Otro aspecto a considerar del artículo en mención, es que el profesor español comete un evidente error al pretender criticar a Popper haciendo parecer que el autor austriaco recae en una contradicción en la medida en que este también hace recurso del instrumentalismo; al respecto no hay contradicción alguna, porque lo cierto es que Popper nunca rechazó que las teorías de la ciencia sirvan como instrumentos de predicción, solamente insistió en la circunstancia de que las teorías de la ciencia son mucho más que eso; de hecho, el mismo Popper aseguró adoptar una postura media entre los enfoques del esencialismo y el instrumentalismo.

El profesor Juan Cano de Pablo afirmó que, según Popper, Copenhague explicaría el carácter probabilista por medio de la *nesciencia*, pero que, contrario a esto, lo que realmente sucedería —continúa diciendo el profesor español— es que en conformidad con Bohr “el sistema no tiene p y q con valor bien definido al mismo tiempo y con *independencia de la observación*. Esto se debe a que van a venir dados por operadores no-conmutativos. Es decir, viene dado por la propia teoría, no porque no seamos capaces de observarlos simultáneamente”⁷⁴⁹. Al respecto, el profesor Juan Cano de Pablo no entiende que precisamente la conclusión que recoge de Bohr y la cual él acepta, es fruto de consideraciones subjetivas de la probabilidad, en tanto que anticipadamente está dando por sentado un ‘supuesto separado o suplementario’⁷⁵⁰ (es decir, algo que realmente no viene dado por la

⁷⁴⁸ *Ibíd.*, p. 35-41.

⁷⁴⁹ *Ibíd.*, p. 35-41.

⁷⁵⁰ POPPER, Karl. *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 202.

teoría, y que sentencia la existencia de un presunto *límite* para la precisión de lo que podemos saber o conocer de las partículas subatómicas), luego también asume que no hay independencia de la observación; si bien los valores del sistema vienen dados por valores no-conmutativos (según las ecuaciones de Heisenberg de la teoría cuántica, que por cierto, Popper entiende como ‘relaciones estadísticas de dispersión’), desde la postura de Popper, aquello —como vimos en las secciones 4.6. y 4.8. de la presente monografía— no implica que lógicamente las partículas no puedan poseer valores definidos. Por consiguiente, aunque el profesor Juan Cano de Pablo no quiera ver que la interpretación de Copenhague pretendió explicar el carácter probabilista de la teoría cuántica por medio de la *nesciencia*, lo cierto es que, en los propios argumentos que recoge de Bohr y que buscan señalar lo contrario, precisamente subyace la misma interpretación subjetivista de la probabilidad.

En su texto el profesor Juan Cano de Pablo también cuestionó ‘el embrollo cuántico’ que Popper le atribuye a Copenhague, pero lo cierto es que no entendemos su muy breve crítica; indicamos aquí que la interpretación de Copenhague no comprende que los conjuntos estadísticos (u ondas) no se refieren a propiedades que sean precisamente individuales y concretas, como sí lo serían las propiedades que poseen las partículas; de ahí que dicha interpretación no vea lo inapropiado de una presunta dualidad.

El profesor Juan Cano de Pablo, también afirmó lo siguiente:

Otro argumento, usado por Popper a favor de su lectura estadística, es que las relaciones de incertidumbre se refieren a cálculos estadísticos, no a la precisión de nuestras medidas. Ahora bien, es arriesgado lanzar una tesis como esta, puesto que las relaciones de incertidumbre son una ley de la naturaleza, no una hipótesis ad hoc. Por consiguiente, aunque existan variables ocultas, éstas deben someterse a dichas relaciones de incertidumbre⁷⁵¹.

Desde la postura de Popper la anterior afirmación resulta cuestionable, porque simplemente obedecería a una confusión, según la cual, la supuesta imposibilidad de hacer una medición precisa de la posición y el momento de una partícula sería una presunta ley de la naturaleza, pero como se dijo antes, según Popper⁷⁵² esto solo obedecería a un ‘supuesto separado o suplementario’ ya que lógicamente las ‘relaciones estadísticas de dispersión’ no excluyen la posibilidad de encontrar p y q bien definidos; la presunta *limitación* solo indicaría la homogeneidad estadística, no una ley de la naturaleza. Para aclarar este asunto, veamos a continuación como el profesor John Auping explica los *límites* de la dispersión:

⁷⁵¹ DE PABLO, Juan Cano. Popper y la mecánica cuántica (Comentarios críticos al *III Post Scriptum a la lógica de la investigación científica*). Revista: Cuadernos de Materiales, filosofía y ciencias humanas, No 18, p. 35-41.

