

Predicción, acomodación y confirmación de teorías científicas: una defensa bayesiana de un predictivismo moderado

Autor:

Patiri, Miguel

Tutor:

Cassini, Alejandro

2021

Tesis presentada con el fin de cumplimentar con los requisitos finales para la obtención del título Doctor de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires en Filosofía.

Posgrado



FILO:UBA
Facultad de Filosofía y Letras

**Predicción, acomodación y confirmación de teorías científicas:
una defensa bayesiana de un predictivismo moderado**

Tesis presentada con el fin de cumplimentar con los requisitos finales para la
obtención del título de **Doctor en Filosofía**

Autor:

Lic. Miguel Patiri

Director: Dr. Alejandro Cassini

- 2021 -

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis es el producto de muchos años de esfuerzo y dedicación por lo que son muchas las personas e instituciones que, de una u otra manera, han influido y posibilitado su realización. Ante todo, quisiera agradecer al CONICET, ya que mis estudios de doctorado fueron financiados, en su mayor parte, por una beca doctoral de dicho organismo. También habría que señalar los cambios en las políticas públicas que atravesó el organismo en todos estos años y agradecer, en especial, a la actual gestión por la extensión de la beca como respuesta a la situación excepcional de pandemia en la que nos encontramos. En los últimos cinco años la situación material del país, y en particular, de los becarios, se ha empobrecido significativamente y necesita una respuesta estructural urgente por parte de la dirigencia. No quisiera finalizar estas palabras sin agradecer a CFK, y a la memoria de Néstor Kirchner, por creer que es posible el desarrollo de una ciencia soberana, de producción nacional y popular. Cada día es más difícil.

Quisiera agradecer especialmente a Alejandro Cassini por la gran y esmerada dedicación que ha puesto en la dirección de esta tesis, pero también en el acompañamiento de toda mi carrera académica desde la dirección de mi plan de adscripción a la materia filosofía de las ciencias hasta aquí. Su profundo y meticuloso punto de vista analítico ha enriquecido todos y cada uno de mis trabajos. También quisiera agradecer a los integrantes del proyecto UBACyT sobre modelos y simulaciones en ciencia, al cual asisto desde hace ya casi diez años, por ofrecerme un excelente espacio para la discusión de las ideas y de mis trabajos. En especial, a Cristina González, Cecilia Hidalgo, María Martini, Santiago Ginnobili y Leandro Giri.

Paradójicamente, también encontré libertad en los seminarios que debí cursar para cumplir los requisitos del doctorado, de manera que también quisiera agradecer a Nelly Gentile, Rodolfo Gaeta, Olimpia Lombardi, y a los participantes de esos seminarios, por enriquecer mi punto de vista epistemológico; y a Eduardo Barrio y su grupo, por su potencia de trabajo, indispensable para la motivación y la producción filosófica.

Esta tesis está especialmente dedicada a mi mamá, Cristina; y a mi papá, Antonio; ya que no solo me brindaron un gran apoyo emocional, sino que, además, su redacción fue posible gracias a su ayuda y a su contención. También quisiera agradecer a mi hermana Sabrina, a mis hermanos Rodrigo y Santiago, y a mis sobrinas y sobrinos, por su constante afecto y por los muy necesarios momentos de entretenimiento y distracción. Por último, quisiera agradecer a los escépticos y a los que te la complican, sin ellos, no es posible ningún avance científico.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN Enfoque normativo y descriptivo de la confirmación de teorías.....	6
PARTE I: Predicción, acomodación y confirmación	18
CAPÍTULO 1 El problema epistemológico: predicción versus acomodación de la evidencia ..	19
1. 1 El origen y los primeros desarrollos del problema	19
1. 2 Teorías de la confirmación: las teorías deductivistas y la teoría bayesiana	21
1. 3 La formulación general del problema	26
1. 4 Los primeros obstáculos del predictivismo	29
CAPÍTULO 2 La justificación <i>deductivista</i> del predictivismo	33
2. 1 La orientación deductivista y la concepción de la predicción.....	33
2. 2 Los contraejemplos históricos del predictivismo	38
2. 3 La concepción heurística de la predicción.....	41
2. 4 Las críticas a la concepción heurística: psicologismo y biografalismo	47
2. 5 La relación entre las <i>estrategias ad hoc</i> y la concepción heurística de la predicción	54
2. 6 ¿La acomodación de la evidencia conocida confirma una teoría?	62
CAPÍTULO 3 El predictivismo y la justificación epistémica de las estrategias <i>ad hoc</i>	68
3. 1 El criterio de identificación de Karl Popper y las críticas de Adolf Grünbaum.....	68
3. 2 Las críticas de Greg Bamford y de Eric Barnes al método comparativo de Popper.....	78
3. 3 La concepción de las hipótesis <i>ad hoc</i> de Jarrett Leplin.....	83
3. 4 La perspectiva contextual de Gerald Holton	89
3. 5 La posición esteticista de Christopher Hunt	91
3. 6 La concepción coherentista de Samuel Schindler	93
CAPÍTULO 4 El predictivismo y la teoría bayesiana de la confirmación	97
4. 1 Introducción: el programa bayesiano	97
4. 2 La concepción bayesiana de las predicciones.....	104
4. 3 El problema de la vieja evidencia.....	107

4. 4	Las primeras respuestas al problema de la vieja evidencia	110
4. 5	Los aspectos sincrónico y diacrónico del problema de la vieja evidencia.....	113
4. 6	La respuesta contrafáctica al problema sincrónico de la vieja evidencia	118
4. 7	Las críticas a la estrategia contrafáctica	123
4. 8	Las estrategias <i>ad hoc</i> y la acomodación genuina de la evidencia	127
CAPÍTULO 5	La justificación del predictivismo: la inferencia a la mejor explicación	137
5. 1	La reconstrucción de la inferencia a la mejor explicación	137
5. 2	Las críticas de Robin Collins a la inferencia a la mejor explicación	140
5. 3	La reconstrucción de la inferencia a la mejor explicación de Eric Barnes	143
5. 4	La versión revisada de la inferencia a la mejor explicación de Peter Lipton.....	146
5. 5	Las críticas de David Harker a la versión de Peter Lipton.....	150
5. 6	Las críticas bayesianas a la inferencia a la mejor explicación	152
CAPÍTULO 6	El éxito predictivo y el debate acerca del realismo científico	161
6. 1	El realismo se dice de muchas maneras: el debate acerca del realismo científico.....	161
6. 2	El éxito predictivo y “el argumento definitivo a favor del realismo científico”	163
6. 3	El antirrealismo epistémico de Bas van Fraassen	168
6. 4	Tres estrategias antirrealistas en contra del argumento a favor del realismo	170
6. 5	La metainducción pesimista sobre la historia de la ciencia	171
6. 6	La contraofensiva realista contra la metainducción pesimista	175
6. 7	Las hipótesis antirrealistas son una mejor explicación del éxito predictivo	177
6. 8	La circularidad de la inferencia a la mejor explicación	179
6. 9	Un argumento bayesiano a favor del realismo	182
PARTE II: Estudio de casos		188
CAPÍTULO 7	La tabla periódica de los elementos de Mendeléiev	189
7. 1	La teoría periódica de Mendeléiev: predicciones y evidencia conocida	189
7. 2	El predictivismo de Peter Lipton y de Patrick Maher.....	195
7. 3	Las críticas al predictivismo: ¿Fueron eficaces las predicciones de Mendeléiev?	200

7. 4 La perspectiva neutralista de Eric Scerri y John Worrall	203
7. 5 La disolución del problema según Colin Howson y Allan Franklin	207
7. 6 El predictivismo moderado y la acomodación genuina de la evidencia conocida	209
7. 7 La acomodación exitosa de los gases nobles	213
7. 8 La evaluación de la posición de Stephen Brush.....	216
CAPÍTULO 8 Los orígenes y el desarrollo de la teoría cuántica de la luz (1905 – 1927)	220
8. 1 Introducción: la hipótesis del cuanto de luz y su relación con la física de la época	220
8. 2 La evidencia que confirma la teoría: el efecto fotoeléctrico	223
8. 3 El efecto fotoeléctrico es una anomalía de las teorías físicas rivales	228
8. 4 La predicción del efecto fotoeléctrico y la prueba experimental de Robert Millikan	232
8. 5 La evidencia que confirma la teoría: el efecto Compton	234
8. 6 El predictivismo de Arthur Compton	239
8. 7 Las críticas al predictivismo de Compton.....	242
8. 8 ¿Fue un punto de inflexión?: La posición de los físicos antes y después de 1923	245
8. 9 ¿Más evidencia a favor del predictivismo? La contrastación de la predicción de la teoría de Bohr-Kramers-Slater	250
8. 10 Acerca de la existencia de los cuantos de luz	253
CONCLUSIÓN Un predictivismo y un realismo moderados	260
BIBLIOGRAFÍA	275

INTRODUCCIÓN

Enfoque normativo y descriptivo de la confirmación de teorías

Quando en 1871 escribí un artículo acerca de la aplicación de la ley periódica a la determinación de las propiedades de elementos *hasta entonces no descubiertos (hitherto undiscovered)*, no pensé que viviría para ver la *verificación (verification)* de estas consecuencias de la ley, pero así fue. Se describieron tres elementos, *eka-boro, eka-aluminio y eka-silicio*; y ahora, después de veinte años, he tenido el gran placer de verlos descubiertos. Por mi parte, considero a L. de Boisbaudran, Nilson y Winkler, que descubrieron estos elementos, como los *verdaderos corroboradores (true corroborators)* de la ley periódica. Sin ellos, no se habría aceptado *en la medida en la que lo es ahora (Mendeléiev 1897, p. 26, nota 14, énfasis nuestro)*.

Podemos extraer algunas consecuencias que no corresponden a ninguna de las leyes experimentales *previamente conocidas* [...] que pueden ser contrastadas (*soumises au contrôle*) mediante hechos. Si representan exactamente las leyes experimentales que gobiernan estos hechos, el valor de la teoría *aumentará* [...] Por lo tanto, el mayor grado (*plus haut degré*) de contrastación ocurre cuando indica, *por adelantado (par avance)*, cosas que *solo se descubrirán en el futuro (que l'avenir seul découvrira)*. Y cuando la experiencia confirma las predicciones (*confirmer les prévisions*) de nuestra teoría, *fortalecemos nuestra convicción de que las relaciones que establece nuestra razón entre nociones abstractas corresponden verdaderamente a relaciones entre cosas* (Duhem 1906, pp. 40-41, énfasis nuestro).

El predictivismo es una posición epistemológica, de una larga tradición, muy aceptada entre los científicos y los filósofos de la ciencia. Como podemos advertir en los dos fragmentos citados, el predictivismo sostiene, en sus aspectos generales, que *solo, o principalmente*, la verificación de las predicciones novedosas de una teoría confirma dicha teoría. Esta posición condujo a un debate bien definido, por lo menos, a partir de la década de 1980, dentro de las teorías de la confirmación de teorías científicas, que podemos llamar “el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida”. En efecto, si la verificación de las predicciones de una teoría, esto es, por ahora, de consecuencias que expresan fenómenos aún no observados, confirma esa teoría, la acomodación de la evidencia conocida, esto es, por ahora, la capacidad de una teoría para dar cuenta de ciertos fenómenos ya observados, ¿También confirma dicha teoría? En este sentido, el debate puede expresarse, en su forma más general, de la siguiente manera: ¿Cuál de estas prácticas científicas incrementa, *ceteris paribus*, en mayor medida, el grado de confirmación de una teoría: la verificación de las predicciones novedosas de esa teoría

o el éxito de esa teoría en la acomodación de la evidencia conocida? Las posiciones predictivistas sostienen, en general, que la verificación de las predicciones novedosas de una teoría tiene una ventaja confirmatoria sobre la acomodación de la evidencia conocida, ya sea porque sostienen que incrementa en mayor medida que la acomodación de la evidencia conocida el grado de confirmación de esa teoría o porque sostienen, en su versión más fuerte, que *solo* la verificación de las predicciones novedosas confirma una teoría, es decir, que la acomodación de la evidencia conocida no confirma, en absoluto, una teoría.

El predictivismo, al menos, en su versión moderada, además de recibir tradicionalmente mayor apoyo por parte de los científicos y los filósofos de la ciencia, y quizás motivado por ello, tiene mucha fuerza intuitiva. En efecto, la explicación de los fenómenos ya conocidos, al menos, de los de mayor relevancia, parece un requisito mínimo de toda teoría empíricamente adecuada; mientras que, por otra parte, como podemos advertir en los fragmentos citados, la observación de un fenómeno previamente desconocido que, además, fue anticipado por una teoría, produce un incremento en la confianza de los científicos en dichas teorías. Sin embargo, pese a su fuerza intuitiva, la justificación epistemológica del predictivismo no es una tarea sencilla. Nos referiremos a este problema como “el problema de la justificación del predictivismo” y, como señalamos más adelante, evaluaremos tres marcos normativos que ofrecen una justificación: las teorías *deductivistas* de la confirmación, la teoría *bayesiana* de la confirmación y la *inferencia a la mejor explicación*. Ahora bien, ante todo, hay que definir qué es una predicción novedosa y en qué consiste, por el contrario, que una teoría acomode exitosamente una evidencia conocida. Esta tarea tampoco es sencilla y, en la actualidad, no hay un consenso general entre los filósofos acerca del significado de estos conceptos. Nos referiremos a ese problema como “el problema de la definición” y evaluaremos, por una parte, las concepciones de la predicción que se han propuesto: la concepción *heurística* y la concepción *epistémica*; y, por otra, la interpretación de estas concepciones en el contexto de las teorías deductivistas y bayesiana de la confirmación.

Por su parte, el predictivismo también se encuentra estrechamente relacionado con otros dos debates de una larga tradición en la filosofía general de las ciencias: los debates acerca de la justificación epistémica de las llamadas “estrategias *ad hoc*” y acerca del realismo científico. En efecto, el predictivismo ha asociado, usualmente, las estrategias sospechosamente *ad hoc* de modificar, *post factum*, el conjunto de las hipótesis auxiliares de un sistema teórico, o bien, directamente, de cambiar la teoría de dicho sistema teórico, justamente, con la acomodación de la evidencia conocida. En este sentido, si, por ejemplo, la modificación *post factum* del conjunto de las hipótesis auxiliares de un sistema teórico es una práctica metodológica y

epistémicamente inaceptable, entonces, también lo es la acomodación de la evidencia conocida. Evaluaremos este debate prestando especial atención a la relación entre la aceptabilidad epistémica de las estrategias *ad hoc* y la acomodación *genuina* de la evidencia conocida.

Por otra parte, el éxito sistemático de las predicciones novedosas de una teoría ha sido empleado, usualmente, como una premisa central de los argumentos más fuertes a favor del realismo científico. En general, el realismo sostiene que una interpretación realista de las teorías (por ejemplo, que las teorías científicas de las ciencias maduras son verosímiles y que sus términos teóricos típicos refieren a entidades existentes) es la mejor explicación del éxito sistemático de las predicciones novedosas de una teoría, o bien, en el marco de una teoría probabilística de la confirmación, como la bayesiana, que el éxito de las predicciones novedosas de una teoría (esto es, la evidencia) incrementa, incluso si partimos de una posición antirrealista, el grado de confirmación de la hipótesis de una interpretación realista de las teorías científicas. Evaluaremos el debate acerca del realismo prestando especial atención a la relación entre la verificación sistemática de las predicciones novedosas de una teoría y la probabilidad de que sus términos teóricos típicos refieran a entidades existentes.

Por nuestra parte, defenderemos una posición predictivista, esto es, argumentaremos que la verificación de las predicciones novedosas de una teoría incrementa su grado de confirmación *en mayor medida* que la acomodación de la evidencia ya conocida. Sin embargo, rechazaremos el predictivismo más fuerte y argumentaremos a favor de un predictivismo moderado, según el cual la capacidad de una teoría para acomodar, por ejemplo, de manera simple y unificada, las anomalías de las teorías disponibles, también incrementa, aunque *en menor medida*, el grado de confirmación de la teoría. Mostraremos, entonces, que el esquema normativo que ofrece la teoría bayesiana de la confirmación es comparativamente superior al de las teorías deductivistas y al que ofrece el argumento sustentado en una inferencia a la mejor explicación.

Por otra parte, sostendremos una posición realista, según la cual la teoría bayesiana de la confirmación muestra que el éxito sistemático de las predicciones novedosas de las teorías de las ciencias maduras incrementa la probabilidad de la hipótesis de una interpretación realista de las teorías, esto es, incrementa el grado de creencia en que los términos teóricos típicos de esas teorías refieran a entidades existentes. Sin embargo, argumentaremos a favor de un realismo moderado, según el cual el éxito sistemático de las predicciones novedosas de una teoría no implica ni la verdad de esa teoría, ni la referencia de todos sus términos teóricos.

En función de estas hipótesis de trabajo, la estructura de la tesis está organizada de la siguiente manera. Ante todo, consta de dos partes bien definidas que dan cuenta del enfoque que creemos más adecuado a la hora de evaluar, en general, las teorías de la confirmación y, en especial, el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida y el debate acerca del realismo científico, esto es, un enfoque normativo y descriptivo. La primera parte, si bien está apoyada por ejemplos de la práctica científica, tiene un objetivo normativo: la evaluación de los principales argumentos a favor y en contra del predictivismo, de las concepciones de la predicción novedosa, de la aceptabilidad epistémica de las estrategias *ad hoc*, y su relación con la acomodación de la evidencia conocida, que se han propuesto en el contexto de las teorías deductivistas y de la teoría bayesiana de la confirmación y en el contexto de la inferencia a la mejor explicación. Además, también evaluaremos los principales argumentos que relacionan el éxito predictivo de las teorías con el realismo científico, en especial, en el contexto de la inferencia a la mejor explicación y de la teoría bayesiana de la confirmación. Sin embargo, como señalamos, creemos que una investigación más adecuada de estos problemas epistemológicos debe incorporar un enfoque descriptivo, esto es, debe analizar que ocurre, de hecho, en la práctica científica. Por consiguiente, la segunda parte está dedicada al estudio de dos casos: uno perteneciente a la historia de la química: la elaboración de la tabla periódica de Mendeléiev; y el otro, a la historia de la física: el origen y el desarrollo inicial de la teoría *cuántica* de la luz entre los años 1905 y 1927.

La primera parte consta de 6 capítulos. En el capítulo 1, presentamos el problema epistemológico central de esta tesis: el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida. Al comienzo, exponemos un breve estado de la cuestión y delimitamos los términos específicos del debate. Elucidamos los conceptos de *predicción novedosa* y de *acomodación de la evidencia conocida*, criticamos la concepción heurística y defendemos una concepción epistémica de la predicción, según la cual las predicciones son enunciados que se infieren de una teoría, pero que *no se conocen* en el momento en el que se la formula. Por ello, la predicción supone *una incertidumbre* respecto de la verdad de ciertas consecuencias de la teoría. En suma, evaluamos lo que llamamos “el problema de la definición”. En este capítulo, además, sostenemos que el predictivismo, aún con algunas variantes, sigue siendo la posición mayoritaria entre los científicos y filósofos de la ciencia.

Luego, presentamos las primeras críticas al predictivismo, entre ellas, las realizadas por los filósofos empiristas e inductivistas quienes afirman que el predictivismo puede tener mucha fuerza intuitiva, pero que no puede justificarse en el contexto de una teoría lógica de la

confirmación. El supuesto valor confirmatorio especial de las predicciones novedosas es, por consiguiente, solo una ilusión de carácter psicológico. Según los empiristas lógicos, persisten las mismas dificultades: en una teoría lógica de la confirmación, *el momento* en el que se conoce la evidencia es lógicamente irrelevante. Planteamos, entonces, el problema central del que nos ocuparemos, esto es, “el problema de la justificación del predictivismo”. Para ello, presentamos el marco teórico en el cual lo evaluaremos, es decir, exponemos los aspectos generales y las principales diferencias entre las dos teorías rivales de la confirmación más aceptadas: la teoría *bayesiana* y las teorías *deductivistas*. Además, también presentamos las tres principales alternativas al predictivismo más fuerte: un *predictivismo más moderado*, un *antipredictivismo moderado* y una *posición neutralista*. Estas tres posiciones rechazan que *solo* la verificación de las predicciones confirme una teoría, por lo que afirman, en mayor o menor medida, que la acomodación de la evidencia conocida también es un caso de confirmación de teorías.

En el capítulo 2, abordamos el problema de la justificación *deductivista* del predictivismo y evaluamos con mayor detalle las dificultades epistemológicas que se plantearon en el capítulo 1. Argumentamos que las teorías deductivistas tienen problemas normativos y descriptivos para apoyar la adopción de una posición predictivista. Ante todo, porque son teorías lógicas y cualitativas de la confirmación. En efecto, mostramos que las teorías deductivistas de la confirmación tienen que incorporar alguna condición epistémica en su relación de confirmación para evaluar el problema del predictivismo. Por esa razón, esas teorías de la confirmación no son puramente lógicas, sino lógicas e históricas, en el sentido de que la relación de confirmación no depende exclusivamente de las proposiciones que describen la evidencia y una determinada teoría, sino que, además, también depende de un elemento epistémico. Este elemento es el *conocimiento previo*, cuyo contenido debe determinarse *históricamente*, esto es, mediante un análisis de las teorías que, de hecho, fueron aceptadas en determinado momento histórico. Por otra parte, la justificación deductivista del predictivismo tiene dificultades de carácter descriptivo. En efecto, mostramos que la historia de la ciencia proporciona casos en los que la evidencia conocida fue considerada por la comunidad científica como evidencia que confirmaba una teoría. Este hecho es particularmente relevante, debido a que condujo a los defensores del predictivismo a revisar el concepto de predicción novedosa, de modo tal que esos ejemplos también fueran considerados casos de predicción.

Por esa razón, analizamos la revisión del concepto mismo de predicción, consolidada en la concepción heurística, para la cual una predicción es una consecuencia observacional de una teoría, *cuyo conocimiento no fue usado* en la construcción de dicha teoría. Formulamos, luego,

las principales críticas a esta posición, que consideramos más ambigua y menos intuitiva que la concepción epistémica, ya que requiere definir las condiciones bajo las cuales el conocimiento de la evidencia fue, de hecho, usado en la construcción de una teoría. También argumentamos que tiene consecuencias epistémicamente inaceptables, debido a que requiere algún tipo de compromiso de carácter psicologista o biografalista. En suma, en este capítulo sostenemos que la concepción de la predicción más clara e intuitiva, que evita este tipo de compromisos epistémicamente indeseados, es la concepción *epistémica*. Según esta posición, aquellos casos de la historia de la ciencia son casos genuinos de acomodación que confirman la teoría.

En el capítulo 3, analizamos con mayor detalle la relación entre la aceptabilidad epistémica de las estrategias *ad hoc* y la justificación de un predictivismo moderado, en especial, la relación entre estas estrategias y la acomodación de la evidencia conocida. Evaluamos las posiciones con respecto a las estrategias *ad hoc* en el contexto de las teorías deductivistas y sus principales críticas y luego señalamos que, si bien los criterios de aceptabilidad ofrecidos son intuitivos, resultan ambiguos y difíciles de precisar. Adoptamos como punto de partida un punto de vista holista respecto de la confirmación, esto es, una posición según la cual ninguna hipótesis o teoría implica consecuencias observacionales *por sí sola*, sino solo en conjunción con un conjunto heterogéneo de hipótesis auxiliares que no pertenecen a la teoría. Por ello, lo que se contrasta en cada caso no es una teoría aislada, sino un sistema teórico compuesto por una teoría y un conjunto de hipótesis auxiliares (e incluso de otras teorías presupuestas). Por consiguiente, la evidencia no refuta (ni confirma) una hipótesis o teoría específica, sino el sistema teórico como un todo.

En el capítulo 4, evaluamos la justificación del predictivismo en el contexto de la teoría bayesiana de la confirmación y sostenemos que proporciona un esquema de la confirmación que permite la defensa de un predictivismo moderado y que, a su vez, también describe adecuadamente la práctica científica. Mostramos, además, que el bayesianismo permite superar las desventajas epistemológicas de las teorías deductivistas presentadas en los capítulos previos, por lo que resulta comparativamente superior a estas. Señalamos que la teoría bayesiana de la confirmación hace posible medir un incremento en el grado de apoyo que cierta evidencia le otorga a una teoría, de manera que permite diferenciar el grado en el que las predicciones novedosas y la acomodación de la evidencia conocida confirman una teoría, lo cual constituye un resultado esencial para la defensa de un predictivismo moderado. Presentamos luego, de manera esquemática, los principales elementos del bayesianismo: el teorema de Bayes, *el principio de coherencia probabilística* y *el principio de condicionalización*. Distinguimos, además,

las tres versiones actuales del bayesianismo: *el bayesianismo ortodoxo, moderado y objetivista*. Finalmente, ofrecemos una interpretación de la concepción epistémica de la predicción y de la acomodación genuina de la evidencia conocida en el contexto de la teoría bayesiana de la confirmación.

Cuestionamos la versión ortodoxa del bayesianismo sobre la base de una versión moderada y argumentamos que la interpretación bayesiana de las predicciones novedosas permite la defensa de un predictivismo moderado. Según el bayesianismo, existe confirmación si la *probabilidad posterior de una teoría* es mayor que su *probabilidad previa*. Si la evidencia en cuestión es una predicción, su probabilidad dado el conocimiento previo es menor que 1, de manera que, por teorema de Bayes, la probabilidad posterior será, *ceteris paribus*, mayor que su probabilidad previa y, cuanto menor sea la probabilidad de la evidencia dado el conocimiento previo, mayor será la diferencia entre la probabilidad posterior y la probabilidad previa, por lo que mayor será el incremento en el grado de confirmación de la teoría. Señalamos, sin embargo, que el esquema de la confirmación presenta un problema, de larga tradición en el bayesianismo, conocido como “el problema de la vieja evidencia”. En efecto, si la evidencia se conoce, su probabilidad respecto del conocimiento previo es 1, de manera que, por teorema de Bayes, la probabilidad posterior de la teoría siempre será, *ceteris paribus*, igual a su probabilidad previa, por lo que la evidencia conocida no confirma una teoría. Por consiguiente, el bayesianismo sería, *en sí mismo*, una posición predictivista fuerte. Por esa razón, en este capítulo analizamos con detalle este problema, diferenciado entre los aspectos sincrónico y diacrónico del mismo. Luego, presentamos las primeras soluciones que fueron propuestas para este problema, en especial, la llamada “respuesta contrafáctica”. Concluimos afirmando que la defensa de un predictivismo moderado debe proporcionar, necesariamente, una solución al problema de la vieja evidencia.

En suma, en este capítulo, mostramos que la condición de que la probabilidad de la evidencia dado el conocimiento previo sea menor que 1 es una condición suficiente, pero no necesaria, para que la evidencia confirme una teoría; que la probabilidad de la evidencia conocida respecto del conocimiento previo es menor que 1; pero que una defensa bayesiana más adecuada de un predictivismo moderado es posible mediante otro esquema de la confirmación, sustentado en otra formulación del teorema de Bayes, equivalente a la usual, que mida la diferencia entre las *likelihoods* de la evidencia, esto es, entre la probabilidad de la evidencia dada una teoría y su probabilidad dada la negación de dicha teoría. Argumentamos que ese esquema bayesiano no solo permite la defensa de un predictivismo moderado, sino que, además, ofrece una mejor elucidación de los conceptos de *independencia, anomalía, simplicidad y poder unificador* de

una teoría, que presentamos en el capítulo 3 en relación con la justificación del predictivismo y aceptabilidad epistémica de las estrategias *ad hoc*. Además, introducimos los conceptos de *heterogeneidad* de la evidencia y de *cantidad de información* de una predicción, que también permiten sostener que la acomodación genuina de la evidencia conocida confirma una teoría.

En el capítulo 5, analizamos y evaluamos uno de los argumentos más intuitivos a favor del predictivismo, sustentado en una inferencia a la mejor explicación que, si bien no lo prueba concluyentemente, debido a que no es deductivamente válido, ofrece una buena razón para creer en él. Reconstruimos el argumento según el cual el éxito sistemático de las predicciones novedosas de una teoría es la mejor explicación de por qué esa teoría implica la evidencia. Además, evaluamos algunas críticas al *explanans* y al *explanandum* del argumento y señalamos que falla, al menos, por tres razones: (1) las hipótesis que se supone que explican por qué la teoría implica la evidencia no explican eso, sino por qué la evidencia es verdadera; (2) esas hipótesis no son rivales, esto es, no explican el mismo hecho: *la hipótesis de la verosimilitud* de la teoría explica un hecho necesario (por qué la teoría implica la evidencia) y *la hipótesis de la construcción* explica un hecho contingente (por qué la teoría da cuenta de un fenómeno); y (3) la premisa central (la conexión explicativa entre la hipótesis de la verosimilitud de la teoría y el éxito sistemático de sus predicciones novedosas) no es suficiente para justificar la atribución de un valor confirmatorio especial a la verificación de una predicción novedosa. Examinamos, además, una revisión del argumento, según la cual el valor confirmatorio especial de las predicciones novedosas no es el resultado de una virtud de las predicciones, sino de una deficiencia de la acomodación. La acomodación tiene menor valor confirmatorio porque siempre existe el riesgo de que la explicación de por qué la teoría implica la evidencia sea *artificial* (en otras palabras, una explicación *ad hoc*). Mostramos que el riesgo es inaceptable porque, en última instancia, el uso de una estrategia *ad hoc* conlleva la pérdida de ciertas virtudes epistémicas de una teoría como, por ejemplo, la simplicidad y el poder unificador.

Por último, analizamos las tensiones que existen entre la inferencia a la mejor explicación y la teoría bayesiana de la confirmación. Señalamos que, aparentemente, el bayesianismo y la inferencia a la mejor explicación están en conflicto. Un conocido argumento sostiene que son posiciones incompatibles: si adoptamos la teoría bayesiana, inferir según una inferencia a la mejor explicación, nos hará comportarnos de manera probabilísticamente incoherente. El punto de este argumento es que interpreta la inferencia a la mejor explicación como una regla que *ajusta* las probabilidades subjetivas teniendo en cuenta las virtudes explicativas de una teoría. La incorporación de esas virtudes conduce a un comportamiento probabilísticamente

incoherente, por ejemplo, a aceptar apuestas pese a que, de antemano, sabemos que, evaluadas en su conjunto, nos darán una pérdida. Un argumento más débil sostiene que, si adoptamos la teoría bayesiana, inferir, además, según la regla de la inferencia a la mejor explicación es *evidencialmente irrelevante*, esto es, las virtudes explicativas de una teoría no afectan su grado de confirmación: solamente las probabilidades previas afectan el grado de confirmación de una teoría.

En el capítulo 6, el último de la primera parte, estudiamos la relación entre el predictivismo y el debate acerca del realismo científico y mostramos que, si bien la verdad (o falsedad) de uno no implica la verdad (o falsedad) del otro (y viceversa), los dos están estrechamente relacionados. Para ello, empleamos la caracterización del realismo que solo se compromete con (1) *la verosimilitud* de las teorías de las ciencias maduras y (2) la existencia de las entidades referidas por los términos teóricos *típicos* de esas teorías. En este contexto, el debate entre el realismo y el antirrealismo puede formularse, en general, como sigue: ¿El éxito sistemático de las predicciones novedosas de una teoría garantiza la creencia en la verosimilitud de esa teoría y en la existencia de las entidades inobservables postuladas por dicha teoría? La conexión con el predictivismo es directa: el éxito predictivo es una premisa central del argumento más usual a favor del realismo, conocido como “el argumento definitivo a favor del realismo”.

Procedemos, entonces a reconstruir y evaluar este argumento, el cual, al igual que el argumento que analizamos en el capítulo 5, es un argumento abductivo, o del *no milagro*, que se sustenta en una inferencia a la mejor explicación. Por esa razón, afirmamos que las críticas estructurales a este tipo de argumento se aplican, consecuentemente, tanto al argumento a favor del realismo, como al argumento a favor del predictivismo. Mostramos que el argumento concluye, en líneas generales, que los compromisos realistas (esto es, la verosimilitud de las teorías y la referencia de sus términos teóricos) (a) explican el éxito sistemático de las predicciones novedosas de una teoría, (b) que lo explican satisfactoriamente y (c) que no existe ninguna explicación mejor o igualmente buena. Llegamos, así, a la conclusión de que estos argumentos presuponen una premisa implícita: si una hipótesis es la mejor explicación disponible de un hecho, entonces, es *razonable* creer en ella.

En este capítulo, además, reconstruimos y evaluamos los principales argumentos en contra del argumento a favor del realismo, cuyas estrategias apuntan a las tesis (a), (b), (c) y, principalmente, a la premisa implícita. La conocida “metainducción pesimista sobre la historia de la ciencia” critica (a y b), esto es, que los compromisos realistas no son una buena explicación del éxito sistemático de las predicciones novedosas de una teoría. El segundo contraargumento

rechaza (c), esto es, que, incluso, si el realismo ofreciera una buena explicación del éxito predictivo, no es la mejor explicación porque hay explicaciones antirrealistas mejores o igualmente buenas. Por último, el tercer contraargumento sostiene que el argumento es circular. El antirrealismo rechaza que las virtudes explicativas de una teoría (virtudes pragmáticas) sean una buena razón para creer en la verdad de esa teoría: solo las virtudes epistémicas (la adecuación empírica) lo son. El argumento es circular porque presupone (esto es, que las virtudes explicativas de una teoría, por ejemplo, que es la mejor explicación de un hecho, son una buena razón para creer en ella) lo que hay que justificar (esto es, que hay que creer en los compromisos realistas porque son la mejor explicación del éxito sistemático de las predicciones novedosas de una teoría). Consideramos que esta objeción, a diferencia de las anteriores, afecta significativamente la fuerza inductiva de este argumento a favor del realismo y, en general, la de los argumentos basados en la inferencia a la mejor explicación.

En la última sección del capítulo 6, ofrecemos un argumento bayesiano a favor del realismo que no apela a las virtudes explicativas de una teoría, sino exclusivamente a las epistémicas, las cuales están expresadas en las probabilidades previas. El argumento sostiene que la posición realista es una consecuencia directa del esquema bayesiano de la confirmación: si evaluamos la confirmación de la hipótesis realista y la de la antirrealista, entonces, el hecho de que se verifique una predicción novedosa confirma *en mayor medida* la hipótesis realista que la antirrealista. El éxito sistemático de las predicciones novedosas de una teoría hace más probable (esto es, incrementa el grado de creencia) que la hipótesis realista sea verdadera a que no lo sea, es decir, hace más probable la hipótesis realista que la antirrealista. Concluimos, entonces, que la teoría bayesiana ofrece una defensa de un realismo moderado que es comparativamente superior a la que ofrece el argumento sustentado en la inferencia a la mejor explicación.

En la segunda parte de la tesis, nos enfocamos en los aspectos descriptivos de los problemas epistemológicos planteados en la primera parte. Esta parte consta de dos capítulos. En el capítulo 7, estudiamos un caso perteneciente a la historia de la química: la invención de la tabla periódica de Mendeléiev. Introducimos el caso definiendo los principales conceptos involucrados: *peso atómico*, *propiedades fisicoquímicas* y *periodicidad*. Luego, identificamos las predicciones novedosas de su sistema periódico y describimos la evidencia conocida que logró acomodar. Inmediatamente, procedemos a evaluar las tesis predictivistas, antipredictivistas y neutralistas, además de una posición que *disuelve* el problema, esto es, que afirma que la evidencia confirmó el sistema periódico con independencia de que fuera una predicción novedosa o una evidencia acomodada. Analizamos las principales críticas al predictivismo, ante

todo, la cuestión de si la teoría de Mendeléiev tuvo, de hecho, un éxito sistemático en sus predicciones. Los filósofos predictivistas sostienen que el descubrimiento de tres nuevos elementos desconocidos (esto es, la verificación de las predicciones novedosas) incrementó, al menos, en mayor medida, el grado de confirmación de la teoría de Mendeléiev que la acomodación satisfactoria de los 62 elementos conocidos y de la mayoría de la evidencia química conocida hasta ese momento. Al respecto, argumentamos que la teoría bayesiana de la confirmación ofrece un esquema normativo, tal como fue expuesto en el capítulo 4, que permite, al menos en este caso, la defensa de un predictivismo moderado. Concluimos que el descubrimiento de los tres nuevos elementos, la determinación experimental de algunas de sus propiedades fisicoquímicas y la corrección del peso atómico de algunos de los elementos ya conocidos (las predicciones novedosas) incrementaron, en mayor medida, el grado de confirmación de la teoría de Mendeléiev que la acomodación de los 62 elementos conocidos y de la mayoría de la evidencia conocida. También argumentamos que, debido a que dicha evidencia conocida era anómala para las teorías periódicas disponibles, que era heterogénea, que proporcionaba mayor cantidad de información, y más precisa, con respecto al resto de la evidencia conocida, y que fue acomodada de una forma simple y unificada por la teoría de Mendeléiev, fue un caso de acomodación genuina que confirmó la teoría.

En el capítulo 8, estudiamos un caso perteneciente a la historia de la física: los orígenes y el desarrollo inicial de la teoría *cuántica* de la luz entre los años 1905 y 1927. Comenzamos por señalar que este caso ha sido menos estudiado que el de la invención de la tabla periódica de Mendeléiev, por lo que, si bien existen trabajos históricos acerca de los orígenes y el desarrollo de la hipótesis del cuanto de luz, no disponemos todavía de una evaluación epistemológica detallada del problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida. Para abordar este tema, comenzamos por introducir los conceptos necesarios para comprender la hipótesis del cuanto de luz y analizamos su relación con la teoría rival más aceptada, la teoría ondulatoria, de la cual señalamos sus diversas anomalías. Describimos las evidencias que se consideraron confirmatorias de la teoría cuántica de la luz, indicando que solo evaluaremos dos: el efecto fotoeléctrico y el efecto Compton. Afirmamos que no resulta claro si cada una de esas evidencias fue un caso de predicción novedosa o de acomodación genuina de la evidencia conocida. Argumentamos que el efecto fotoeléctrico fue un caso de acomodación genuina de la evidencia conocida (debido a que ya había sido observado y descrito cualitativamente con anterioridad a la formulación de la hipótesis del cuanto de luz) que incrementó el grado de confirmación de la teoría porque (a) era una anomalía para la teoría ondulatoria; (b) era una evidencia que, en principio, parecía independiente del resto de los fenómenos concernientes a

la relación entre la radiación y la materia que la teoría cuántica unificó de una manera simple; y (c) realizó predicciones independientemente contrastables: la ecuación fotoeléctrica, la cual implica que hay una dependencia lineal entre la energía cinética máxima de los fotoelectrones y la frecuencia de la radiación incidente.

Por otra parte, argumentamos que el efecto Compton fue un caso de acomodación de la evidencia conocida (ya que los fenómenos concernientes al efecto ya habían sido observados por el propio Compton) que incrementó el grado de confirmación de la teoría cuántica porque era una anomalía para la teoría ondulatoria. Además, mostramos que el efecto Compton no solo acomodó la evidencia conocida, sino que también realizó una predicción novedosa: el retroceso de los electrones. Sostenemos que la verificación de esa predicción incrementó en mayor medida el grado de confirmación de la teoría cuántica que la acomodación satisfactoria de la evidencia conocida acerca del efecto fotoeléctrico e, incluso, que la verificación de las predicciones novedosas del efecto fotoeléctrico porque aquella fue una predicción cualitativa que predecía un fenómeno que no había sido observado, mientras que ésta fue una predicción cuantitativa que precisaba una relación que ya había sido descrita de una manera cualitativa. Luego, evaluamos la posición predictivista de Compton y argumentamos que, de hecho, su posición coincide con la de un predictivista moderado. Concluimos que el esquema bayesiano, desarrollado en el capítulo 4, apoya la defensa de un predictivismo moderado, según el cual la acomodación simple y unificada de la evidencia conocida, pero anómala, heterogénea, que proporciona mayor cantidad de información, y más precisa, respecto del resto de la evidencia conocida, también confirma la teoría.

Por último, analizamos la *naturaleza* de los cuantos de luz y evaluamos si la verificación de las predicciones novedosas del efecto fotoeléctrico y del efecto Compton incrementó el grado de confirmación de la interpretación realista de la teoría cuántica de la radiación, en especial, si incrementó la probabilidad de la creencia en que los términos teóricos típicos de la teoría, por ejemplo, los “cuanto de luz”, refieren a entidades existentes. Concluimos mostrando que el argumento bayesiano a favor de un realismo moderado, ofrecido en la sección 9 del capítulo 6, apoya la posición predictivista según la cual el éxito sistemático de las predicciones novedosas de la teoría cuántica de la luz incrementa el grado de creencia (incluso si partimos de una posición antirrealista) en la existencia de los cuantos de luz, esto es, de las entidades teóricas centrales postuladas por la teoría.