⁷⁵² : POPPER, Karl. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980, p. 202.

Éstas son fórmulas [las fórmulas de Heisenberg] válidas de la teoría cuántica, pero NO señalan ningún límite a la precisión de nuestras mediciones simultáneas de momento y posición, más bien indican los límites de la dispersión (scatter) en los resultados de secuencias de experimentos (con un solo fotón o electrón o con conjuntos de fotones o electrones), razón por la cual ponen límites a la precisión de la predicción de la posición final exacta de un solo fotón o electrón antes de que pase por la hendidura, pero no a la precisión de la predicción de la función probabilística⁷⁵³.

Por otro lado, no hay que olvidar que las conjeturas estadísticas de propensión, según Popper, serían susceptibles de contrastación empírica (véase sección 4.3. más exactamente en la descripción de la octava tesis de Popper). Por lo cual, las conjeturas estadísticas de propensión en principio no se tratarían de hipótesis *ad hoc*.

Según dice el profesor Juan Cano de Pablo: “[...] es cierto que la interpretación propensivista resuelve el problema entre las partículas y sus estadísticas, pero no resuelve, de ninguna manera, la relación entre partículas y ondas. Éste no es un problema estadístico, sino físico”⁷⁵⁴.

Al respecto, es de señalar que (1) desde la perspectiva propensivista los problemas estadísticos obedecen a ciertas condiciones objetivas de generación que indican *tendencias físicas*, por lo cual, se emplean para comprender problemas físicos y que son reales, y no indican precisamente ‘nuestro’ conocimiento sobre las circunstancias de ciertos sucesos, y (2) la interpretación propensivista no solo considera que los aspectos estadísticos revelan las *tendencias* o *disposiciones* de las partículas para adoptar cierto estado específico, sino que también acude a los planteamientos del físico Alfred Landé sobre lo que se denominó ‘la tercera regla cuántica de Duane’ para explicar físicamente fenómenos similares al patrón de interferencia; no obstante, como vimos en la sección 4.9.1. de la presente monografía, actualmente hay serias dudas sobre la viabilidad de esta última propuesta. De modo que, considerando este último problema, ciertamente aún hace falta resolver físicamente la aparición de fenómenos como el patrón de interferencia.

Por último, también debatimos la siguiente afirmación del profesor Juan Cano de Pablo:

Según Popper las relaciones de incertidumbre se refieren a partículas que tienen p y q bien definidos. Es posible conocer p y q con una mayor precisión de lo que permite la fórmula: $\Delta E \Delta t = h$. Nosotros creemos que es cuestionable

⁷⁵³ AUPING, John. Una revisión de las teorías sobre el origen y la evolución del universo: física, metafísica, ciencia ficción y (a)teología en la cosmología antigua y moderna. Mexico D.F: Universidad Iberoamericana, 2009, p. 448.

⁷⁵⁴ DE PABLO, Juan Cano. Popper y la mecánica cuántica (Comentarios críticos al *III Post Scriptum a la lógica de la investigación científica*). Revista: Cuadernos de Materiales, filosofía y ciencias humanas, No 18, p. 35-41.

que p y q tengan o no valores bien definidos. En todo caso se puede adoptar un planteamiento gnoseológico como el de Einstein o un planteamiento ontológico como el de Bohr. Sería posible conocer p y q con una mayor precisión de lo que permiten las relaciones de incertidumbre si el E-P-R funcionara. Pero como existe un principio de no-localidad (como prueban los experimentos de Bell y Aspect), no tiene sentido plantear esta cuestión. Sí lo tenía cuando Einstein planteó el E-P-R en 1935⁷⁵⁵.

En primer lugar, no es exactamente cierto que los experimentos de Aspect impliquen que no es posible conocer p y q con mayor precisión que lo determinado por las fórmulas de dispersión de Heisenberg.