PARTE I: Predicción, acomodación y confirmación

CAPÍTULO 1

El problema epistemológico: predicción versus acomodación de la evidencia

1.1 El origen y los primeros desarrollos del problema

El predictivismo tiene una larga tradición filosófica y, aún hoy, con algunas modificaciones, sigue siendo la posición mayoritaria entre los científicos y filósofos de la ciencia. El predictivismo suele considerarse sugerido de manera clara, aunque de forma incipiente, por Christian Huygens (1690, p. x), quien, al describir las características metodológicas de la ciencia empírica, sostuvo que

[...] mientras los geómetras prueban sus proposiciones mediante principios ciertos e incontestables, aquí los principios se verifican por las conclusiones que se extraen de ellos [...] cuando las cosas, que han sido demostradas suponiendo estos principios, se corresponden de manera perfecta con los fenómenos que la experiencia nos ha hecho advertir; sobre todo, cuando hay un gran número de ellos, y además, principalmente, cuando se imaginan y se prevén fenómenos nuevos, los cuales deben seguirse de las hipótesis que se emplean, y cuando se encuentra que en esto el efecto responde a nuestra previsión¹

En este pasaje de Huygens puede encontrarse tanto una primera versión del método de la hipótesis (un nombre antiguo para lo que hoy conocemos como método hipotético-deductivo), como una convicción predictivista clara con respecto a lo que, en la actualidad, conocemos como confirmación de teorías.² Como podemos advertir, según Huygens, los principios se verifican mediante las conclusiones que se extraen de ellos. Hoy diríamos, de manera un poco más precisa, que las hipótesis y teorías científicas se confirman mediante la verificación de sus consecuencias observacionales. A su vez, Huygens sostiene que esta verificación se produce, *principalmente*, cuando las conclusiones que se extraen de esos principios se corresponden con fenómenos nuevos, esto es, con los fenómenos previstos por los principios que aún no han sido

¹ Las traducciones al español de todos los pasajes citados, siempre que no se aclare lo contrario, son de nuestra autoría.

² Musgrave (1974), Gardner (1982) y Collins (1994), entre otros, consideran que las primeras ideas predictivistas pueden encontrarse incluso en los trabajos de científicos y filósofos anteriores a Huygens, como Clavius, Descartes y Leibniz. Sin embargo, creemos que las ideas predictivistas de estos filósofos aún se encuentran vinculadas a especulaciones filosóficas más generales que no pueden encuadrarse, como en el caso de Huygens, dentro del marco de un análisis propiamente metodológico de la ciencia.

advertidos mediante la experiencia. Como señalaremos más adelante, en la actualidad, una posición que defiende un tipo de predictivismo sostiene que las teorías se confirman, en mayor medida, o principalmente, mediante la verificación de sus consecuencias observacionales que no se conocen en el momento en el que se formula la teoría.

Este origen común de las primeras ideas predictivistas y del incipiente desarrollo del método hipotético-deductivo permite pensar que es probable que la reputación del método hipotético-deductivo, ya sea positiva o negativa, haya repercutido, a su vez, en la defensa del predictivismo. En efecto, algunos de los primeros críticos del predictivismo fueron los filósofos de orientación inductivista y empirista, como John Stuart Mill y John Maynard Keynes. Según Stuart Mill (1843, p. 328), el predictivismo, esto es, "la recepción más favorable de una hipótesis [...] cuando ésta ha conseguido, además de dar cuenta de los hechos previamente conocidos, la anticipación y la predicción de otros [hechos] que luego han sido verificados experimentalmente, puede causar una impresión muy fuerte en personas ajenas a la ciencia, pero no debería ocurrir lo mismo en quienes se dedican a ella". En términos más precisos, Keynes (1921, p. 305) sostiene que "el valor especial de las predicciones [...] es completamente imaginario". Según Stuart Mill y Keynes, el predictivismo puede tener mucha fuerza intuitiva, pero no puede justificarse dentro de una teoría lógica de la confirmación, de manera que el supuesto valor epistémico especial que se le atribuye es completamente ilusorio y debe rechazarse.

En el siglo XX, los empiristas lógicos se enfrentaron a un problema similar: las teorías de la confirmación que desarrollaron, sustentadas exclusivamente en las relaciones lógicas entre las proposiciones, no podían justificar el predictivismo, ya que, en estas teorías, el *momento* en el que se conocen las consecuencias observacionales de una teoría es lógicamente irrelevante (véanse, por ejemplo, Musgrave 1974 y Schlesinger 1987). Sin embargo, la mayoría de los empiristas lógicos, a diferencia de filósofos como Stuart Mill y Keynes, estaban motivados por, y defendían, el predictivismo, por lo que debían ofrecer una teoría de la confirmación que lo justificara. Rudolf Carnap (1966, p. 231), por ejemplo, fue un claro defensor del predictivismo, hasta el punto de afirmar que "el valor supremo de una nueva teoría consiste en su capacidad para predecir nuevas leyes empíricas". De esta manera, Carnap (1950) emprendió el desarrollo de una nueva teoría de la confirmación, de carácter inductivo y sustentada en la aplicación de una interpretación lógica del concepto de probabilidad, que pudiera medir el grado de apoyo empírico que la evidencia le proporciona a una hipótesis y que pudiera, entre otros objetivos, justificar el predictivismo. Sin embargo, este proyecto de investigación encontró rápidamente dificultades técnicas y conceptuales y fue abandonado por el propio Carnap.

Como señalamos al comienzo de esta sección, la reputación del método hipotético-deductivo afectó la defensa del predictivismo. Efectivamente, más allá del problema del predictivismo, las teorías de la confirmación, sustentadas en el método hipotético-deductivo, encontraron severas dificultades (entre ellas, quizás la más relevante sea la llamada “paradoja de la confirmación”), que fueron debilitando de una manera progresiva la confianza de los filósofos de la ciencia en este tipo de teorías de la confirmación y que, en consecuencia, motivaron el desarrollo de otras teorías.³ En consecuencia, el predictivismo, usualmente interpretado en un marco hipotético-deductivo de la confirmación, también se fue debilitando progresivamente. Por consiguiente, el predictivismo se enfrenta con un primer obstáculo: no puede justificarse mediante una teoría *exclusivamente deductivista* de la confirmación; de manera que emerge lo que llamaremos “el problema de la justificación del predictivismo”. Como analizaremos con mayor detalle más adelante, las respuestas a este problema supondrán, ya sea una complementación de las teorías deductivistas de la confirmación a partir de la introducción de otros elementos epistémicos en el análisis de la relación de confirmación, o bien el desarrollo de teorías de la confirmación que no sean deductivistas, sino que, por ejemplo, sean inductivistas en un sentido general.

1. 2 Teorías de la confirmación: las teorías deductivistas y la teoría bayesiana

En la presente sección, presentaremos la condición general de confirmación y los aspectos fundamentales de las que, en la actualidad, son las principales teorías de la confirmación adoptadas por los filósofos de la ciencia. Además, analizaremos las principales diferencias entre estas teorías de la confirmación y la relación de cada una de ellas con el predictivismo y, en general, con el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida. De esta manera, proporcionaremos una primera presentación general del marco teórico en el que evaluaremos el problema central de esta tesis.

Como señalamos, en la actualidad, todavía persiste una disputa entre las dos teorías rivales de la confirmación que tienen mayor consenso entre los filósofos de la ciencia. Por una parte, y en claro retroceso desde las últimas décadas, están las denominadas “teorías deductivistas” en

³ La conclusión de la paradoja de la confirmación, también conocida como “paradoja de los cuervos”, es, justamente, paradójica porque nos obliga, por razones lógicas, a sostener que la observación de un objeto cualquiera que, por ejemplo, no sea negro ni cuervo, confirma la hipótesis general de que todos los cuervos son negros, la cual, en un principio e intuitivamente, no está epistémicamente relacionada con esa observación particular. De esta manera, la paradoja pone de relieve en qué consiste, desde un punto de vista epistémico, que una observación sea evidencia para una hipótesis (para una presentación detallada de la paradoja, véase Hempel 1945a).

un sentido amplio (ya sean las inspiradas en el falsacionismo de Karl Popper (1959b), o bien las inspiradas en el confirmacionismo de Carl Hempel (1945a, 1945b y 1966)), debido a que estas teorías se sustentan, en última instancia, en la aplicación del método hipotético-deductivo y, en consecuencia, en la lógica clásica (véase Sprenger 2013, pp. 729-731). La condición general de confirmación de estas teorías es la siguiente (véase Cassini 2003, pp. 43-46):

E confirma T si y solo si $T \models E^4$

Donde T se refiere al sistema teórico ($T \& A$), esto es, a la conjunción entre la teoría T y el conjunto de las hipótesis auxiliares A que se necesitan para deducir E ; y donde E se refiere a la predicción condicional ($C \rightarrow O$) entre un enunciado observacional empíricamente contrastable O y un enunciado C que describe las condiciones iniciales del experimento. En consecuencia, si consideramos que las hipótesis auxiliares provienen, por lo general, pero no necesariamente, de otras teorías que se encuentran mejor confirmadas y que las condiciones experimentales iniciales están controladas, la confirmación de una teoría dependerá, por razones lógicas, solo de la verificación de sus consecuencias observacionales. Uno de los aspectos más fundamentales de la condición general de la confirmación deductivista es su carácter absoluto o cualitativo, esto es, el resultado de la contrastación deductivista de una teoría es una, y solo una, alternativa entre dos alternativas ya previstas: o bien la evidencia confirma, o corrobora (en la terminología de Popper), provisoriamente la teoría, o bien la evidencia refuta la teoría. Por consiguiente, las teorías deductivistas de la confirmación no ofrecen ninguna medida del grado de apoyo empírico que la evidencia le proporciona a una teoría, ni tampoco permiten determinar si una teoría está mejor confirmada que otra, puesto que son teorías puramente cualitativas.

En este punto, conviene señalar una diferencia relevante entre las teorías *confirmacionistas* (como la teoría de Hempel) y las *corroboracionistas* (como la teoría de Popper). Según estas últimas teorías, si la teoría se somete a contrastación y resiste la prueba, entonces la teoría ha sido corroborada, es decir, no ha sido refutada. Los confirmacionistas, por su parte, sostienen que en este caso ocurre algo más que el solo hecho de que la teoría ha sido contrastada y ha

⁴ Conviene aclarar que las teorías clásicas de la confirmación (por ejemplo, las de Carnap y Hempel) se referían solo a la confirmación de hipótesis. En adelante, sin embargo, nos referiremos a la confirmación de teorías, entendidas desde una perspectiva *holista* como sistemas de hipótesis heterogéneas ($T \& A$), debido a que es la manera más usual en la que se ha formulado el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida. En este sentido, como señalaremos con mayor detalle en el capítulo 3, lo que se contrasta no es una teoría aislada, sino un sistema teórico como un todo. Por estas razones, deberemos adaptar, en los casos que lo requieran, la terminología de origen a la que utilizaremos en esta tesis.

resistido la refutación. Según estos filósofos, la teoría ha sido confirmada, esto es, si bien la teoría no ha sido verificada, la evidencia le otorga a la teoría cierto grado de apoyo empírico. Sin embargo, la teoría confirmacionista, del mismo modo que la teoría corroboracionista, no proporciona ninguna medida del grado de apoyo empírico. Según estas teorías, incluso cuando se afirma que la teoría confirmada o corroborada es *altamente probable*, se está ofreciendo una caracterización absoluta y cualitativa de la confirmación que no depende de ninguna aplicación del cálculo matemático de probabilidades (véase Earman y Salmon 1992, pp. 44-48).

Por otra parte, en la teoría falsacionista, por ejemplo, solo las predicciones corroboran una teoría. Según Popper (1963, p. 36), “las confirmaciones solo cuentan si son el resultado de *predicciones arriesgadas*” (énfasis del autor). Para el falsacionismo, las teorías se corroboran si se someten a contrastaciones severas, esto es, a un tipo de contrastación que, en principio, podría refutarlas. Una teoría queda corroborada solo si resiste una contrastación severa sin ser refutada. Queda claro, entonces, que las consecuencias observacionales de una teoría que ya se conocen en el momento de su formulación no pueden corroborarla. Si en el momento en el que se formula una teoría ya conocemos que tiene una consecuencia observacional verdadera, entonces, esa evidencia no puede corroborarla porque no sirve como refutador potencial. Por otra parte, si conocemos que esa teoría tiene una consecuencia observacional falsa, entonces esa teoría ya nacería refutada desde el mismo momento de su formulación. En esta línea argumentativa, Popper (1963) enfatiza que los mejores refutadores potenciales de una teoría son aquellos que más riesgo implican, esto es, aquellas consecuencias observacionales de una teoría cuya verificación es más inesperada, o más improbable, a la luz del conocimiento previo. De esta manera, para Popper, solo las predicciones epistémicamente novedosas de una teoría, esto es, aquellas consecuencias observacionales de una teoría que no se conocen en el momento en el que se formula la teoría, pueden corroborarla.

La principal teoría rival de las teorías deductivistas es la *teoría bayesiana de la confirmación* que, en su interpretación subjetivista ortodoxa, puede considerarse, en la actualidad, como la línea de investigación con mayor aceptación entre los filósofos de la ciencia. En esta sección, solo señalaremos los aspectos más fundamentales de la teoría, puesto que, en el capítulo 4, analizaremos con mayor detalle la teoría, su relación con el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida y, por último, presentaremos una defensa bayesiana de un tipo de predictivismo moderado. La teoría bayesiana de la confirmación no es una teoría deductivista, sino de inducción probabilística que ofrece una medida del grado de apoyo empírico que la evidencia le confiere a una teoría. Por esta razón, la teoría bayesiana es una

teoría cuantitativa e incremental de la confirmación. Los supuestos fundamentales de la teoría de la confirmación bayesiana son dos: (1) la confirmación de una teoría ocurre cuando un agente individual incrementa su grado de creencia en la teoría dada la evidencia disponible; y (2) el grado de creencia de ese agente se interpreta como una función, la cual, a su vez, se identifica con la función de probabilidad del cálculo matemático de la probabilidad.

En una primera aproximación, podemos decir que la teoría bayesiana de la confirmación es una teoría acerca de cómo la adquisición de una nueva evidencia (en principio, ya sea conocida o desconocida) afecta nuestra creencia en la verdad de una teoría. Asimismo, la teoría considera que las creencias son graduables de acuerdo a su confianza, por lo que ya no contamos con una creencia en una proposición, entendida como un juicio *por sí o por no*, sino que cada individuo cuenta con un *grado de creencia* en esa proposición (véase Christensen 1999). Por consiguiente, el bayesianismo debe ofrecer una teoría que describa adecuadamente la dinámica de este sistema de creencias racionales. La identidad señalada entre la función de los grados de creencia y la función de probabilidad intenta satisfacer este requisito. Como analizaremos con mayor detalle en el capítulo 4, esta identidad es sumamente relevante y tiene varias consecuencias, entre ellas, por ejemplo, implica que todos los teoremas deducidos (y los que todavía no se han deducido) del cálculo matemático de probabilidades son, también, inmediatamente teoremas de la teoría de la confirmación. Otra de las consecuencias de esta identidad es que todas las interpretaciones admisibles del concepto de probabilidad son, en principio, teorías igualmente adecuadas de la confirmación. Ahora bien, esta identidad entre estas funciones no implica una identidad entre las teorías de la confirmación de carácter probabilístico y la teoría bayesiana de la confirmación, ya que no todas las interpretaciones del concepto de probabilidad son compatibles con el bayesianismo. En efecto, la teoría bayesiana de la confirmación es solo una de todas las posibles teorías probabilísticas de la confirmación.

La condición general estándar de la confirmación bayesiana, que da lugar a lo que se conoce como “modelo de la diferencia”, es la siguiente:⁵

E confirma T con respecto a K si y solo si $\Pr(T|E \& K) > \Pr(T|K)$

E disconfirma T con respecto a K si y solo si $\Pr(T|E \& K) < \Pr(T|K)$

⁵ Véanse Earman y Salmon 1992, Cap. 2; Howson y Urbach 2006, Caps. 2 y 4; Salmon 1966, Cap. 7.

E es neutral para T con respecto a K si y solo si $\Pr (T|E \& K) = \Pr (T|K)$ ⁶

Donde $\Pr (T|K)$ refiere a la probabilidad previa de la teoría (*prior probability*), esto es, a la probabilidad condicional de la teoría dado el conjunto del conocimiento previo (*background knowledge*), independientemente de la verdad, o de la falsedad, de la evidencia; y donde $\Pr (T|E \& K)$ expresa la probabilidad posterior de la teoría (*posterior probability*), esto es, la probabilidad condicional de la teoría dado el conjunto del conocimiento previo y la verdad de la evidencia.⁷ En definitiva, la teoría bayesiana sostiene que una teoría ha sido confirmada si y solo si existe un incremento en el valor de la probabilidad posterior de dicha teoría con respecto al valor de su probabilidad previa. Además, también sostiene que, cuanto mayor sea la diferencia entre estas dos probabilidades (por esta razón, recibe el nombre de “modelo de la diferencia”), mayor será el incremento en el grado de confirmación de dicha teoría. Ahora bien, $\Pr (T|E \& K)$ se calcula mediante la aplicación de un teorema que, justamente, le da el nombre a esta teoría de la confirmación: el teorema de Bayes. La formulación más usual de este teorema es la siguiente:

$$\text{Teorema de Bayes (fórmula usual): } \Pr (T|E \& K) = \frac{\Pr (T|K) \times \Pr (E|T \& K)}{\Pr (E|K)}$$

con $\Pr (E | K) > 0$

En esta fórmula, $\Pr (T|K)$ es, como ya señalamos, la probabilidad previa de la teoría dado el conjunto del conocimiento previo K ; $\Pr (E|T \& K)$ refiere a la *likelihood* de la evidencia, esto es, a la probabilidad condicional de la evidencia dados la verdad de la teoría y del conjunto del conocimiento previo; y $\Pr (E|K)$ refiere a la *esperabilidad* de la evidencia (*expectability*), esto es, expresa la probabilidad condicional de la evidencia dado el conjunto del conocimiento previo, independientemente de la verdad de la teoría.⁸ En suma, la confirmación bayesiana dependerá

⁶ Como señalamos en la nota 4, T no refiere a una teoría aislada, sino a un sistema teórico ($T \& A$).

⁷ Los textos académicos de estadística en lengua española traducen, de manera usual, los términos técnicos “*prior probability*” y “*posterior probability*” por las respectivas expresiones “probabilidad *a priori*” y “probabilidad *a posteriori*”. Sin embargo, decidimos traducir estos términos mediante las respectivas expresiones “probabilidad previa” y “probabilidad posterior”, ya que aquella traducción puede inducirnos a cometer ciertos errores de interpretación. En efecto, los conceptos de *a priori* y de *a posteriori* tienen una alta carga teórica en la historia de la filosofía que, en este caso específico, no se conserva. El significado de estas probabilidades no reproduce la conocida distinción kantiana, luego retomada y reinterpretada por los filósofos del empirismo lógico, entre los enunciados *a priori* y los enunciados *a posteriori*, esto es, entre los enunciados puros o analíticos, cuya verdad no depende de la experiencia y los enunciados empíricos, cuya verdad sí depende de la experiencia.

⁸ Los textos académicos de estadística en lengua española traducen usualmente el término técnico “*likelihood*” por las expresiones “verosimilitud” o “función de verosimilitud”. Sin embargo, decidimos no traducir este término y mantener la expresión en lengua inglesa, debido a que el término verosimilitud,

de la asignación de un valor a la probabilidad previa, a la *likelihood* y a la esperabilidad. Según el bayesianismo ortodoxo, la asignación de estos valores es subjetiva, es decir, es relativa a cada agente individual. Por esta razón, cada agente individual puede asignar cualquier valor a estas probabilidades, siempre que estos valores sean *probabilísticamente coherentes*, esto es, que satisfagan los axiomas del cálculo matemático de probabilidades (usualmente, el de Kolmogórov con aditividad finita).

La relación entre la teoría bayesiana de la confirmación y el predictivismo es más compleja que la relación entre el predictivismo y las teorías deductivistas. La mayoría de los filósofos que desarrollaron las teorías deductivistas de la confirmación defendieron, ya sea en mayor o menor medida, el predictivismo. Esta situación no se da en el caso de los filósofos bayesianos. Stephen Brush (1994), por ejemplo, sostiene que todas las posiciones que combinan la teoría bayesiana de la confirmación y el predictivismo han sido defendidas. Según su análisis, existen (1) filósofos que sostienen una defensa bayesiana del predictivismo, pero también existen (2) filósofos que sostienen que la teoría bayesiana de la confirmación no permite la defensa del predictivismo; además, según Brush, también hay (3) filósofos que defienden el predictivismo y que rechazan la teoría bayesiana de la confirmación (por ejemplo, los filósofos de orientación deductivista) y, por último, hay (4) filósofos que rechazan tanto el predictivismo como la teoría bayesiana de la confirmación (por ejemplo, algunos filósofos deductivistas heterodoxos). Como analizaremos en el capítulo 4, entre los filósofos bayesianos que rechazan el predictivismo, al menos la posición predictivista más fuerte, están todos aquellos filósofos que buscan una solución positiva al problema de la vieja evidencia (*old evidence*), esto es, aquellos que afirman, en líneas generales, que el esquema bayesiano permite la adopción de un predictivismo moderado, según el cual la acomodación de la evidencia conocida también es un caso de confirmación de teorías.

1.3 La formulación general del problema

Desde la época de Christian Huygens, durante todo el siglo XIX y prácticamente hasta mediados del siglo XX, la atención principal de los filósofos de la ciencia se concentró, primero, en la elaboración de una teoría general de la confirmación normativamente adecuada que, además, también describiera la práctica de los científicos. Estas teorías de la confirmación, de carácter deductivista, presentaron rápidamente serias dificultades técnicas y conceptuales, de

por ejemplo, tiene un significado técnico muy extendido y muy preciso en la filosofía contemporánea de la ciencia al que no refiere la probabilidad condicional de la evidencia dados la verdad de la teoría y del conocimiento previo.

manera que la atención de los filósofos se dirigió a la solución de estos problemas. En este contexto, la preocupación de los filósofos por las incipientes objeciones al predictivismo, además de que dichas objeciones aún no estaban formuladas de manera explícita, permanecía, en el mejor de los casos, en un segundo plano de relevancia. En esta sección, explicitaremos la formulación más general del problema fundamental de esta tesis, esto es, del “problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida” y, luego, en la próxima sección, presentaremos aquellas primeras objeciones. El reconocimiento y la formulación de lo que hoy se conoce como el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida recién se explicitan en la década de 1980. Hasta esa década, el problema solo se reducía, en el mejor de los casos, a la elucidación del concepto de predicción, puesto que a la acomodación de la evidencia conocida todavía no se le reconocía ningún valor epistémico, por lo que, en consecuencia, tampoco se había explorado el papel que podría desempeñar en la confirmación de teorías.

Por estas razones, incluso cuando el problema se hizo explícito, su formulación solo se realizó en los términos de una de sus posibles respuestas, esto es, en los términos del predictivismo. En efecto, los filósofos se preguntaban si el éxito de las predicciones de una teoría le proporcionaba apoyo confirmatorio a esa teoría y, en el caso de que la respuesta fuera positiva, se preguntaban cómo este hecho podía explicarse mediante una teoría lógica de la confirmación. Actualmente, podemos expresar el problema de una forma más general de la siguiente manera: ¿Qué práctica científica incrementa, *ceteris paribus*, en mayor medida, el grado de confirmación de una teoría, de manera que, en consecuencia, tiene un valor epistémico especial con respecto a la otra: la verificación de las predicciones novedosas de la teoría o el éxito de la teoría en la acomodación de la evidencia conocida? (véanse, por ejemplo, Brush 1994 y Hudson 2007). Ahora bien, como podemos advertir, la formulación misma del problema requiere la elucidación de los conceptos de predicción y de acomodación de la evidencia conocida. En la actualidad, la definición de estos conceptos aún se encuentra en debate, por lo que, desafortunadamente, aún no se ha alcanzado un acuerdo general acerca de su significado. En el capítulo 2, evaluaremos las definiciones que proporcionaron las posiciones deductivistas; mientras que, en el capítulo 4, desarrollaremos una interpretación bayesiana de estos conceptos. Esta tarea resulta indispensable, ya que cualquiera de las respuestas depende, en gran medida, de cómo se interpreten estos conceptos.

En la bibliografía especializada, se han defendido, en general, tres posiciones como respuesta al problema: (1) el predictivismo más fuerte, según el cual *solo* la verificación de las predicciones novedosas proporciona apoyo confirmatorio a una teoría; (2) una variante predictivista más

moderada, según la cual las predicciones novedosas incrementan, *en mayor medida*, el grado de confirmación de una teoría que la acomodación de la evidencia previamente conocida, por lo que, según esta variante, la acomodación genuina de la evidencia conocida también confirma una teoría; y (3) una posición neutralista, según la cual ambas prácticas incrementan en igual medida el grado de confirmación de una teoría. Esta última posición, que incluso rechaza el predictivismo más moderado, sostiene que cualquier distinción entre estas prácticas científicas es metodológica y epistémicamente superflua. Como analizaremos con mayor detalle en la sección 4 del capítulo 2, según esta posición, la supuesta ventaja de las predicciones novedosas no es epistémica, sino meramente psicológica.

Con todo, no hay filósofos ni científicos que hayan defendido una posición contraria a toda forma de predictivismo, esto es, no hay ninguna posición, según la cual *solo* la acomodación satisfactoria de la evidencia conocida otorga apoyo confirmatorio a una teoría. Sin embargo, sí existe (4) una posición antipredictivista más moderada, o “acomodacionista”, por así llamarla, según la cual la acomodación genuina de la evidencia conocida incrementa *en mayor medida* el grado de confirmación de una teoría que la verificación de las predicciones novedosas. Como podemos advertir, todas estas posiciones suponen una teoría de la confirmación de carácter cuantitativo que pueda ofrecer una medida del incremento en el grado de confirmación de una teoría, esto es, que permita medir, de alguna manera, el grado de apoyo empírico que la evidencia, conocida o desconocida, proporciona a una teoría. Como analizaremos con mayor detalle en la próxima sección, las teorías deductivistas de la confirmación, puesto que son de carácter cualitativo, no pueden satisfacer esta exigencia, de manera que tienen que modificar, de alguna manera, su esquema de la confirmación.

En este punto, conviene señalar una distinción relevante entre la confirmación de las teorías y su *aceptación*, esto es, la actitud pragmática de la comunidad científica con respecto a qué teorías decidirá incorporar al *canon* científico en un determinado momento histórico. En efecto, si bien la confirmación de una teoría ha sido tradicionalmente una de las razones más relevantes para su aceptación, la historia de la ciencia ofrece casos en los cuales la comunidad científica aceptó una teoría teniendo en cuenta, o priorizando, otro tipo de razones. Entre estas razones, podemos señalar, principalmente, otras virtudes epistémicas tales como la simplicidad, la generalidad, la capacidad de unificación de una teoría y su consistencia con el conjunto de las teorías previamente aceptadas o, al menos, con las teorías que se consideran fundamentales o mejor establecidas; pero, además, la historia de la ciencia también ofrece casos en los cuales los compromisos metafísicos de los científicos y los valores extra epistémicos (por ejemplo, valores

políticos, religiosos, socioculturales) desempeñaron un papel de más relevante en la aceptación de una teoría. En esta tesis, no abordaremos el problema de la aceptación de las teorías, sino que nos concentraremos exclusivamente en el de la confirmación de las teorías científicas.

1. 4 Los primeros obstáculos del predictivismo

Las teorías deductivistas de la confirmación tienen problemas normativos y descriptivos a la hora de defender una posición predictivista. En esta sección, presentaremos las dificultades más inmediatas de la defensa deductivista del predictivismo y los primeros intentos de solución, los cuales serán analizados y evaluados con mayor detalle a lo largo del próximo capítulo. Además, realizaremos una introducción general de la concepción de la predicción más aceptada por los filósofos deductivistas, esto es, de la *concepción heurística* de la predicción; y señalaremos brevemente sus principales falencias. Por último, presentaremos las características centrales de la concepción de la predicción que sostendremos, esto es, de la *concepción epistémica* de la predicción y de su relación con la acomodación de la evidencia conocida. En el capítulo 4, la desarrollaremos con mayor detalle, interpretándola, a su vez, dentro del marco de la teoría bayesiana de la confirmación.

Herbert Simon (1955) fue uno de los primeros filósofos en sostener que existe una asimetría confirmatoria entre la acomodación de la evidencia conocida y las predicciones novedosas, esto es, que la verificación de las predicciones novedosas le confiere un *mayor peso* confirmatorio a una teoría. Simon (1955, p. 227) afirma que los problemas de las teorías exclusivamente lógicas de la confirmación, en consecuencia, debían superarse, ya que, según su perspectiva, “violaban algunas de nuestras creencias intuitivas acerca de la dependencia de la eficacia de la evidencia en el momento en el que ésta se descubre”. Según Simon, entonces, había que desarrollar una teoría adecuada de la confirmación que diera cuenta de esas intuiciones. En efecto, por más que nuestras intuiciones estén de acuerdo con el predictivismo, éste no puede justificarse, como ya señalamos, mediante una teoría de la confirmación estrictamente deductivista, puesto que este tipo de teorías no puede dar cuenta de una asimetría confirmatoria entre la evidencia conocida y la desconocida.

Las teorías deductivistas de la confirmación solo analizan las relaciones lógicas y semánticas entre las proposiciones, por lo que el momento en el que se conoce la evidencia no afecta la relación de confirmación. Por esta razón, las teorías deductivistas de la confirmación suman un nuevo obstáculo que dificulta la solución del problema de la predicción *versus* la acomodación

de la evidencia conocida. En efecto, además de que (1) son teorías cualitativas que no ofrecen una medida del incremento en el grado de apoyo confirmatorio que la evidencia le otorga a la teoría, estas teorías deductivistas tampoco pueden resolver de manera adecuada el problema, porque (2) son un tipo de teorías que no introducen ningún elemento epistémico en la relación de confirmación que permita hacer una distinción entre las consecuencias que ya se conocen en el momento en el que se formula la teoría y las que no.

Además de estos obstáculos, que podríamos considerar de carácter *normativo*, las teorías deductivistas también presentan otros, que podríamos considerar de carácter *descriptivo*, a la hora de defender el predictivismo. Uno de estos obstáculos para las posiciones predictivistas y deductivistas consiste en que la historia de la ciencia ofrece una gran cantidad de casos en los que los científicos consideraron que sus teorías habían sido confirmadas por evidencia que, de hecho, ya se conocía en el momento en el que esas teorías se habían formulado. En la sección 2 del capítulo 2, presentaremos y evaluaremos algunos de estos contraejemplos históricos del predictivismo, entre los cuales, la precesión del perihelio de la órbita de Mercurio es, quizás, uno de los más citados por los científicos y por los filósofos de la ciencia.

Ahora bien, estos obstáculos obligaron a los filósofos predictivistas y deductivistas a revisar sus teorías con el propósito de que fueran tanto normativa como descriptivamente adecuadas. La forma más usual en la que estos filósofos revisaron su marco normativo fue introduciendo un elemento *epistémico* en la relación lógica de confirmación que ofreciera información adicional a la que proporciona la evidencia. Este nuevo elemento es el conjunto del conocimiento previo, el cual contiene a toda la evidencia que fue utilizada en el proceso de construcción de una teoría. De esta manera, para estas posiciones, el análisis heurístico del proceso de construcción de una teoría es un procedimiento fundamental a la hora de evaluar el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida (véase Nickles 1987). En la sección 1 del capítulo 2, analizaremos con mayor detalle esta relación entre el concepto de predicción y la forma en la que se construye el conjunto del conocimiento previo, así como el papel que desempeña esta relación en la defensa deductivista del predictivismo.

Con respecto a los casos problemáticos de la historia de la ciencia, la solución que prevaleció entre los filósofos predictivistas y deductivistas fue la de extender el concepto de predicción, de manera que los posibles contraejemplos también fueran considerados como casos de predicción exitosa. Por consiguiente, esta solución supone una redefinición del concepto de predicción y, como señalaremos más adelante, se conecta estrechamente con la denominada concepción heurística de la predicción. Esta concepción sostiene, en general, que el desconocimiento es una

condición suficiente, aunque no necesaria, para que la evidencia sea una predicción. En efecto, según esta concepción, si la evidencia se conoce, pero no fue utilizada en la construcción de la teoría, entonces es una predicción. En las secciones 2 y 3 del capítulo 2, presentaremos y evaluaremos con mayor detalle la concepción heurística de la predicción y las consecuencias negativas que, según nuestra perspectiva, conlleva esta extensión del concepto de predicción.

Por nuestra parte, sostendremos que la concepción epistémica es la posición más adecuada tanto normativa, como descriptivamente de la predicción. Además, argumentaremos que esta concepción también es la más adecuada para defender una forma de *predictivismo moderado*. Por consiguiente, definiremos el concepto de predicción novedosa y de acomodación de la evidencia conocida guiados por una distinción puramente epistémica: una predicción es un enunciado deducido (o inferido probabilísticamente) de una teoría, que se refiere a entidades, eventos o propiedades observables (ya sean pasados, presentes o futuros), que no se conocen en el momento en el que se formuló la teoría. Por esta razón, las predicciones suponen una incertidumbre con respecto a la verdad de ciertas consecuencias de la teoría.

La concepción epistémica de la predicción ha recibido diferentes denominaciones en la bibliografía acerca “del problema de la definición”. La mayoría de los filósofos, principalmente los filósofos deductivistas, las denominan “predicciones temporalmente novedosas” (*temporal novelty*). Sin embargo, creemos que es más adecuado denominarlas, siguiendo la distinción propuesta por Campbell y Vinci (1983), “predicciones epistémicamente novedosas” (*epistemic novelty*), ya que la característica fundamental de esta concepción no es *el momento* en el que se conoce la evidencia, sino *el conocimiento mismo* de la evidencia, esto es, la incertidumbre respecto de la verdad de la evidencia. De esta manera, también adquiere sentido la distinción en relación con la concepción heurística, ya que, para esta última, el desconocimiento de la evidencia no es una condición necesaria, sino una condición suficiente para que la evidencia sea una predicción.

La definición del concepto de acomodación de la evidencia conocida es más compleja, debido a que sostendremos, a su vez, una distinción entre la acomodación *genuina* de la evidencia conocida y la acomodación meramente *espuria*, cuyo único propósito es restaurar la adecuación empírica de la teoría. En las secciones 5 y 6 del capítulo 2, y, en especial, en el capítulo 3 y en la sección 8 del capítulo 4, analizaremos con mayor detalle esta distinción entre la acomodación genuina de la evidencia y la acomodación meramente espuria; y evaluaremos si la acomodación genuina constituye un caso de confirmación de teorías. En esta sección, solo podemos adelantar que la definición más general del concepto de acomodación genuina de la evidencia conocida

consiste, por oposición a la definición del concepto de predicción, en la capacidad de una teoría para implicar (o inferir probabilísticamente), de manera satisfactoria, un enunciado que refiere a fenómenos que *ya se conocen*, esto es, ya observados, en el momento en el que se formuló esa teoría.

Por último, podemos señalar que la acomodación de la evidencia conocida se conecta de manera muy estrecha con la introducción de hipótesis auxiliares *ad hoc* y, en general, con una serie de estrategias que pueden considerarse *ad hoc*. De este modo, el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida se vincula con el debate acerca de la justificación epistémica de estas estrategias. En el capítulo 3, analizaremos con mayor detalle la relación entre ambos problemas. En esta sección, podemos adelantar que algunos filósofos predictivistas y deductivistas creen que el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida puede, incluso, reducirse al debate acerca de dichas estrategias *ad hoc*. En cambio, sostendremos que, si bien el análisis de la introducción de las hipótesis *ad hoc* y, de estas “estrategias *ad hoc*” en general, puede ofrecernos algunas herramientas para distinguir entre la acomodación genuina y la acomodación espuria de la evidencia conocida, ninguno de estos problemas se reduce al otro. Por el contrario, argumentaremos que el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida no puede comprenderse en todos sus aspectos y en toda su complejidad si solo identificamos la acomodación de la evidencia conocida con el procedimiento mediante el cual se introducen hipótesis *ad hoc* o mediante el cual se *ajusta* una teoría recurriendo a una estrategia *ad hoc*.

CAPÍTULO 2

La justificación *deductivista* del *predictivismo*

2. 1 La orientación *deductivista* y la concepción de la predicción

Como señalamos en la sección 3 del capítulo anterior, el primer paso hacia la resolución del problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida es la definición de los conceptos de predicción y de acomodación de la evidencia conocida, ya que, cualquiera sea la respuesta, ésta dependerá, en gran medida, de cómo se interpreten estos conceptos. En la actualidad, aún no hay un consenso general entre los científicos y filósofos acerca del significado de estos conceptos, por lo que el debate continúa abierto. Denominaremos a este problema específico “el problema de la definición” de dichos conceptos (véase Campbell y Vinci 1983). En esta sección, evaluaremos los primeros desarrollos de los filósofos *predictivistas* y *deductivistas* acerca del significado de estos conceptos. En adelante, nos referiremos a este grupo de filósofos como la orientación *deductivista*, puesto que consiste, justamente, en un grupo de filósofos y científicos, radicados en la *London School of Economics* de Londres, que discutió el problema de la definición y de la justificación del *predictivismo*. Sus integrantes desarrollaron las ideas de la tradición filosófica de Karl Popper y de Imre Lakatos, dos filósofos eminentemente *deductivistas* (véase Nunan 1993, nota 10).

La posición de Popper con respecto a la confirmación de las teorías era muy clara: solo las predicciones le otorgan apoyo confirmatorio a una teoría. Según el *falsacionismo*, las teorías se corroboran exclusivamente mediante la evidencia que se deduce de ellas, de manera que es una teoría de la confirmación de carácter puramente *deductivista*. Popper (1959b §5, §6 y §67) fue un crítico muy enfático de las teorías *probabilísticas* e *inductivistas* de la confirmación. En esta dirección, Popper (1963, p. 247) ya había adelantado las dificultades normativas de las teorías *deductivistas* de la confirmación, puesto que, según su perspectiva, “la relación lógica entre la teoría y la evidencia que la corrobora no puede, al parecer, verse afectada por la cuestión de si la teoría es *temporalmente* anterior a la evidencia” (énfasis nuestro).

Sin embargo, sostuvo que su teoría de la corroboración podía resolver de una manera adecuada estas dificultades normativas de las teorías *deductivistas*. En efecto, Popper (1963, p. 243) consideró que su concepción *corroboracionista* de la contrastación de las teorías no solo era necesaria, sino que complementaba al *falsacionismo*, ya que “para que el progreso de la

ciencia continúe, y su racionalidad no decaiga, necesitamos no solo refutaciones exitosas, sino también *éxitos positivos*” (énfasis nuestro). Como ya señalamos, la teoría de Popper sostiene que las teorías científicas se corroboran si y solo si pasan una prueba empírica, esto es, cuando se someten a una contrastación y consiguen no ser refutadas. En este sentido, las teorías mejor corroboradas son las teorías que tienen un mayor contenido empírico, esto es, las teorías que tienen una mayor cantidad de falsadores potenciales (es decir, los *enunciados básicos* que podrían refutarla). De esta manera, si bien la teoría de Popper no es una teoría cuantitativa ni incremental de la confirmación, puede justificar, en algún sentido, la ventaja epistémica de las predicciones, ya que éstas aumentan el contenido empírico de la teoría.⁹

En consecuencia, según el falsacionismo, solo la evidencia desconocida puede corroborar una teoría, puesto que, si la evidencia ya se conoce, esto es, si el falsador potencial ya se conoce con anterioridad a la formulación de la teoría, la teoría ya nacería refutada. Como ya señalamos en el capítulo anterior, esto significa que, si en el momento en el que se formula una teoría, ya se conoce que dicha teoría tiene una consecuencia observacional falsa, entonces, la teoría quedaría refutada desde el mismo momento de su formulación. En este punto, solo nos estamos refiriendo al conocimiento de las consecuencias observacionales de la teoría en el momento en el que ésta se formula y no a la tesis de que una teoría pueda construirse de tal manera que no implique refutadores potenciales (para una discusión detallada de esta tesis, véase Watkins 1984, Sec. 8.6). En definitiva, para el falsacionismo, el desconocimiento es una condición necesaria y suficiente para que la evidencia sea una predicción. Además, Popper (1963, pp. 33-37), sostiene que las teorías mejor corroboradas son aquellas teorías que realizan predicciones arriesgadas, esto es, aquellas teorías que se someten a falsadores potenciales, cuya verificación es *más esperable* dadas las teorías disponibles y resisten la prueba.¹⁰ Asimismo, la defensa del predictivismo de Popper, y su rechazo a que la acomodación de la evidencia conocida sea un caso de corroboración de teorías, también se asocia con su cautela con respecto a la justificación epistémica de la introducción de hipótesis auxiliares *ad hoc*. Como analizaremos en el próximo capítulo, Popper sostiene que la acomodación de la evidencia conocida se parece lo suficiente a la práctica de introducir hipótesis *ad hoc*, cuyo único propósito consiste en salvar a una teoría de la refutación. En consecuencia, Popper desestima la legitimidad de la acomodación de la evidencia conocida porque la asocia a la introducción, según él, epistémicamente negativa e

⁹ Popper desarrolló una teoría cuantitativa de la corroboración, pero por diversas razones no resultó exitosa. En este trabajo, no discutiremos esta teoría ya que creemos que, esencialmente, no resuelve los problemas de su posición predictivista fuerte (para mayores detalles, véase Popper 1983, Cap. 4).