Brevemente, es de considerar que, como explica el profesor Antonio J. Diéguez⁷⁵⁶ en su artículo "Realismo y teoría cuántica" los experimentos de Aspect pusieron a prueba la conjunción de las siguientes tres suposiciones: (a) el realismo, (b) la separabilidad o localidad y (c) la validez de la teoría cuántica. La violación de las desigualdades de Bell en el experimento de Aspect sugieren que al menos alguno de aquellos supuestos no es correcto. Ahora bien, dado el éxito de las formulaciones matemáticas de la teoría cuántica no se duda del último supuesto, por lo cual, la discusión se centra en los dos primeros supuestos. *Grosso modo*, si suponemos que no hay variables ocultas tenemos que: si se acepta el realismo se rechaza la localidad y por ende el modelo realista debe ser no-local, pero si se acepta la localidad se rechaza el realismo; aunque se advierte que aquí no hay rechazo directo al realismo, sino a la conjunción de realismo y localidad. Sabemos que Copenhague rechaza tanto el supuesto de realidad del EPR, como además el supuesto de variables ocultas.

Sin embargo, más allá de los planteamientos de Copenhague, es de considerar que una interpretación como la de ondas piloto de De Broglie-Bohm, aún con las presuntas conclusiones que se le atribuyen a los experimentos de Aspect puede resultar viable, en tanto que ésta es realista y asimismo renuncia al principio de localidad. Ahora bien, hasta donde sabemos, a partir de la interpretación de De Broglie-Bohm se considera que las partículas poseen un p y q bien definidos (por cierto, Popper dudó de que esto fuese realmente así debido a unas réplicas de Bohm a Einstein, pero luego también sabemos que respaldaría la teoría de ondas piloto bajo la condición de que p y q puedan ser bien definidos; al respecto véase nota 692 de la presente monografía). En aquella medida, no resulta cierta la afirmación del profesor Juan Cano de Pablo de que los experimentos de Aspect niegan la posibilidad de obtener p y q definidos; sí la interpretación de los experimentos de Aspect son adecuados, esto resultaría cierto únicamente para teorías realistas y de variables ocultas locales, pero como hemos indicado, también

⁷⁵⁵ *Ibíd.*, p. 35-41.

⁷⁵⁶ DIÉGUEZ, Antonio. Realismo y teoría cuántica. Revista interdisciplinaria de filosofía, Contrastes, Vol. 1, 1996, p. 98.

caben otras posibilidades donde aquellos valores si puedan ser definidos a partir de teorías realistas y de variables ocultas no-locales.

Pero ciertamente lo anterior no excluye un evidente problema con la interpretación de Popper de la mecánica cuántica, o, mejor dicho, con la generalidad de los planteamientos sostenidos por él durante la mayor parte del tiempo desde que concibió su interpretación teórica. Veamos que sucede. Sabemos que Popper fue —sin lugar a dudas— un realista, pero lo problemático aquí es la cuestión de si Popper adoptó un modelo local o por otro lado un modelo no-local de la teoría cuántica; esto porque de ser cierta la interpretación de los experimentos de Aspect, el realismo no podría conjugarse con el supuesto de la localidad. Ahora bien, resulta más que obvio una inclinación de Popper por el principio de localidad; aunque también resulta cierto que el autor austriaco no excluyó definitivamente la no-localidad, y más aún en cuanto esto podía manifestarse en una propiedad —recién descubierta en su época— como el spin; según Popper de ser cierta la no-localidad sería una característica interesante a considerar de la teoría cuántica. Por consiguiente, esta última cuestión lo que tal vez pudiese señalar, es que la teoría propensivista de Popper⁷⁵⁷ de la mecánica cuántica, deja abierta la posibilidad de que en el caso de que finalmente se aceptase las conclusiones del experimento de Aspect, o en el caso de que se despojase todas las dudas interpretativas sobre este experimento, entonces sería posible adoptar un modelo con un principio no-local para la teoría de la mecánica cuántica; pero se advierte que esto tan sólo sería una suposición con base en algunas afirmaciones de Popper, y lo cierto es que el autor mismo —desde 1982 que fueron los experimentos de Aspect, hasta su muerte en 1994— nunca estuvo seguro de que los experimentos de Aspect hubiesen sido interpretados adecuadamente.