¹⁰ Creemos que, en alguna medida, la denominación “*esperabilidad*” (*expectability*) a la probabilidad condicional bayesiana de la evidencia dado el conocimiento previo da cuenta de esta idea de Popper.

injustificada, de hipótesis *ad hoc*. De esta manera, en el falsacionismo, que la evidencia se deduzca de una teoría no es una condición suficiente, sino solamente una condición necesaria para la corroboración de la teoría, puesto que, la evidencia conocida, por ejemplo, aunque se deduzca de la teoría, no la corrobora. Por esta razón, Popper introduce una condición epistémica en su teoría, esto es, la evidencia que corrobora una teoría no solo tiene que deducirse de ella, sino que, además, también tiene que ser una evidencia desconocida.

Imre Lakatos (1968a y 1970), la otra gran influencia de la orientación deductivista, también sostuvo la concepción epistémica de la predicción. En el contexto de su teoría acerca del método científico, esto es, en su metodología de los programas de investigación científica, Lakatos afirma que un programa de investigación científica es empíricamente progresivo si (1) la última teoría de la sucesión teórica del programa explica el éxito de su antecesora tan bien como ésta, (2) si realiza predicciones que su antecesora no realiza, esto es, si se deducen de ella *fenómenos nuevos e imprevistos*; y (3) si, al menos, algunas de estas predicciones se corroboran (véanse Collins 1994 y Nunan 1984). Por consiguiente, Lakatos continúa la tradición de Popper no solo en cuanto a su concepción de la predicción, sino también en cuanto a su teoría de la contrastación y en cuanto a su defensa del predictivismo, por lo menos, en sus aspectos más fundamentales. Sin embargo, Lakatos modificó su posición con respecto a la concepción de la predicción, debido a que consideraba que no podía dar cuenta de las dificultades descriptivas del predictivismo, esto es, no respondía adecuadamente a los contraejemplos históricos; y terminó por adoptar la concepción heurística de la predicción. En las secciones 2 y 3 de este capítulo, evaluaremos esas dificultades y la concepción heurística de la predicción.

En suma, estas teorías deductivistas de la confirmación no son puramente lógicas, sino que son parcialmente lógicas o, como preferiremos denominarlas, son lógicas e históricas, debido a que la relación de confirmación no depende exclusivamente de las proposiciones que describen la evidencia y la teoría, sino que, además, también depende del conocimiento previamente disponible (*background knowledge*) y, en última instancia, de la introducción de un elemento epistémico (véase Musgrave 1974). John Watkins (1964) fue el primero que, siguiendo algunas ideas ya esbozadas por Popper, introdujo este concepto de conocimiento previo, entendido como toda la evidencia disponible, aparte de la evidencia contrastadora, que aporta información adicional relevante para la contrastación de una teoría, con el objetivo de disolver la conocida “paradoja de la confirmación”. Watkins sostuvo que una teoría es corroborada si pasa una contrastación severa y, en este sentido, una contrastación severa es aquella en la que la conjunción entre esa teoría y el conocimiento previo implica una predicción posiblemente falsa.

En otras palabras, dado el conocimiento previo, si la teoría pasa la contrastación, esto es, no se verifica esa posible predicción falsa, se dice que ese resultado corrobora genuinamente la teoría. La contrastación es severa si el conocimiento previo implica la negación de esa predicción de la teoría. Cuando se da este caso, se dice que esa predicción constituye un *experimento crucial* entre esa teoría y el conocimiento previo. Como ya señalamos, Popper (1963, p. 390) ya había adelantado esta reconsideración de la relación de corroboración cuando sostuvo que la severidad de los test de contrastación de una teoría debía redefinirse en función de esa teoría, de la evidencia y del “conocimiento previo”, esto es, todas las cosas que aceptamos (tentativamente) de manera incuestionable mientras contrastamos la teoría”.

Watkins (1984, Cap. 8.2) critica este concepto de conocimiento previo de Popper, y que él mismo había adoptado previamente, y afirma que conviene reemplazarlo por el concepto de un registro histórico (*historical record*) de las contrastaciones realizadas en el dominio de la teoría en cuestión. Watkins (1984, p. 294) sostiene que “no necesitamos nada parecido al conocimiento previo para desempeñar el papel que éste desempeña en el sistema de Popper”, esto es, “ofrecer una medida de la severidad de una contrastación [...] y, “además, ofrecer los supuestos auxiliares que, junto con H , típicamente implicarán la predicción E ”. En cada una de las contrastaciones de una teoría, este registro histórico describe las características del diseño experimental de una forma específica: señala (1) cuáles son las condiciones iniciales; (2) la clase, o clases, de resultados que puede medir el aparato; (3) el grado de precisión de los resultados y (4) el resultado obtenido. Ahora bien, ¿cómo interviene este registro histórico en la corroboración de una teoría y en la severidad de una contrastación? Supongamos que de una teoría se deduce una generalización experimental G . Luego, revisamos en nuestro registro histórico y buscamos si G hubiese estado en riesgo de alguna posible contrastación refutadora si se hubiese formulado antes de que se realizara dicha contrastación. Claramente, si ya hemos registrado un experimento en el que se midieron los valores específicos de esa generalización, entonces, la respuesta es que, por supuesto, dicha generalización está en riesgo. Si, en cambio, no encontramos ningún registro, entonces, la respuesta es que no está en riesgo, por lo que, en palabras de Watkins constituye una *consecuencia empíricamente novedosa* de la teoría.¹¹

Con todo, lo relevante de este análisis es que cualquiera de estas concepciones, esto es, la concepción del conocimiento previo de Popper y la concepción de un registro histórico de las contrastaciones de Watkins, conducen a ciertos problemas. En efecto, como analizaremos con mayor detalle en el capítulo 4, según ambas perspectivas, la evidencia conocida o, al menos, la

¹¹ Para mayores detalles de la posición de Watkins, véase Watkins 1984, Cap. 8.

evidencia conocida de la que la teoría tiene que dar cuenta, *pertenece* al conjunto del conocimiento previo o está registrada en el historial de las contrastaciones realizadas, de manera que, por ello, solo las predicciones, esto es, la evidencia desconocida, corrobora una teoría. Claramente, si la evidencia pertenece al conjunto del conocimiento previo o está registrada en el historial de las contrastaciones que se han realizado, esa evidencia no puede constituir el resultado de una contrastación severa, de manera que no puede corroborar dicha teoría. Sin embargo, las concepciones de Watkins y Popper con respecto a este elemento epistémico que proporciona información adicional a la que proporciona la evidencia no son las únicas. Como ocurre con la mayoría de los conceptos que ya hemos presentado, en el caso del conocimiento previo, por ejemplo, tampoco hay un acuerdo general acerca de su significado, de manera que el debate continúa abierto. Esta aclaración es relevante, debido a que la incorporación de este elemento epistémico y la forma en la que se construye (por ejemplo, el conjunto del conocimiento previo) es una de las estrategias más usuales en la defensa de un predictivismo moderado, esto es, en la defensa de la tesis según la cual la acomodación de la evidencia conocida es un caso de confirmación de teorías. La forma en la que se construye el conjunto del conocimiento previo, esto es, la determinación de sus elementos, condiciona la concepción de la predicción e interviene en la evaluación de la confirmación de una teoría.

Como señalamos anteriormente en esta sección, sostenemos que cualquiera sea la posición que adoptemos con respecto al conocimiento previo, todas las teorías de la confirmación que incorporen este elemento epistémico en la relación de confirmación no son teorías puramente lógicas, sino que son teorías lógicas e históricas: son históricas porque, independientemente de cómo se construya el conocimiento previo, esto es, cuál es la *clase de cosas* que se admitirá en él, “presumiblemente será una *tarea histórica* determinar su *contenido real* en un caso dado” (Musgrave 1974, p. 7, énfasis nuestro); y son lógicas porque una vez que se define el concepto de conocimiento previo, la relación de confirmación entre este conocimiento previo, la teoría y la evidencia es puramente deductiva. En definitiva, todas las teorías de la confirmación que incorporen el conocimiento previo “harán que la confirmación dependa, de alguna manera, del contexto histórico en el que se propuso la teoría” (Musgrave 1974, p. 7).

Como adelantamos, la introducción de este elemento también repercute en la concepción de la predicción y en la defensa del predictivismo, debido a que, en esta nueva relación de la confirmación, la evidencia se relaciona, en algún sentido a determinar, con aquello que se considera parte del conocimiento previo y pareciera que la evidencia conocida también forma parte de este conocimiento. En consecuencia, esta revisión de las teorías deductivistas conduce

a un hecho muy relevante para nuestros propósitos, puesto que introduce como una condición necesaria en la evaluación del problema de la predicción versus la acomodación de la evidencia conocida, el análisis heurístico del proceso de construcción de una teoría. En la próxima sección, mostraremos cómo los filósofos predictivistas y deductivistas utilizan el análisis heurístico para redefinir su concepción de la predicción y, en última instancia, para responder a las dificultades descriptivas del predictivismo que presentamos en la sección 4 del capítulo 1 y que condicionan tanto a la posición de Popper, como a la posición inicial de Lakatos.

2. 2 Los contraejemplos históricos del predictivismo

En la sección 4 del capítulo 1, sostuvimos que, además de las dos dificultades de carácter normativo, la defensa deductivista del predictivismo también presenta dificultades de carácter descriptivo. En efecto, señalamos que la historia de la ciencia muestra casos en los que, al parecer, la comunidad científica consideró que la evidencia conocida también confirmó, al menos en igual medida que la evidencia desconocía, una teoría. Por ello, la evidencia que otorga la historia de la ciencia refutaría, en principio, la posición predictivista que defendían, al menos, Popper e inicialmente Lakatos. En esta sección, presentaremos de manera general uno de estos ejemplos y sostendremos que, efectivamente, constituye una dificultad para el predictivismo fuerte. Según nuestra perspectiva, el análisis del caso es adecuado, por lo que, o bien debe reformularse la estrategia de la defensa deductivista del predictivismo, o bien debe moderarse la posición predictivista fuerte. En los próximos capítulos, defenderemos esta última posición.

El caso más citado por los filósofos de la ciencia y el que, según estos mismos filósofos, mayor repercusión tuvo entre los científicos es la confirmación de la teoría de la relatividad general a partir de la acomodación de la evidencia conocida acerca de la precesión del perihelio de la órbita de Mercurio. En 1859, Urbain Le Verrier observó que la tasa de precesión del perihelio de la órbita de Mercurio no coincidía con la estimación predicha por la ley de la gravitación universal de Newton. En consecuencia, la evidencia proporcionada por la observación de la precesión del perihelio de la órbita de Mercurio se convertía en una anomalía para la física newtoniana. De la ley de la gravitación universal se deduce que los planetas orbitan describiendo una trayectoria elíptica alrededor de un foco fijo: el Sol. En esta trayectoria, el punto más cercano al *foco* ocupado por el Sol se denomina perihelio. A su vez, las observaciones muestran que el perihelio de la órbita de los planetas experimenta una precesión, esto es, rota con respecto al Sol a lo largo de los años.

En la física newtoniana la precesión del perihelio se explica por el efecto combinado de varias causas. Las dos causas más significativas son: (1) la precesión de los equinoccios, esto es, el cambio lento y gradual en la orientación del eje de rotación de la Tierra. El eje de rotación de la Tierra está inclinado con respecto al polo de la eclíptica, de manera que la precesión produce que el eje de rotación describa un cono y recorra una circunferencia alrededor de él. El avance observado de la precesión de los equinoccios da cuenta de 5025 segundos de arco por siglo. Este movimiento, por ser propio de la Tierra, afecta la observación del perihelio de la órbita de todos los planetas. La otra causa es (2) las perturbaciones producidas por el movimiento de los demás planetas del Sistema Solar, esto es, la interacción entre grandes masas gravitacionales. En el caso del perihelio de la órbita de Mercurio, la física newtoniana predecía una precesión de 531 segundos de arco por siglo. Por tanto, la física newtoniana predecía un avance total de 5556 segundos de arco por siglo. Sin embargo, como señalamos, el avance total observado no coincide con estas predicciones, ya que da cuenta de 5599 segundos de arco por siglo. Por ello, la anomalía que la física newtoniana no consigue explicar es de 43 segundos de arco por siglo. De hecho, Le Verrier calculó esa anomalía en 38 segundos y, luego, en 1882, Simon Newcomb la corrigió a 43 segundos de arco por siglo. La relatividad general, por su parte, explica de la misma forma que la mecánica celeste newtoniana todos los avances, excepto esos 43 segundos, que los considera causados por la curvatura del espaciotiempo producida por la gran masa del Sol en el entorno de la órbita de Mercurio (véanse Earman y Janssen 1993 y Pais 1982, pp. 253-254).

De esta manera, la mecánica newtoniana comenzaba a perder capacidad explicativa y la precesión del perihelio de Mercurio comenzaba a convertirse en una evidencia ampliamente conocida que era una dificultad para la mecánica celeste. En 1915, Albert Einstein publicó la teoría de la relatividad general y, como señalamos, consiguió no solo estimar correctamente la tasa de precisión del perihelio de Mercurio observada, sino que, además, también explicó por qué ocurre el fenómeno (véanse Earman y Glymour 1978 y Earman y Janssen 1993). Este logro de Einstein fue tan relevante que la mayoría de los filósofos y científicos consideraron que la precesión del perihelio de la órbita de Mercurio fue una de las evidencias fundamentales que confirmaron la teoría de la relatividad general (véase Zahar 1973 y 1989). Ahora bien, según la concepción epistémica de la predicción, esta evidencia no es una predicción, puesto que ya se conocía cuando se formuló la teoría. En consecuencia, el caso de la precesión del perihelio de la órbita de Mercurio refuta la defensa deductivista del predictivismo, esto es, la defensa del predictivismo sustentada en una concepción epistémica de la predicción, debido a que parece ser un hecho que las comunidades científicas consideran que, al menos en algunos casos, la acomodación de la evidencia conocida también confirma una teoría.

Creemos que el análisis histórico de este caso científico es adecuado, esto es, sostenemos que la precesión del perihelio de la órbita de Mercurio era una evidencia previamente conocida que confirmó la teoría de la relatividad general. Por ello, en primer lugar, tenemos que ofrecer una teoría de la confirmación que apoye este análisis. Ahora bien, si el análisis es adecuado, su conclusión implica elegir entre dos alternativas: (1) o sostenemos que la acomodación exitosa de la evidencia conocida también confirma una teoría, por lo que, en consecuencia, rechazamos el predictivismo fuerte; (2) o bien sostenemos que este caso histórico es, también, un caso de predicción, por lo que, en consecuencia, mantenemos la defensa del predictivismo fuerte. Como analizaremos en las próximas secciones de este capítulo, los filósofos predictivistas eligieron esta última alternativa.

La segunda de las alternativas supone una redefinición de la concepción epistémica de la predicción defendida por Popper y Lakatos, puesto que esta concepción es incompatible con una posición según la cual la precesión del perihelio de la órbita de Mercurio, por ejemplo, es una predicción exitosa que confirmó la teoría de la relatividad general. En la próxima sección, analizaremos la redefinición del concepto de predicción y evaluaremos esta nueva defensa deductivista del predictivismo basada, ahora, en una concepción heurística de la predicción. En esta sección, solo podemos adelantar que la estrategia deductivista profundizó los trabajos de Popper acerca de la relación entre la evidencia, la teoría y el conocimiento previo y redefinió el concepto de predicción atendiendo, especialmente, al proceso de construcción de una teoría. En la próxima sección, señalaremos que la concepción heurística de la predicción sostiene, justamente, que el desconocimiento de una evidencia no es una condición necesaria, sino solo suficiente para que esa evidencia sea una predicción.

Por nuestra parte, optaremos por la primera alternativa, esto es, sostendremos que, si una teoría acomoda satisfactoriamente la evidencia conocida, entonces esa evidencia confirma esa teoría. Como ya señalamos, esta alternativa implica el rechazo del predictivismo fuerte, pero es compatible con la defensa de un predictivismo moderado, según el cual la acomodación de la evidencia conocida también confirma la teoría, aunque en menor medida que la verificación de sus predicciones. Asimismo, esta alternativa no implica que haya que redefinir la noción misma de predicción, sino que, por el contrario, permite la conservación de una concepción epistémica de la predicción. Según nuestro análisis, que desarrollaremos en el capítulo 4, la acomodación de la evidencia conocida, por ejemplo, de la precesión del perihelio de la órbita de Mercurio, confirma la teoría, por ejemplo, de la relatividad general, porque esa evidencia era anómala para las teorías físicas disponibles en esa época, de manera que no había podido ser acomodada pese

a los reiterados intentos de explicación. Por ello, creemos que la teoría de la relatividad general no solo acomodó satisfactoriamente la evidencia acerca del avance anómalo del perihelio de la órbita de Mercurio, sino que, además, consiguió explicar, desde un punto de vista conceptual significativamente diferente del de la gravitación universal de Newton, por qué se produce este fenómeno particular de precesión.¹²

2.3 La concepción heurística de la predicción

En esta sección, analizaremos la concepción de la predicción que prevaleció en los filósofos predictivistas y deductivistas. Como adelantamos en la sección anterior, según esta concepción heurística, las predicciones son enunciados que se deducen de la teoría (conocidos, o no, en el momento en el que se formula la teoría) que no fueron utilizados en la construcción de la teoría. De esta manera, el proceso de construcción y el análisis del contenido del conocimiento previo desempeñan un papel central en el significado de una predicción. Ahora bien, esta concepción heurística de la predicción también tiene divergencias internas. En esta sección, evaluaremos las dos variantes más conocidas: la que concibe a la novedad según el uso de la evidencia en la construcción de una teoría (esto es, la *use novelty*) y la que la concibe de acuerdo con la situación problemática de la teoría (esto es, la *problem situation novelty*).