⁷⁵⁷ Véase: POPPER, Karl. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985, p. 44-49.

BIBLIOGRAFÍA

A. DÍEZ, José y MOULINES, Ulises. Fundamentos de la filosofía de la ciencia. Barcelona: Editorial Ariel S.A, 1999.

AUPING, John. Una revisión de las teorías sobre el origen y la evolución del universo: física, metafísica, ciencia ficción y (a)teología en la cosmología antigua y moderna. Mexico D.F: Universidad Iberoamericana, 2009.

BUNGE, Mario. Filosofía de la física. Barcelona: Editorial Ariel, 1982.

CALA, Favio y ESLAVA, Edgar. Mecánica cuántica: sobre su interpretación, historia y filosofía. Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 2011.

CARNAP, Rudolf. Fundamentación lógica de la física. Buenos Aires: Editorial Sudamericana, 1969.

BOHR, Niels. La teoría atómica y la descripción de la naturaleza. Madrid: Alianza Editorial, 1988.

CHIARA, Dala y DI FRANCIA, G. Toraldo. Confines: introducción a la filosofía de la ciencia. Barcelona: Editorial Crítica, 2001.

DE LA TORRE, Alberto Clemente. Física cuántica para filo-sofos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 2000.

DUHEM, Pierre. La teoría física, su objeto y estructura. Barcelona: Herder Editorial S.L., 2003.

ECHEVERRÍA, Javier. Introducción a la metodología de la ciencia. Madrid: Ediciones cátedra, S.A., 1999.

EINSTEIN, Albert. Mi visión del mundo. Editor digital: Titivillus. 1980.

FEYNMAN, Richard. El carácter de la ley física. Barcelona: Tusquets Editores, S.A., 2005.

FEYNMAN, Richard. Física. Volumen 1: Mecánica, Radiación y Calor. México D.F: Addison Wesley Longman, 1998.

GARCÍA, Alfonso. Teorías de la verdad. Modos de significar. Madrid: Editorial Tecnos, 1997.

GILLIES, Donald. Philosophical Theories of Probability. London: Routledge, 2006.

GÓMEZ, Adolfo. Tres ensayos sobre Karl Popper. Calí: Editorial Santiago de Calí, 2001.

GÓMEZ, Adolfo. Lenguaje, comunicación y verdad. Calí: Universidad del Valle, 1997.

HACKING, Ian. El surgimiento de la probabilidad. Barcelona: Gedisa editorial, 1995.

HEISENBERG, Werner. Física y filosofía. Buenos Aires: Editorial la Isla, S. R. L., 1959.

HEMPEL, Carl. Filosofía de la ciencia natural. Madrid: Alianza Universidad, 1973.

HEMPEL, Carl. Problemas y cambios en el criterio empirista de significado, en: La Búsqueda del Significado. Madrid: Editorial Tecnos, 1991.

MAYO, David. La estructura ontológica de las propensiones y causalidad indeterminista en el pensamiento de Karl Popper. 2014. Trabajo de fin de master en estudios avanzados en filosofía. Universidad de Salamanca. Facultad de filosofía.

MEJÍA, Jorge. Lógica, evolución y ontología: la teoría del conocimiento de Popper. Bogotá: Editorial San Pablo, 2009.

MILLER, David, comp. Popper: Escritos selectos. México, D.F: Fondo de Cultura Económica, 1995.

MOULINES, Ulises. Popper y Kuhn: dos gigantes de la filosofía de la ciencia del siglo XX. Madrid: Bonal letra Alcompas S. L., 2015.

OKASHA, Samir. Una brevísima introducción a la filosofía de la ciencia. México, D. F: Editorial Océano de México, S.A., 2007.

PEÑA, Luis. Química inorgánica. Bogotá: Editorial UD, 2013.

PETERSEN, Arne; MEJER, Jorgen. Comps. El mundo de Parménides. Barcelona: Paidós, 1999.

POPPER, Karl. Realismo y el objetivo de la ciencia. Post scriptum a la lógica de la investigación científica. Vol. I. Madrid: Editorial Tecnos, 1985.

POPPER, Karl. Conjeturas y refutaciones. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1991.

POPPER, Karl. Conocimiento Objetivo. Madrid: Tecnos, 1974.