Elie Zahar, en discusión con Lakatos (véase Lakatos y Zahar 1975), fue uno de los primeros en proponer la concepción heurística de la predicción. En efecto, mientras que Lakatos (1968a y 1970), sostenía, en ese momento, una posición más usual según la cual una predicción es un enunciado que se deduce de una teoría y que se refiere a fenómenos desconocidos en el momento en el que se formula dicha teoría, Zahar (1973, p. 103) se diferenciaba y sostenía que "un hecho será considerado novedoso con respecto a una [teoría] si no pertenece a la situación problemática (*problem situation*) que guio la construcción de esa [teoría]". Zahar consideraba que el criterio de predicción defendido por Lakatos, y por Popper, era demasiado restrictivo, por lo que sostenía que era necesario un criterio más amplio que pudiera dar cuenta de ciertos casos

¹² La teoría de la relatividad general supone principios fisicomatemáticos radicalmente diferentes a los de la mecánica newtoniana clásica. Por ejemplo, la relatividad general no concibe un espacio y un tiempo absolutos y su geometría del espaciotiempo no es euclidiana, por lo que, en consecuencia, el significado de la gravedad, por ejemplo, es conceptualmente muy diferente en la teoría de la relatividad general y en la teoría de la gravitación universal de Newton. Esencialmente, la gravedad no es una fuerza que actúa a distancia, sino una manifestación de la curvatura del espaciotiempo.

paradigmáticos de la historia de la ciencia (por ejemplo, el caso de la precesión del perihelio de Mercurio) que, como señalamos, eran, desfavorables para ese tipo de predictivismo.¹³

En el análisis de estos contraejemplos históricos del predictivismo, a Zahar, y a la mayoría de los filósofos predictivistas y deductivistas, le preocupaba la relación entre la teoría y la evidencia conocida, pero desfavorable para las teorías rivales y/o alternativas disponibles. En sentido estricto, le preocupaba el problema, siempre latente, de la introducción de hipótesis *ad hoc*, esto es, el problema de que, ante una evidencia desfavorable, pero conocida, siempre existe la posibilidad de introducir una hipótesis auxiliar que restaure la adecuación entre una teoría y la experiencia. En esta dirección, Zahar (1973, p. 103) sostiene que uno de los objetivos de su propuesta predictivista es neutralizar “el hecho de que los científicos ingeniosos e imaginativos *siempre pueden construir* teorías que den cuenta de un número finito de hechos conocidos” (énfasis nuestro). Según la posición de Zahar (1973, p. 101), el concepto de hipótesis *ad hoc* o, en general, de *estrategias ad hoc*, “depende, de una manera esencial, del concepto de *novedad de los hechos*” (énfasis del autor). De esta manera, opone el concepto de *ad hoc* al concepto de novedad (*novelty*) y sostiene que la característica distintiva de su concepción de la predicción es, justamente, la novedad. En consecuencia, el punto central de esta concepción es elucidar en qué consiste la novedad de una evidencia. En las concepciones epistémicas, por ejemplo, en la de Popper, la novedad de una evidencia consistía en el hecho de que la evidencia no se conocía en el momento en el que la teoría se formulaba, de manera que, justamente, la novedad se interpreta en un sentido epistémico.

En la concepción de Zahar, en cambio, *la novedad de un hecho*, o de un fenómeno, (Zahar distingue entre hechos novedosos (*novelty facts*) y hechos no novedosos (*non novelty facts*)), depende de la relación que se establece entre una teoría y esos fenómenos en el proceso de construcción de esa teoría en particular. Según Zahar, los hechos no novedosos son aquellos que fueron tenidos en cuenta a la hora de construir una teoría, por lo que, por el contrario, una predicción novedosa es la evidencia que no fue utilizada en la construcción de la teoría y, en particular, son los fenómenos, conocidos o desconocidos, que no pertenecen al conjunto de los problemas que la teoría, en un principio, se propone resolver. Como analizaremos más adelante, el problema consiste en elucidar en qué consiste usar una evidencia, en sentido estricto, el conocimiento de una evidencia y no la evidencia misma, en la construcción de una teoría. Por consiguiente, esta perspectiva heurística de las predicciones no solo requiere la elucidación de

¹³ Lakatos aceptó las críticas de sus discípulos con respecto a la rigidez de su criterio y a la necesidad de dar cuenta de los casos históricos desfavorables del predictivismo y cambió su concepción epistémica de la predicción en favor de una concepción heurística general (véase Frankel 1979).

la relación entre el conocimiento de la evidencia y el conocimiento previo, sino que, además, requiere la elucidación del concepto ambiguo de la situación problemática de una teoría. En efecto, esta concepción heurística de la predicción tiene que ofrecer condiciones necesarias y suficientes que definen si un fenómeno pertenece, o no, al conjunto de los problemas que una teoría pretende resolver.

Por estas razones, en esta concepción de la predicción, la acomodación satisfactoria de la evidencia conocida, incluso cuando dicha evidencia es anómala para las teorías previamente disponibles, no confirma o disconfirma, *por sí sola*, una teoría, sino que, además, hay que evaluar su relación con el proceso de construcción de dicha teoría y con el conjunto de los problemas que la teoría pretende resolver. Por ejemplo, si la evidencia ya se conoce, pero no pertenece a la situación problemática de esa teoría, entonces, no es un caso de acomodación, sino que, por el contrario, es un caso de predicción. Ahora bien, si la evidencia ya se conoce y, además, también pertenece a la situación problemática de esa teoría, entonces sí es un caso de acomodación. Sin embargo, para Zahar, en este caso, la evidencia no le proporciona ningún apoyo confirmatorio a esa teoría. Por último, si la evidencia no se conoce, entonces no puede pertenecer a la situación problemática de esa teoría, por lo que, en consecuencia, la evidencia desconocida siempre es un caso de predicción. De esta manera, la concepción heurística de la predicción de Zahar apoya el predictivismo fuerte, debido a que solamente las predicciones heurísticamente novedosas confirman una teoría; mientras que la acomodación exitosa de la evidencia no otorga ningún apoyo confirmatorio.

Con todo, creemos que la extensión heurística del concepto de predicción no es necesaria para defender una posición predictivista, al menos, una posición moderada y que, además, “la expansión del significado de novedad tuvo un precio” (Douglas y Magnus, 2013, p. 581). En efecto, sostenemos que la posición heurística reemplaza una concepción más intuitiva de la predicción por una concepción que, en definitiva, resulta aún más compleja de definir y que, además, como señalaremos en la próxima sección, conduce a serios problemas epistemológicos. Creemos que esta concepción heurística incluye casos de predicción que, si tenemos en cuenta nuestras intuiciones usuales y la práctica científica concreta, no estaríamos dispuestos a considerar como casos de predicción novedosa. Por otra parte, y más allá de esta consideración *externa*, el problema más relevante para esta concepción heurística general consiste en determinar, de manera precisa, las condiciones bajo las cuales un científico usa el conocimiento de una evidencia en la construcción de una teoría. Este punto es sumamente relevante, puesto que, por ejemplo, Zahar (1973 y 1989) argumenta que Einstein no utilizó el conocimiento que

ya se tenía de la tasa de precesión del perihelio de la órbita de Mercurio en la construcción de su teoría de la relatividad general. Sin embargo, Earman y Glymour (1978) y Earman y Janssen (1993), realizaron un análisis historiográfico minucioso y sostuvieron que Einstein, por el contrario, sí usó ese conocimiento en la construcción de la teoría. En la próxima sección, evaluaremos estas dificultades a las que, según nuestra posición, conduce irremediamente la concepción heurística de la predicción.

Como señalamos al inicio de esta sección, la concepción heurística de la predicción tiene sus divergencias internas. En efecto, el significado de la novedad en la concepción heurística de Zahar no es equivalente al significado que tiene la novedad en la concepción heurística de la predicción en general (véase Gardner 1982). En la concepción heurística en general, el significado de la novedad refiere a que el conocimiento de la evidencia no fue utilizado, en un sentido amplio, en la construcción de una teoría (esto es, la *use novelty*); mientras que, en la concepción de Zahar, el significado de la novedad refiere a que el conocimiento de dicha evidencia no fue utilizado en la construcción de la teoría, pero, en un sentido más restringido, esa evidencia no refiere a ningún fenómeno que pertenece al conjunto de los problemas que la teoría pretende resolver (esto es, la *problem situation novelty*).

Según Gardner (1982) estas dos perspectivas acerca del concepto de novedad conducen a dos concepciones de la predicción que no son equivalentes, ya que el conocimiento de una evidencia puede no haber sido utilizado en la construcción de la teoría (y, por lo tanto, es *use novelty*) y, al mismo tiempo, esa evidencia puede pertenecer al conjunto de los problemas que dicha teoría pretende resolver (y, por lo tanto, no es *problem situation novelty*). Del mismo modo, una evidencia puede no pertenecer al conjunto de los problemas que la teoría pretende resolver (y, por lo tanto, es *problem situation novelty*) y, al mismo tiempo, el conocimiento de esa evidencia puede haber sido utilizado en la construcción de esa teoría (y, por lo tanto, no es *use novelty*). Gardner ejemplifica una de estas situaciones posibles con el siguiente caso. Un científico que está intentando construir una teoría general del movimiento de los cuerpos (terrestres y celestes) podría usar las observaciones que ya dispone acerca de los cuerpos celestes para sostener que el movimiento de todos los cuerpos (incluidos los terrestres) es circular. En este caso, por consiguiente, ninguna observación, esto es, ninguna evidencia conocida acerca del movimiento de los cuerpos terrestres fue usada en la construcción de esa teoría. Sin embargo, el movimiento de los cuerpos terrestres pertenece al conjunto de los problemas que la teoría pretende, en principio, resolver.

Ahora bien, pareciera que el problema, en este ejemplo, es la relación entre los dominios de la teoría, ya que, si bien los cuerpos pertenecerían a dominios distintos, la teoría general supone, desde un principio, que todos los cuerpos describen los mismos movimientos. De esta manera, aunque se utilice el conocimiento de la evidencia ya disponible acerca del movimiento de los cuerpos celestes en la construcción de la teoría, pareciera que este hecho también implica afirmar algo acerca de los cuerpos terrestres y, en consecuencia, el movimiento de estos cuerpos sí desempeña, aunque sea como un supuesto, un papel heurístico en la construcción de la teoría. En general, Gardner sostiene que ninguna de las dos concepciones de la predicción ofrece una definición explícita satisfactoria. En efecto, la concepción según el uso (*use novelty*), por una parte, es la más ambigua, ya que no proporciona ninguna condición necesaria y suficiente, más allá de la idea común de uso, que defina si la evidencia conocida fue utilizada en la construcción de una teoría. Sin embargo, Gardner sostiene que la misma situación ocurre con la concepción de la situación problemática de la teoría (*problem situation novelty*), ya que ésta tampoco ofrece una elucidación clara de las condiciones bajo las cuales una evidencia conocida pertenece al conjunto de los problemas que la teoría, en principio, pretende resolver. En definitiva, Gardner considera que los dos conceptos son ambiguos e incluso sostiene que, en el caso de que se los pueda definir, cualquiera sea la definición, ésta conduce irremediabilmente a problemas epistémicos. En la próxima sección, evaluaremos estas críticas a la concepción heurística.

John Worrall (1978) intentó defender la concepción heurística de la predicción ofreciendo lo que, según su posición, expresaría una elucidación *objetiva* del significado de la novedad. Como analizaremos en la próxima sección, según Gardner (1982, p. 8), el intento de Worrall, “si bien logró aclarar y ejemplificar las ideas de Zahar, no logró eludir sus objeciones fundamentales”. La concepción de Worrall asumió las dificultades normativas y descriptivas de la defensa deductivista del predictivismo y adoptó la estrategia general del deductivismo, esto es, aceptó que había que redefinir y ampliar el concepto restringido de predicción de Popper. En consecuencia, Worrall (1978, p. 48) sostuvo que “las consecuencias lógicas empíricamente aceptadas de una teoría usadas en su construcción, y *solamente éstas*, no le otorgan apoyo [confirmatorio]” (énfasis nuestro). Como señalamos, el problema central es definir cuándo el conocimiento de la evidencia ha sido, efectivamente, usado en la construcción de una teoría.

En trabajos posteriores, Worrall (1985, pp. 301-311) admite este problema y sostiene que “quizás la dificultad más obvia de la perspectiva heurística del apoyo empírico es su vaguedad: ¿qué significa exactamente que un resultado empírico fue usado en la construcción de una teoría?”. Worrall sostiene que esta vaguedad puede esclarecerse si analizamos, de manera

adecuada, (1) ciertos casos claros de la historia de la ciencia y (2) el esquema normativo de la confirmación (en suma, si analizamos las dificultades normativas y descriptivas de la defensa deductivista). En esta dirección, Worrall (1978, pp. 50-51) propone que la confirmación tiene que ser una relación lógica de *tres lugares* entre la teoría, un enunciado empírico y el conjunto de los enunciados empíricos que fueron usados en la construcción de la teoría; y sostiene que “las consideraciones heurísticas que guiaron la construcción de la teoría pueden especificarse de manera objetiva”. Como señalamos anteriormente, Worrall cree que puede proporcionar una elucidación objetiva del significado de la novedad. Por ello, sostiene, a diferencia de la concepción de la *problem situation novelty*, que para la concepción heurística de la predicción no importa lo que a Einstein “le preocupaba [resolver] en el momento en el que formuló su teoría”, sino si Einstein “necesitaba utilizar algún resultado acerca de Mercurio para ajustar alguna parte de su teoría” (Worrall 1985, p. 319, énfasis nuestro). En suma, Worrall cree que puede proporcionar un criterio objetivo, según el cual es posible determinar si el conocimiento de la evidencia es necesario para que la teoría acomode satisfactoriamente esa evidencia.

En las secciones 5 y 6 de este capítulo, analizaremos con mayor detalle en qué consiste este criterio objetivo. En líneas generales, podemos adelantar que se conecta con el debate acerca de la justificación epistémica de la introducción de hipótesis *ad hoc* y, más en general, con la justificación de ciertas estrategias que, en principio, pueden considerarse *ad hoc*. Entre estas estrategias, Worrall evalúa el ajuste de los parámetros inicialmente libres de una teoría a partir del conocimiento de la evidencia disponible. Para los filósofos predictivistas y deductivistas, el uso del conocimiento de la evidencia en la construcción de una teoría se parece lo suficiente a la práctica, más usual, de introducción de hipótesis *ad hoc*. Worrall (2006 y 2014), por ejemplo, afirma que el verdadero problema, esto es, el problema de fondo, en el debate acerca de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida es el problema de la justificación epistémica de estas *estrategias ad hoc*. Worrall cree que en la acomodación de la evidencia conocida y en el ajuste *ad hoc* de los parámetros libres de una teoría interviene una práctica metodológicamente inadecuada, conocida como “doble conteo”. Según Worrall, existe doble conteo si un resultado experimental se usa en la construcción de la teoría y, además, *se vuelve a usar* a la hora de evaluar el apoyo empírico de esa misma teoría. Si la evidencia *se cuenta dos veces*, no proporciona ningún apoyo confirmatorio.

Pese a estas diferencias en el significado de la novedad, estas concepciones de la predicción comparten la crítica al concepto restringido de predicción y sostienen que el desconocimiento de la evidencia no es una condición necesaria, sino solamente suficiente para que la evidencia

sea una predicción. Ambas concepciones superan los obstáculos normativos y descriptivos de la defensa deductivista del predictivismo, debido a que fueron desarrolladas, justamente, para dar cuenta de estos problemas. En efecto, la extensión del concepto de predicción cubre los contraejemplos paradigmáticos del predictivismo que señalamos en la sección anterior. Por estas razones, cabe preguntarnos si no son posiciones *ad hoc* propuestas exclusivamente para reestablecer la adecuación del predictivismo con las teorías deductivistas de la confirmación y con la práctica científica. Por nuestra parte, sostendremos que esta redefinición heurística del concepto de predicción no concuerda con nuestras intuiciones acerca de lo que usualmente consideramos una predicción novedosa y que, principalmente, tiene problemas epistémicos. Intentaremos mostrar que la concepción epistémica de la predicción es comparativamente superadora.

Además de estas dos posiciones heurísticas que hemos evaluado, existen otras propuestas de otros filósofos deductivistas. Entre ellos, Henry Frankel (1979, p. 25) afirma que “un hecho es novedoso con respecto a una hipótesis y a su programa de investigación si no es semejante a otro hecho que ya haya sido usado [...] para apoyar otra hipótesis diseñada para resolver los mismos problemas que la hipótesis en cuestión”. Richard Nunan (1984, p. 279), por su parte, sostiene que “un hecho es novedoso con respecto a una hipótesis si no ha sido usado para apoyar, o bien no puede explicarse en los términos de, una teoría incluida en algún programa de investigación rival”. Como podemos advertir, la propuesta de estos dos filósofos pretende elucidar los conceptos oscuros de situación problemática de una teoría y, además, también pretende explicar que la concepción heurística de la predicción puede dar cuenta de los casos en los que la evidencia conocida es una anomalía de las teorías rivales. Sin embargo, creemos que estos intentos conducen a los mismos problemas epistemológicos de las concepciones de Zahar y Worrall y que solo constituyen, en nuestra opinión, intentos *ad hoc* de elucidar estos conceptos problemáticos.

2. 4 Las críticas a la concepción heurística: psicologismo y biografialismo

En esta sección, analizaremos y evaluaremos las principales críticas a la concepción heurística de la predicción que ya adelantamos en la sección anterior. Como señalamos previamente, los conceptos de situación problemática de una teoría y de uso del conocimiento de la evidencia en la construcción de una teoría son, como mínimo, “algo oscuros” (Glymour 1980, p. 99), por lo cual elucidarlos es una tarea sumamente compleja. Los defensores de la concepción heurística

recurrieron a la historia de la ciencia para elucidar estos conceptos, de manera que la estrategia consistió en mostrar algunos casos en los cuales podría considerarse que el conocimiento de la evidencia se usó en la construcción de una teoría. Worrall (1985, p. 311), por ejemplo, sostiene que el problema de la elucidación de estos conceptos no es acuciante y que puede resolverse, puesto que existen “algunos casos especialmente distintivos y claramente descriptibles” en la historia de la ciencia que muestran cuándo el conocimiento de la evidencia fue usado en la construcción de una teoría.

Como analizaremos con mayor detalle en las próximas dos secciones, Worrall señala que un ejemplo de estos casos es cuando los científicos ajustan el valor de los parámetros libres de una teoría mediante los datos empíricos disponibles. Cabe recordar que, independientemente de los ejemplos históricos que se señalen, ningún caso particular es una prueba concluyente de una afirmación general. En efecto, esta estrategia no proporciona una definición de estos conceptos. Para Gardner (1982), los defensores de la concepción heurística pueden ilustrar muy bien su posición mediante distintos ejemplos de la historia de la ciencia, pero fallan a la hora de proporcionar las condiciones necesarias y suficientes que definen los conceptos de situación problemática y de uso del conocimiento de la evidencia en la construcción de una teoría. Campbell y Vinci (1983, p. 318), sostienen, en esta dirección, que “dada la complejidad de los casos históricos [...], parece improbable que estos ejemplos puedan, por sí solos, resolver *el problema de la definición*” de la predicción (énfasis nuestro).

Ahora bien, independientemente de la estrategia que sigamos para resolver este problema de la definición, la crítica fundamental a la posición heurística sostiene que, cualquiera sea esta estrategia, esto es, cualquiera sea la definición de estos conceptos, esta concepción de la predicción conduce a problemas epistemológicos indeseados. Como ya señalamos, cualquier investigación que busque determinar qué fenómenos pertenecen a la situación problemática de una teoría o si el conocimiento de la evidencia se usó, de hecho, en la construcción de una teoría, es muy compleja. En efecto, esta investigación requiere métodos historiográficos, cuya validez puede resultar cuestionable, que recopilen la información relevante acerca de la construcción de una teoría. El punto consiste en que no toda la información relevante se encuentra disponible en la bibliografía científica especializada, sino que, además, también puede haber información en otras fuentes. De esta manera, la investigación también necesita recurrir, en muchos casos, a otro tipo de fuentes, incluso no publicadas, como cartas y diarios personales, cuya relevancia para el tema es difícil de determinar.

Por estas razones, sostendremos que la concepción heurística implica, en última instancia, un compromiso de tipo *psicologista*: las predicciones dependen de las *motivaciones* que los científicos *tienen en mente* cuando construyen sus teorías (véanse, por ejemplo, Gardner 1982; Musgrave 1974 y Schindler 2014), o bien de tipo *biograficalista*: las predicciones dependen de las *trayectorias personales* de los científicos que construyen las teorías (véanse, por ejemplo, Barnes 2008 y Collins 1994). Por consiguiente, la investigación debe asumir, en primer lugar, una decisión metodológica con respecto a la evidencia conocida que considerará relevante, esto es, ¿debe incluirse toda la evidencia que apoya la teoría y que ya se conoce en el momento de su formulación? ¿O solo se debe incluir la evidencia conocida que pertenece al dominio de la teoría y que desempeñó un papel causal indispensable en el proceso de su construcción? Y si debemos incluir esta clase de evidencia, ¿debemos hacerlo incluso si los científicos no fueron conscientes del papel que desempeñó?

Creemos que estas decisiones metodológicas conducen a la adopción de los compromisos que señalamos anteriormente. Asimismo, también sostenemos que la concepción heurística desemboca en un debate interminable, e irresoluble, acerca de la veracidad y de la relevancia comparativa de las fuentes de información. En efecto, ¿la información publicada en revistas científicas especializadas es más relevante que la información científica que se compartió en un intercambio epistolar entre pares? ¿Tienen algún valor epistémico las notas autobiográficas de los científicos con respecto a su propia interpretación acerca de la evidencia que tuvieron en cuenta en la construcción de una teoría? En definitiva, creemos que estas preguntas complican y oscurecen la elucidación de los conceptos de situación problemática de una teoría y de uso del conocimiento de la evidencia y nos alejan, en consecuencia, de las intuiciones epistémicas acerca del significado de las predicciones.

Zahar (1973), por ejemplo, argumenta que Einstein no usó el conocimiento de la precesión del perihelio de la órbita de Mercurio en la construcción de la teoría de la relatividad general, por lo que, en consecuencia, fue una predicción exitosa que confirmó la teoría, debido a que esta evidencia no aparece mencionada en ningún lugar de su artículo fundamental de 1915 en donde Einstein publica, por primera vez, su teoría. Además, Zahar también sostiene que la precesión anómala del perihelio de Mercurio no pertenece al conjunto de los problemas que la teoría se propuso resolver, puesto que Einstein enumera explícitamente en ese artículo los problemas más fundamentales que se esperaba que, eventualmente, la teoría de la relatividad general debía resolver y no incluye la precesión anómala del perihelio de la órbita de Mercurio. Sin embargo, Earman y Janssen (1993), apoyándose en un análisis historiográfico más amplio y

minucioso, que incluye la correspondencia privada de Einstein con otros físicos y científicos, sostienen que Einstein no solo ya conocía la evidencia de la tasa de precesión del perihelio de Mercurio, sino que, además, también la consideraba como uno de los problemas que la teoría de la relatividad general debía resolver y que, incluso, también usó dicho conocimiento en la construcción de la teoría.

Los siguientes hechos apoyarían esta última posición: (1) en una carta a Arnold Sommerfeld fechada el 28 de noviembre de 1915, “Einstein enumera tres razones por las cuales abandonó su confianza en los métodos y en los resultados de la teoría de Einstein-Grossman” de 1913 (una teoría gravitatoria con las pretensiones de la teoría de la relatividad general), e incluye el hecho de que esta teoría proporciona un valor incorrecto de la tasa de precesión (Earman y Janssen 1993, p. 137); (2) la primera formulación de las ecuaciones de campo obtenía, dentro del margen de error, el valor observado de la tasa de precesión, pero era una formulación incorrecta de las ecuaciones. Sin embargo, una semana después de esta primera formulación, Einstein presentó una nueva formulación revisada, y correcta, de las ecuaciones que también permitía deducir el valor observado de la tasa de precesión. Frente a este hecho, Einstein sostuvo que “ninguna otra teoría gravitacional había logrado hacer eso” (Earman y Glymour 1978, p. 300); y (3), quizás el hecho más relevante, “Einstein afirmó, en una carta a Conrad Habicht *de 1907*, que la precesión del perihelio de Mercurio debería ser un efecto relativista general” (Seelig 1956, p. 76, énfasis nuestro). En efecto, esta afirmación sugiere que, en 1907, esto es, mucho antes de la formulación de la teoría, Einstein ya conocía la evidencia y, además, creía que tenía alguna relación con la relatividad general.¹⁴

Ahora bien, Einstein no solo consideraba que la tasa de precesión del perihelio de Mercurio era una evidencia central, ya que era una anomalía para las teorías gravitacionales disponibles, sino que, además, sostenía que su teoría de la relatividad general la deducía, a diferencia de la mecánica clásica, sin la necesidad de realizar ningún tipo de ajuste que pudiera considerarse epistémicamente sospechoso. Por esa razón, podemos decir que Einstein está más cerca de una posición según la cual, en la confirmación de una teoría, es más relevante el hecho de que la teoría implique la evidencia, sin recurrir a ningún tipo de ajuste *ad hoc*, que el hecho de que el

¹⁴ En noviembre de 1915, Einstein publicó cuatro artículos en los que, finalmente, y luego de casi 8 años de trabajo, dio a conocer la teoría de la relatividad general. El artículo cúlmine, titulado *Las ecuaciones de campo de la gravitación*, fue publicado el 25 de noviembre. El 4 de noviembre presentó una primera formulación, en las que introduce el principio de la covarianza; luego, en el segundo artículo, del 11 de noviembre, corrigió los errores de la primera formulación y le dio forma a la versión definitiva de las ecuaciones de campo. En el tercer artículo, presentado el 18 de noviembre, y titulado, apropiadamente, *Explicación del movimiento del perihelio de Mercurio a partir de la teoría general de la relatividad*, consiguió explicar este fenómeno anómalo (véase Pais 1982, pp. 250-257).

conocimiento de la evidencia haya sido usado en la construcción de la teoría. En la próxima sección, analizaremos la relación entre el predictivismo y estas “estrategias *ad hoc*”. Con todo, la posición de Einstein es, por una parte, compatible con el predictivismo más fuerte, según el cual la precesión del perihelio de Mercurio es una predicción novedosa, puesto que, si bien ya se conocía, era una anomalía para las teorías disponibles que la relatividad general explicó de manera no *ad hoc*. Ahora bien, por otra parte, también es compatible con un predictivismo moderado, según el cual la precesión del perihelio es un caso de acomodación genuina, puesto que, si bien ya se conocía, la teoría de la relatividad general acomodó la evidencia de una manera no espuria. En el capítulo 4, mostraremos que la teoría bayesiana de la confirmación permite la defensa de esta clase de predictivismo moderado.

Pensamos que no hay razones epistémicas que justifiquen que una clase de información (por ejemplo, la información publicada en las revistas científicas especializadas) ofrece información más relevante que otra (por ejemplo, la información que podría ofrecer la correspondencia privada entre pares o la que podrían ofrecer las notas personales) a la hora de evaluar el papel del conocimiento de la evidencia en el proceso de construcción de una teoría. A su vez, creemos que el hecho de que un científico no haya explicitado su conocimiento de una evidencia en cualquiera de sus escritos (ya sean públicos, privados, publicados, inéditos), no implica que ese conocimiento no desempeñó, de hecho, un papel heurístico en la construcción de dicha teoría. En conclusión, creemos que no existe una manera no *ad hoc* de sostener que una fuente de información específica ofrece información más relevante que otra. Por estas razones, creemos que la concepción heurística de la predicción no puede resolver, de manera epistémicamente justificada, el problema del psicologismo y del biografalismo.¹⁵

En la sección anterior, adelantamos que Worrall sostiene que su teoría supone una relación de confirmación lógica, cuyos *relata* pueden determinarse objetivamente. De esta manera, Worrall rechaza que la concepción heurística conduzca a compromisos de tipo psicologistas o de tipo biografialistas. Según Worrall, el proceso de análisis heurístico es objetivo y universal y no depende, ni de lo que los científicos tienen en mente cuándo construyen sus teorías, ni de sus trayectorias personales. Worrall (1985, p. 319), sostiene que los casos claros de la historia de la ciencia señalados apoyan esta posición y espera que estos casos disipen el temor de los

¹⁵ Nancey Murphy (1989), por su parte, propone una concepción heurística de la predicción que, según su perspectiva, supera las críticas a las concepciones de Zahar y de Worrall. Murphy (1989, p. 388) sostiene que “‘uso’ puede definirse en los términos de documentación públicamente disponible”. Creemos que este tipo de redefinición del concepto de uso de la evidencia es una modificación *ad hoc*, cuyo único propósito es evitar, *post factum*, las objeciones.

filósofos a los posibles compromisos psicologicistas, ya que, como muestran los ejemplos, “no necesitamos, de hecho, tanta información *acerca de lo que hay en la mente* de los científicos como podría parecer” para determinar si la evidencia conocida se tuvo en cuenta a la hora de construir una teoría (énfasis nuestro). Lo único que necesitamos analizar es si la evidencia conocida se utilizó para ajustar algunos de los valores de alguna parte de la teoría, de manera que ésta concuerde, *post factum*, con la experiencia. Para Worrall, este análisis no depende de los métodos historiográficos, sino exclusivamente de consideraciones epistemológicas acerca de la evidencia y de la teoría.

En relación con el caso de la precesión del perihelio de Mercurio, Worrall (1985, p. 319) afirma que “está claro que la teoría de la relatividad general surgió de una extensión que Einstein hizo de su programa de relatividad a casos de marcos [de referencia] acelerados y que no necesitaba ningún resultado, por ejemplo, acerca de la órbita de Mercurio, para ajustar alguna parte de su teoría”. Worrall (2005, p. 819) reafirma que su posición “no les otorga ningún papel a los factores psicológicos. Si bien se presenta como una versión de la ‘perspectiva heurística’, es, en el fondo, una teoría *lógica* de la confirmación” (énfasis del autor). Y aún en 2014, Worrall (p. 55) sostiene que el conocimiento de la precesión anómala del perihelio de Mercurio, aunque sea una consecuencia de ella, no desempeñó ningún papel en el desarrollo de la teoría de la relatividad general. “Por lo tanto, la teoría *predice*, en el sentido relevante, el hecho y, en consecuencia, [...] apoya de manera plena la teoría, y tan plenamente como si hubiera salido a la luz solo después de la formulación de la teoría” (énfasis del autor).

De esta manera, la posición de Worrall se asemeja a la de Einstein, puesto que, en el fondo, Worrall está más preocupado por la posibilidad de un ajuste *ad hoc* de la teoría que de la utilización, o no, del conocimiento de la evidencia en el proceso de construcción de la teoría. Worrall pareciera sostener que la precesión del perihelio de Mercurio confirmó la teoría de la relatividad general porque dedujo la tasa observada de precesión y porque, además, y en un sentido más relevante, explicó ese fenómeno en sus propios términos, esto es, sin la necesidad de recurrir a ninguna estrategia que pueda ser considerada *ad hoc*. Sin embargo, como ya señalamos, estos hechos son igualmente compatibles con la defensa de un predictivismo epistémico moderado, según el cual esta clase de acomodación, en este caso, de la evidencia acerca de la tasa de precesión observada del perihelio de Mercurio, es genuina, de manera que, en consecuencia, también confirmó la teoría de la relatividad general.

Argumentaremos que hay estrategias científicas y virtudes epistémicas de las teorías, entre ellas, como señalaremos más adelante, la simplicidad y el poder unificador de una teoría, que

permiten distinguir entre la acomodación genuina y la acomodación espuria, esto es, entre un tipo de acomodación que confirma una teoría y otro que no. Worrall sostiene, en cambio, que esas estrategias y virtudes sirven para distinguir entre la acomodación de la evidencia, en general, y las predicciones novedosas, ya que su objetivo es defender el predictivismo fuerte. Con todo, en trabajos posteriores, Worrall abandona esta posición más fuerte y adopta una más moderada. En las próximas secciones, analizaremos las razones de este cambio de posición.

Pese a esta elucidación, “el concepto de apoyo [empírico] de Worrall está sujeto a la misma acusación que [Gardner] le realizó al concepto de *use novelty* de Zahar” (Gardner 1982, p. 8). Según Gardner, las elucidaciones ofrecidas por Worrall también implican el examen de fuentes no publicadas que, generalmente, no se encuentran disponibles para todos los miembros de la comunidad científica que están discutiendo las teorías. Por esta razón, Gardner (1982, p. 7) considera que la teoría de Worrall es relativa a una persona (*person relative*), esto es, “relativa a la persona que construyó la teoría” y que dispone de las fuentes; y que, además, también es subjetiva, es decir, es una teoría que depende de lo que los científicos tienen en la mente cuando construyen sus teorías. Sin embargo, Gardner (1982, p. 7) no sostiene que la relación de confirmación no sea lógica, eso lo concede, sino que lo que afirma es que la determinación del conjunto de los fenómenos que se tuvieron en cuenta en la construcción de la teoría es subjetiva, puesto que “la determinación de este conjunto requiere inferencias acerca de los procesos subjetivos [de los científicos] a partir de datos históricos esotéricos”. Años antes, Musgrave (1974) y, recientemente, Schindler (2014), sostienen, en sus aspectos generales, la misma crítica a la teoría del apoyo empírico y a la concepción de Worrall. Schindler (2014, p. 63), por ejemplo, cree que es “altamente implausible que hechos contingentes y posiblemente oscuros acerca de la construcción individual de una teoría influyan, de alguna manera, en la evaluación de esa teoría por parte de la comunidad [científica]”.

Por estas razones, creemos que la concepción de la predicción que evita estos compromisos epistémicamente indeseados es, en última instancia, la más simple e intuitiva: la concepción *epistémica*. Como ya señalamos, esta concepción sostiene que una predicción es un enunciado que se infiere de la teoría y que se refiere a fenómenos que se desconocen en el momento en el que se formula la teoría, esto es, a fenómenos que aún no han sido, en un sentido amplio, observados. En esta perspectiva, el significado de la novedad da cuenta de la incertidumbre respecto de la verdad de ciertas consecuencias de una teoría. Así, según esta posición, no importa si el conocimiento de la evidencia fue usado en la construcción de una teoría o si pertenece al conjunto de los problemas que la teoría pretende resolver, por tanto, no importan

las motivaciones personales de los científicos a la hora de construir sus teorías, ni sus trayectorias profesionales, ni sus intercambios epistolares, ni sus notas personales. Si la evidencia se conoce, esto es, si el fenómeno ya ha sido *observado* (y públicamente registrado), no es una predicción.¹⁶

Por último, también creemos que esta concepción proporciona un significado bien definido que, a diferencia de la concepción heurística, restringe su dominio de aplicación. En este sentido, esta posición no convierte al éxito de las predicciones en un hecho habitual, sino que, más bien, lo convierte en un hito destacable de la historia de la ciencia. El desafío de esta posición consiste en explicar qué ocurre en aquellos casos en los que la evidencia no es una predicción, pero que, sin embargo, la comunidad científica consideró que confirmó una teoría. La respuesta a esta pregunta consistirá, como señalaremos en las secciones 5 y 6 de este capítulo, en el capítulo 3 y, en especial, en el capítulo 4, en una moderación del predictivismo fuerte. Sostendremos que estos casos son ejemplos de acomodación genuina de la evidencia conocida que, a diferencia de la acomodación espuria, también constituyen casos de confirmación de teorías.

2. 5 La relación entre las *estrategias ad hoc* y la concepción heurística de la predicción

Como señalamos en las secciones anteriores, los filósofos deductivistas fueron más proclives a interpretar el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida en los términos del problema, cuyo reconocimiento ya estaba ampliamente aceptado entre los filósofos de la ciencia de la época, de la justificación epistémica de ciertas estrategias que se podrían considerar *ad hoc*, entre ellas, la más estudiada es la introducción de hipótesis *ad hoc*, pero que no se reducen exclusivamente a ella. Worrall (2006, p. 39) incluso afirma que “de hecho, el verdadero problema es quizás entender que el problema de *lo ad hoc* (*ad hocness problem*) es el *único problema* en este debate” (énfasis nuestro). En este sentido, es claro que el concepto de la novedad se conecta estrechamente con estas estrategias *ad hoc*. En general, según los filósofos predictivistas y deductivistas, si conocemos la evidencia, siempre podremos realizar alguna de estas estrategias *ad hoc*, de manera que la teoría implique dicha evidencia.

¹⁶ En el presente trabajo, no debatiremos la justificación del conocimiento observacional. Si bien reconocemos que es un problema epistémico relevante, creemos que escapa de los objetivos centrales de esta tesis y que, además, tampoco afecta la defensa del predictivismo. En general, creemos que la misma comunidad científica acuerda y regula los métodos de prueba que considerará válidos de acuerdo a las teorías mejor confirmadas y al progreso tecnológico.

Desde un punto de vista exclusivamente lógico, si conocemos la evidencia, y si esa evidencia es desfavorable para la teoría, siempre podremos restaurar la adecuación empírica de esa teoría.

Ahora bien, como analizaremos en el próximo capítulo, existen diferentes estrategias que podrían ser consideradas *ad hoc* que tienen diferentes consecuencias que afectan tanto a las propiedades lógicas de la teoría, como a su confirmación. En esta sección, podemos adelantar que estas estrategias son *ad hoc* si se realizan *post factum*, esto es, después del resultado de un experimento contrastador y con el único objetivo de acomodar la evidencia ahora conocida y desfavorable. Ahora bien, como también analizaremos en el capítulo 3, las estrategias *ad hoc* no son, necesariamente, epistémicamente inaceptables, de hecho, son muy comunes en la práctica de la ciencia, por lo que el problema consiste en evaluar bajo qué condiciones son aceptables. En este sentido, solo en el primero de los casos sería razonable sostener que la evidencia no confirma la teoría. Con todo, conviene señalar que, en el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida, las estrategias *ad hoc* pueden interpretarse, de manera más general, no en el sentido de una teoría intentando restaurar su adecuación empírica, sino en el sentido de la construcción de una nueva teoría que intente dar cuenta de la evidencia desfavorable para las teorías disponibles, pero, en principio, no para ella. En este sentido la nueva teoría *acomodaría* la evidencia disponible.

Ahora bien, para la concepción heurística, todo el punto reside, como ya señalamos, en qué significa que la evidencia no sea novedosa. Popper, y los filósofos falsacionistas, por su parte, investigaron con especial atención las hipótesis *ad hoc*, ya que consideraban que afectaba, en líneas generales, el carácter científico de las teorías y propusieron una metodología que, en la medida de lo posible, pudiera evitarlas. Por esta razón, ofrecieron un criterio muy restrictivo de novedad que no incluye los casos en los que se modifica el conjunto de las hipótesis *ad hoc* como casos de confirmación de una teoría. Como ya señalamos, algunos de sus discípulos rechazaron este criterio, ya que, según ellos, no lograba describir adecuadamente la práctica científica, por lo que adoptaron un criterio más amplio, según el cual el concepto de novedad no se conecta, simplemente, con el desconocimiento de la evidencia en el momento en el que se formula una teoría, sino con el uso del conocimiento de la evidencia y con la posibilidad de utilizar ciertas estrategias *ad hoc* en la construcción de una teoría. En el capítulo 3, trataremos exclusivamente la relación entre la aceptabilidad epistémica de las estrategias *ad hoc* y “los problemas de la justificación deductivista del predictivismo”, en especial, de su relación con la acomodación de la evidencia conocida. En esta sección, solo adelantaremos la relación entre estas estrategias *ad hoc* y la concepción heurística de la predicción novedosa, puesto que, como ya señalamos, según

esa concepción, habría casos de confirmación en los que la evidencia se conocía con anterioridad a la formulación de la teoría.

Como adelantamos en las secciones 3 y 4 de este capítulo, Worrall (2002 y 2006) sostiene que su concepción heurística de la predicción se conecta estrechamente con aquella estrategia que consiste en ajustar los parámetros inicialmente libres de una teoría a partir de la evidencia disponible. Según esta concepción, utilizar el conocimiento de la evidencia en la construcción de una teoría se interpreta como el uso de los datos previamente disponibles para ajustar los parámetros inicialmente libres de una teoría. Como señalaremos más adelante, esta estrategia no es, en principio, necesariamente *ad hoc*, sino que, puede considerarse *ad hoc* si el ajuste se realiza *post factum*, esto es, después de una contrastación desfavorable en la cual se había utilizado otro valor para esos parámetros. Como adelantamos, esta estrategia de ajustar *post factum* el valor de los parámetros libres de una teoría parece ser de una naturaleza diferente, que no tiene que ver con la introducción *ad hoc* de hipótesis auxiliares. En este caso, no se modifica el sistema teórico, pero se usan datos conocidos para ajustar un parámetro libre, de manera que esos datos no deberían usarse para confirmar la teoría. Como ya señalamos, si se lo hiciera, sería un caso claro de doble conteo, que los científicos explícitamente rechazan.

Worrall argumenta que, en estos casos, la teoría se formula, inicialmente, con un número de parámetros libres (Worrall (1985, p. 312) señala que esos parámetros pueden entenderse “en el sentido específico usual, esto es, constantes en alguna ecuación matemática, o en un sentido vago más general”) que les permite a los científicos un cierto *grado de libertad*, es decir, les permite a los científicos *trabajar* con ellos, por lo que siempre existe la posibilidad de obtener el resultado experimental a partir de un *ajuste* adecuado de esos parámetros.¹⁷ En este punto, conviene señalar que el concepto de parámetro, parámetro libre y parámetro empírico, por ejemplo, también es un tema de debate. En el próximo capítulo, intentaremos ofrecer una elucidación más sistemática de estos conceptos.