POPPER, Karl. El universo abierto: un argumento a favor del indeterminismo. Post scriptum a la lógica de la investigación científica. Vol II. Madrid: Editorial Tecnos, 1994.

POPPER, Karl. En búsqueda de un mundo mejor. Barcelona: Paidós, 1994.

POPPER, Karl. La lógica de la investigación científica. Madrid: Editorial Tecnos, 1980.

POPPER, Karl. La miseria del historicismo. Madrid: Taurus, 1961.

POPPER, Karl. La responsabilidad de vivir. Zaragoza: Editor digital Titivillus, 1994.

POPPER, Karl. La sociedad abierta y sus enemigos. Madrid: Editorial Paidós, 2006.

POPPER, Karl. Post scriptum a la lógica de la investigación científica, vol. III: Teoría cuántica y el cisma en física. Madrid: Editorial Tecnos, 1985.

POPPER, Karl. Un mundo de propensiones. Madrid: Editorial Tecnos, 1992.

PRADA, Blanca. Ciencia y política en Karl Popper. Bucaramanga: Editorial UIS, 2006.

QUERALTÓ, Ramón. Karl Popper, de la epistemología a la metafísica. Sevilla: Universidad de Sevilla, 1996.

RIVADULLA, Andrés. Comp. Hipótesis y verdad en ciencia: ensayos sobre la filosofía de Karl R. Popper. Madrid: Editorial complutense S.A., 2004.

RIVADULLA, Andrés. Probabilidad e inferencia científica. Barcelona: Anthropos, 1991.

RUIZ, Eduardo. La observación en la palabra. La función de los experimentos imaginarios en la física cuántica 1927-1936. Tesis doctoral en historia de la ciencia, Universidad Autónoma de Barcelona, facultad de ciencias, 2012. Disponible en internet:

<https://tdx.cat/bitstream/handle/10803/96292/emrs1de1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SKLAR, Lawrence. Filosofía de la física. Madrid: Alianza Editorial, 1994.

VILLANUEVA, Luis. Comp. La búsqueda del significado: lecturas de filosofía del lenguaje. Madrid: Tecnos, 1995.

ARTÍCULOS:

ABELED0. Horacio. La interpretación propensional de la probabilidad. En: Epistemología e historia de la ciencia; selección de trabajos de las XV jornadas volumen 11, Tomo 1, 2005.

AGAZZI, Evandro. Quanta in context. Einstein Symposium. Lecture Notes in Physics, Berlin: Springer, Vol. 100, 1979, p. 180-203.

ÁVILA, Roberto. Aproximación al concepto de determinismo. En: revista Cuestiones de Filosofía, 2008, no. 10. ISSN 0123-5095.

BARTLEY III, William. En: The Philosophy of Karl Popper, edited by Paul Arthur Schilpp, Two Volumes, La Salle: Open Court, Library of Living Philosophers, 1974.

BURGOS, Campo Elías. La lógica de la investigación científica. Segunda parte. En: La Lámpara de Diógenes. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México, vol. 12, núm. 22-23, 2011.

CARNAP, Rudolf. La superación de la metafísica mediante el análisis lógico del lenguaje, en: El positivismo lógico. México D.F.: Editorial Fondo de Cultura Económica, 1959.

CHUAQUI, Rolando. Escuelas de interpretación del concepto de probabilidad. Revista Colombiana de Estadística. No. 5, 1982.

CORNEJO, Jorge. Sobre la estructura lógica de la física. En: revista de investigación y experiencias didácticas, 2000, vol 18, no. 2. ISSN 0212-4521, ISSN-e 2174-6486.

DE PABLO, Juan Cano. Popper y la mecánica cuántica (Comentarios críticos al *III Post Scriptum a la lógica de la investigación científica*). Revista: Cuadernos de Materiales, filosofía y ciencias humanas, No 18, p. 35-41. Disponible en internet: <http://www.filosofia.net/materiales/num/num18/Popper.htm#ast>

DIÉGUEZ, Antonio. Realismo y teoría cuántica. Revista interdisciplinar de filosofía, Contrastes, Vol. 1, 1996.

FINETTI, Bruno. Sobre el significado subjetivo de la probabilidad. En: Revista de filosofía, 2016, no. 58. Disponible en internet: <https://revistafilosofia.uchile.cl/index.php/RDF/article/view/44080/46095>

GALAVOTTI, María. Probability Theories and Organization Science: The Nature and Usefulness of Different Ways of Treating Uncertainty. Journal of Management Vol. 41 No. 2, February, 2015.

GALAVOTTI, María. The Interpretation of Probability: Still an Open Issue?. *Philosophies*, 2(3), 20, 2017; Disponible en internet: <https://www.mdpi.com/2409-9287/2/3/20>

GARCÍA, Carlos Emilio. La verosimilitud y el estatus epistémico de las teorías científicas. En: Estudios de filosofía; Universidad de Antioquia, No. 36. Agosto, 2007, ISSN 0121-3628.

HÁJEK, Alan. Interpretations of Probability. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Fall 2019 Edition), Edward N. Zalta (ed.), 2019. Disponible en internet: <https://plato.stanford.edu/archives/fall2019/entries/probability-interpretar/>

HÁJEK, Alan. The reference class problem is your problem too. Synthese, 2007.

MAYO, David. La teoría propensivista como base metafísica para la construcción de una cosmología en el pensamiento de Karl Popper. En: Revista Euphyía, agosto, 2014.

MILLER, David. Popper's Contributions to the Theory of Probability and Its Interpretation. In J. Shearmur & G. Stokes (Eds.), The Cambridge Companions to Philosophy, 2016. Cambridge: Cambridge University Press.

MILLER, David. Tres pasos de las frecuencias a las propensiones. En: revista Praxis Filosófica Nueva serie, enero-junio, No. 24. 2007, 5-20 ISSN: 0120-4688.

MOSTERÍN, Jesús. Entrevista con Karl Popper. En: *Humánitas Episteme NS*. Vol. 22, no. 1, 2002.

NAVARRO, Jaume. Karl Popper, un filósofo con los pies en el suelo. *Anuario Filosófico*, No 34, 2001.

PALACIOS, Jorge. Una nueva concepción del determinismo. *Ciencia al Día*. Septiembre, Vol. 1, No. 2, 1998.

PRADA, Blanca. Albert Einstein y su influencia en Karl Popper y Gaston Bachelard. *Revista UIS-Humanidades*, Vol. 35, No. 2. Bucaramanga (Colombia), 2005. - ISSN 0120-095.

QURESHI, Tabish. Popper's Experiment: A Modern Perspective. En: *Quanta (Journal)*. Vol. 1, Núm. 1, 2012.

Disponible en internet en: <http://quanta.ws/ojs/index.php/quanta/article/view/3>

RESTREPO, Edison. La interpretación de la mecánica cuántica según Karl R. Popper. *Revista Voces*. No 8, junio, 2000.

SHIELDS, William. A Historical Survey of Sir Karl Popper's Contribution to Quantum Mechanics. En: *Quanta (journal)*. Vol. 1, Núm. 1, 2012.

Disponible en internet en: <http://quanta.ws/ojs/index.php/quanta/article/view/1>

RIVADULLA, Andrés. La filosofía de la ciencia hoy: problemas y posiciones. En: *perspectivas del pensamiento contemporáneo*, vol. 2, 2004. ISBN 84-9756-231-3

Disponible en internet: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/481-2013-10-14-filocien.pdf>

ROLLERI, José. La probabilidad como grado de posibilidad. *CRÍTICA*, Revista Hispanoamericana de Filosofía. Vol. 34, No. 101, agosto, 2002.

ROLLERI, José. La interpretación frecuentista de la probabilidad. En: *Signos Filosóficos*, enero-junio, 2004, vol. VI, núm. 11.

ROSA, Rodolfo. The Merli-Missiroli-Pozzi Two-Slit Electron Interference Experiment. En: Physics in Perspective. Vol. 14, 2012.

Disponible en internet:

http://philsci-archive-dev.library.pitt.edu/3816/1/mmp_arch.pdf

SETTLE, Tom. Presuppositions of Propensity Theories of Probability. University of Minnesota Press, Minneapolis. Retrieved from the University of Minnesota Digital Conservancy, 1975.

Disponible en internet: <https://conservancy.umn.edu/handle/11299/184672>

VERDUGO, Carlos. Popper y la explicación científica. En: Revista de Filosofía, vol. 30 No. 1, 2005.