¹⁷ El término *parámetro* tiene un significado técnico que varía según la disciplina (por ejemplo, tiene su significado en matemática, en física, en lingüística, etc.), de manera que no existe un consenso general entre los filósofos, y entre los científicos, acerca de su significado. Aquí seguiremos, en virtud de la argumentación, el significado al que refiere Worrall. Los parámetros, en general, se contraponen a las variables y su función consiste en establecer relaciones de concordancia entre ellas en una ecuación. Sin embargo, como señalaremos, Worrall también adopta un sentido más vago y general del concepto con el objetivo de aplicarlo a eventos y propiedades físicas más concretas. Estas mismas apreciaciones se aplican al carácter *libre* de un parámetro, por lo que, de la misma manera, seguiremos el significado que Worrall adopta en su argumentación.

Según Worrall, los *parámetros libres* de una teoría son aquellos parámetros para los que esa teoría no puede proporcionar un valor preciso (o cuyo valor no está restringido por esa teoría, por lo que el parámetro queda libre por consideraciones teóricas generales), de manera que ese valor debe ser estimado, dentro de un rango, experimental o teóricamente. Además, tampoco se dispone de una medición precisa aceptada por la comunidad científica, esto es, el parámetro no puede ajustarse recurriendo a valores previamente disponibles y aceptados, por lo que su valor *no está fijado*, sino que es un valor abierto que la teoría, justamente, tiene que ajustar. Para esta concepción heurística de la predicción, solo los datos utilizados para ajustar los parámetros libres de una teoría se consideran “evidencia no novedosa”, de manera que, en todos los otros casos, la evidencia es una predicción. Worrall (2014, p. 55) resume la relación entre esta estrategia *ad hoc* y la acomodación de la evidencia conocida, entendida en este sentido heurístico, cuando sostiene que “la acomodación *ad hoc* de la evidencia, *E*, siempre puede representarse (incluso, algunas veces, de una forma artificial) como una teoría que se construye con un conveniente parámetro teórico libre, cuyo valor se fija, luego, exactamente de acuerdo a *E*, por lo que la teoría ajustada implica *E*”.

Worrall (2014, p. 55) sostiene que el verdadero problema, e incluso el único problema, en el debate acerca de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida es el problema de estas estrategias *ad hoc*, de manera que define a las predicciones, solamente por oposición a la acomodación de la evidencia, de la siguiente manera: “*T* predice la evidencia *E*, si *E* se deduce de *T* (y de hipótesis auxiliares) y solo en el caso de que *E* no fuera acomodada dentro de *T* mediante su uso en el ajuste de algún parámetro inicialmente libre” de dicha teoría. En consecuencia, según esta concepción de la predicción, lo más relevante, no es, simplemente, el conocimiento de la evidencia, sino si ha existido alguna clase de estrategia *ad hoc* para implicarla.

Thomas Nickles (1987, p. 191) analizó esta perspectiva de Worrall y sostiene que “no es la acomodación de los datos con la teoría lo que es *ad hoc*, sino la introducción *arbitraria* de los nuevos parámetros, [...] porque estos movimientos son objetables, independientemente de que la manipulación (*tampering*) implique, o no, la evidencia novedosa” (énfasis nuestro). De esta manera, Nickles sostiene que la práctica epistémicamente injustificada es la introducción de los nuevos parámetros libres e, incluso, la construcción de una teoría que contiene una gran cantidad de esos parámetros. En la misma dirección, Einstein sostuvo que una teoría adecuada no debería introducir ningún parámetro libre y John von Neumann parece haber sostenido, en un tono irónico, que “con cuatro parámetros puedo ajustar un elefante; y con cinco, puedo

lograr que mueva su trompa” (véase Dyson 2004, p. 297). El punto consiste, justamente, en si esta introducción es arbitraria o si, por el contrario, está epistémicamente justificada. Solo en el primero de los casos la maniobra sería *ad hoc*.

Worrall (1985 y 2006) sostiene que esta estrategia de ajustar los parámetros libres de una teoría no es, en principio, metodológicamente ilegítima, ni que hay algo no científico alrededor de ella, sino que, por el contrario, sostiene que es muy usual entre los científicos. Las teorías científicas, usualmente, están formuladas de manera muy general, por lo que los científicos necesitan, en la mayoría de los casos, introducir ciertas condiciones empíricas para poder aplicarlas a las situaciones particulares y realizar predicciones. En consecuencia, se obtiene una teoría que especifica la generalidad de la teoría inicial. En otras palabras, la teoría específica se obtiene, por ejemplo, mediante la determinación de un valor definido para los parámetros inicialmente libres de la teoría general. Como ya señalamos, este valor se puede estimar de una forma teórica o se puede tomar de la experiencia, esto es, de la evidencia disponible. En este último caso, los experimentos y resultados disponibles limitan la elección de un valor y, en definitiva, el avance de las observaciones termina por restringir significativamente esa libertad. Las teorías suelen dejar parámetros libres cuando sus principios y supuestos teóricos más básicos se encuentran ampliamente aceptados. Además, en muchos casos, dado el estado del conocimiento científico y de la tecnología disponible, los científicos no cuentan con un valor preciso y ampliamente aceptado para esos parámetros, “ni con una justificación teórica para determinar un valor particular de un parámetro, debido a que, simplemente, no hay ninguna justificación teórica” (Worrall 2006, pp. 52-53).

Ahora bien, el riesgo de que esta estrategia sea *ad hoc* aparece vinculado con la manera en la que se determina el valor de este parámetro. En efecto, Worrall (2005, p. 819) sostiene que la diferencia está en si ese valor fue determinado a partir de “consideraciones teóricas, o como una consecuencia natural de esas consideraciones generales, o bien, si se fijó sobre la base de la evidencia; y si este fuera el caso, si la evidencia necesaria para fijar el valor del parámetro fue la evidencia en sí misma”. Con todo, la razón principal, y metodológicamente bien definida, para distinguir entre una estrategia de ajuste de parámetros genuina de una *ad hoc* consiste en que esta última no proporciona otras razones empíricas, aparte del hecho de que implica la evidencia ajustada. En otras palabras, la estrategia genuina de ajustar los parámetros libres de una teoría tiene que cumplir con otros requisitos epistémicos, entre ellos, el más aceptado por los filósofos es la *contrastación independiente*. En el próximo capítulo, analizaremos con mayor detalle los criterios que permiten justificar estas estrategias, con especial atención a la introducción de

hipótesis auxiliares. En esta sección, solo adelantaremos que, según Worrall, la estrategia de ajustar los parámetros libres de una teoría no es *ad hoc* si, además de implicar la evidencia disponible, también implica una nueva evidencia que pueda contrastarse de manera independiente.

En cuanto al ejemplo histórico de la precesión del perihelio de Mercurio, Worrall considera que, si bien el avance anómalo ya se conocía, en efecto, era anómalo para la mecánica clásica, fue una predicción de la teoría de la relatividad general, debido a que la teoría no utilizó ese conocimiento para su construcción, esto es, esta evidencia disponible no se utilizó para ajustar ninguno de los parámetros de la teoría. De hecho, la teoría de la relatividad general no posee ningún parámetro libre. Worrall (1978, p. 48), sostiene que la teoría de la relatividad general consiguió explicar la tasa de precesión observada a partir de hipótesis y de supuestos teóricos que son “*bastante independientes* de cualquier hecho acerca de la órbita de Mercurio” (énfasis nuestro). Por esta razón, la teoría tampoco necesita recurrir a ninguna estrategia que pudiera considerarse *ad hoc*. Por consiguiente, la precesión del perihelio de la órbita de Mercurio fue una predicción novedosa de la teoría general de la relatividad que confirmó la teoría. Como señalamos, esta extensión del concepto de predicción elude los contraejemplos históricos, de manera que permite seguir manteniendo un predictivismo fuerte. Sin embargo, como también señalamos, esta concepción tampoco evita las dificultades epistemológicas que conllevan los compromisos psicologicistas y biograficalistas. En este caso específico, creemos que la teoría de la relatividad general acomodó de manera genuina la evidencia acerca del avance anómalo del perihelio de Mercurio, por lo que, en consecuencia, esa evidencia conocida confirmó la teoría.

David Harker (2008, p. 447), por su parte, sostiene que lo importante en estos casos es que las teorías exitosas logran explicar los fenómenos anómalos “usando los mismos supuestos, estrategias, y principios que ya se emplean para explicar otros fenómenos”, de manera que “no necesitan otros supuestos o hipótesis que no fueran ya parte de la teoría en sí o de las teorías previas”. En un sentido general, Harker sostiene que lo importante en la confirmación de una teoría no es si el conocimiento de la evidencia fue utilizado en la construcción de una teoría, sino si esa teoría requiere, necesariamente, la introducción de hipótesis auxiliares para explicar ese fenómeno anómalo, puesto que, en ese caso, siempre existirá el riesgo latente de una introducción *ad hoc*. Como analizaremos en el próximo capítulo, Harker (2008) analiza si esta estrategia es *ad hoc* recurriendo a una virtud epistémica de las teorías: la simplicidad. Una teoría exitosa incrementa su capacidad explicativa sin perder la simplicidad del sistema teórico.

Lee McIntyre (2001) también conecta el concepto de novedad y el uso del conocimiento de la evidencia en la construcción de una teoría con estas estrategias *ad hoc*. McIntyre (2001, p. 309) afirma que, en estas estrategias, siempre existe la preocupación de que “se podrían estar ‘manipulando las cuentas’ (*cooking the books*)” y que, si esto ocurre, la teoría no se contrasta de manera adecuada. En especial, McIntyre analiza esta estrategia *ad hoc* a la luz del problema de la subdeterminación de las teorías y sostiene que, dado cualquier conjunto de datos, esto es, de cualquier conjunto de evidencias ya disponibles, existen infinitas teorías que lo ajustan correctamente y que encontrarlas es solo una cuestión de tiempo y de recursos tecnológicos. Por esta razón, la acomodación de la evidencia conocida conlleva un riesgo que no ocurre en el caso de las predicciones exitosas: establecer una gran cantidad de correlaciones espurias.

De esta manera, McIntyre (2001) sostiene que la acomodación de la evidencia conocida, en particular, el ajuste de los datos ya disponibles, tiene dos riesgos: (1) el ajuste de curvas (*curve fitting*), esto es, la construcción de una teoría o la interpretación de la evidencia que se está usando para contrastar la teoría, sin el respaldo de ningún principio o supuesto de la teoría, o de las teorías previas, con el único objetivo de que concuerden entre sí; y, principalmente, (2) el descarte (*culling*) de teorías, esto es, el riesgo de que en este proceso de acomodación de la evidencia se descarte una gran cantidad de teorías por el solo hecho de que no funcionan, es decir, por el solo hecho de que su consideración aleja a la acomodación del resultado deseado. McIntyre sostiene que si se descartan las teorías solamente por esta razón es probable que la teoría final que ajusta perfectamente la evidencia disponible no sea una explicación genuina de dicha evidencia, sino una correlación espuria construida artificialmente. En consecuencia, el uso del conocimiento de los datos disponibles en la construcción de una teoría corre el riesgo de convertirse en una estrategia *ad hoc*, ya que no ofrece ninguna garantía de una explicación genuina. Una consecuencia de esta perspectiva es que, a diferencia de lo que sostiene Worrall, “todas las acomodaciones están bajo la sospecha de manipulación”, ya que el solo hecho de conocer la evidencia, independientemente de que, efectivamente, se haya usado, supone los riesgos señalados (McIntyre 2001, p. 314). Por consiguiente, la crítica de McIntyre alcanza no solo a la concepción heurística de Worrall, sino a toda la concepción heurística, de manera que constituye una razón a favor de la concepción epistémica de la predicción.

Christopher Hitchcock y Elliott Sober (2004), por su parte, también analizan la acomodación a la luz del problema del ajuste de los datos previamente disponibles y también sostienen que puede convertirse en una estrategia *ad hoc*. En este análisis, Hitchcock y Sober (2004, p. 1) afirman que “la acomodación es una metodología defectuosa solo si los métodos usados para

acomodar la evidencia no están protegidos contra el riesgo del sobreajuste (*overfitting*)". Para esta posición, uno de los objetivos principales de las teorías, aunque no el único, es generar predicciones precisas y el sobreajuste es un método defectuoso porque, precisamente, no cumple este objetivo. Según Hitchcock y Sober, desde un punto de vista puramente lógico, si ya se dispone de ciertos datos, siempre será posible construir, aun de manera artificial, una teoría que los acomode exitosamente. En efecto, "es un teorema matemático que existe un polinomio de grado $(n - 1)$ (esto es, de la forma $a_{n-1}X^{n-1} + \dots + a_1X + a_0$) que ajusta *exactamente* todos los puntos de datos n , [...] por lo que [alguien que solo quiere acomodar esos datos] siempre podrá encontrar un polinomio de grado $(n - 1)$ que ajuste exactamente esos datos disponibles D " (Hitchcock y Sober 2004, p. 11, énfasis de los autores). Sin embargo, en la práctica, y la historia de la ciencia lo muestra, construir una teoría que acomode de manera exitosa toda la evidencia previamente disponible en un dominio dado no es una tarea trivial, sino que, más bien, es extremadamente difícil y pocas veces se consigue.

Con todo, Hitchcock y Sober (2004) argumentan que, si un científico construye una teoría teniendo en cuenta la evidencia de esta forma, está empleando un método defectuoso, ya que dicha teoría no le servirá, luego, para realizar predicciones precisas. En otras palabras, la teoría *solo* le servirá para explicar, y de manera *ad hoc*, la evidencia conocida. En efecto, la evidencia disponible también contiene una gran cantidad de ruido, de manera que, si se construye una curva compleja que ajusta exactamente esa evidencia, ésta, inevitablemente, se sobreajustará. En otras palabras, la teoría así construida es muy sensible a la evidencia conocida que se tuvo en cuenta en la construcción de la curva, por lo que, en consecuencia, es muy poco probable que pueda comportarse de la misma forma frente a nueva evidencia que no se tuvo en cuenta en la construcción. Por el contrario, si se construye una curva que se ajusta a la evidencia, pero no de forma exacta, es más probable que la teoría pueda realizar predicciones más precisas.

Con todo, a diferencia de McIntyre, Hitchcock y Sober (2004) sostienen que, si bien el riesgo de sobreajustar una curva siempre estará latente, el riesgo se puede reducir. En efecto, existe una gran cantidad de métodos matemáticos que miden la capacidad predictiva de una teoría y que se emplean para disminuir el riesgo del sobreajuste. En líneas generales, estos métodos realizan un balance entre el ajuste de la teoría y la evidencia y la simplicidad de la teoría, entendida de acuerdo a la cantidad de parámetros libres que contiene (véase, además, Forster y Sober 1994). De esta manera, "el sobreajuste está directamente relacionado con el número de parámetros: cuantos menos parámetros, más simple es la [teoría], menos probable es el sobreajuste y más probable es la acomodación de la evidencia desconocida" (Schindler 2014, p.

67).¹⁸ Por consiguiente, existen algunos métodos que permitirían disminuir los riesgos de una acomodación *ad hoc* de la evidencia conocida. En el capítulo 3, analizaremos con mayor detalle el concepto de simplicidad, una virtud epistémica de las teorías que, como podemos advertir, se conecta directamente con el problema de determinar cuándo estas estrategias son *ad hoc*.

Ahora bien, pese a que estos riesgos se pueden reducir, su sola posibilidad proporciona una razón en contra de la concepción heurística de la predicción y, en consecuencia, a favor de la concepción epistémica. En efecto, si adoptamos la concepción heurística de la predicción, la evaluación del problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida es más ambigua, ya que las predicciones heurísticamente novedosas también pueden conllevar estos riesgos y, con ello, la posibilidad de que se recurra a una estrategia *ad hoc*. En efecto, si la evidencia ya se conoce, independientemente de que contemos con un método que determine precisamente si el conocimiento de esa evidencia fue usado en la construcción de una teoría, siempre existirá la sospecha de que se haya empleado una estrategia *ad hoc* con el único objetivo de que esa teoría implique dicha evidencia. Por el contrario, si la evidencia no se conoce, esta sospecha no existe. En consecuencia, ésta sola sospecha es una desventaja de la concepción heurística de la predicción. En suma, sostenemos que el criterio más claro y más intuitivo para distinguir entre una predicción y la acomodación es la distinción epistémica. Con todo, también creemos que el estudio de los métodos que investigan estas estrategias, el uso del conocimiento de la evidencia disponible en la construcción de una teoría y las formas de reducir los riesgos de que esas estrategias sean *ad hoc* es relevante para nuestros objetivos, ya que permite distinguir entre la acomodación genuina de la evidencia conocida, la cual otorga apoyo confirmatorio a una teoría, y la acomodación espuria, la cual no le otorga ninguno.

2. 6 ¿La acomodación de la evidencia conocida confirma una teoría?

En este capítulo, mostramos que la mayoría de los filósofos deductivistas han defendido un predictivismo fuerte, según el cual *solo* las predicciones exitosas confirman una teoría y que, además, para conservar la ventaja epistémica de las predicciones por sobre la acomodación de la evidencia conocida, debieron reinterpretar el concepto de predicción desde una perspectiva heurística. Sin embargo, Worrall sostuvo que un análisis más adecuado del problema de la

¹⁸ Popper (1959b, p. 115), por su parte, relaciona la cantidad de parámetros libres que tiene una teoría con su grado de contrastabilidad o de falsabilidad. Como analizaremos con mayor detalle en el capítulo 3, Popper sostiene que cuántos más parámetros libres tiene una teoría, menor es su grado de falsabilidad, de manera que una teoría con más parámetros libres que otra es, relativamente, más *ad hoc* que ésta.

predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida debía redirigirse hacia el problema de la justificación epistémica de una estrategia que podría considerarse sospechosamente *ad hoc*, esto es, el ajuste de los parámetros libres de una teoría a partir de los datos disponibles. Ahora bien, esta nueva perspectiva del problema tuvo una consecuencia relevante: condujo a una moderación del predictivismo fuerte, debido a que, en esta perspectiva, la acomodación genuina de la evidencia conocida, concebida de manera heurística, esto es, la acomodación de la evidencia que no es meramente *ad hoc*, también confirma una teoría.

Según Worrall (2005), la evidencia conocida no es novedosa, esto es, no es una predicción, cuando su conocimiento se usa para ajustar los parámetros inicialmente libres de una teoría. En otras palabras, la evidencia E se tiene en cuenta para ajustar un parámetro libre $T(\lambda)$ de la teoría general, obteniendo una teoría $T(\lambda_0)$ más específica, ya que cuenta con un valor definido para ese parámetro inicialmente libre. Ahora bien, puesto que E , dado $T(\lambda)$, se deduce de $T(\lambda_0)$, hay un sentido, en principio, no trivial y lógicamente válido, en el que E confirma $T(\lambda_0)$. Según Worrall, la condición que esta clase de confirmación debe cumplir es que la teoría general esté sólidamente confirmada y establecida, por lo que E confirma $T(\lambda_0)$, *dado* $T(\lambda)$. El punto central es que E no confirma, bajo ningún criterio, $T(\lambda)$, esto es, la teoría general. Worrall (2014, p. 56) llama “confirmación intrateórica” a esta clase de *confirmación condicional*, ya que depende de que la teoría general y el conocimiento previo ya estén sólidamente confirmados. En este caso, afirma que la evidencia en cuestión confirma “de manera maximal” o “concluyente” la teoría específica, ya que ninguna otra evidencia confirmaría, en principio, mejor esa teoría que la evidencia que fue acomodada de esta manera.

Ahora bien, la dependencia de esta clase de confirmación con respecto a la teoría general implica que no siempre la evidencia confirma la teoría específica. Worrall (2006 y 2014) analiza el caso de “la teoría del diseño inteligente” o del “creacionismo científico”, aunque afirma que también alcanza a las teorías científicas en sus primeros desarrollos. Según Worrall, en estos ejemplos, ni la teoría general, ni los supuestos necesarios para ajustar los parámetros, están confirmados ni establecidos de manera *general* sobre la base de evidencia sólida, sino que solamente están promovidos por un grupo determinado que, además, también establecen sus propios estándares de prueba. Así, Worrall (2005, p. 822) sostiene que “existen restricciones lógicas estrictas que son impuestas por la teoría general y que constituyen la razón por la cual” el uso de los datos disponibles confirma la teoría específica. El creacionista, por el contrario, “opera de manera completamente *aleatoria*, sin verse afectado por ninguna restricción teórica”,

al postular una explicación en lugar de otra que, si bien difieren entre ellas, ambas implican la evidencia (Worrall 2005, p. 822, énfasis del autor).

En este ejemplo, el punto central es que el creacionista no cuenta, desde un principio, con ninguna razón para defender su teoría general. Por esta razón, la evidencia tampoco confirma la teoría específica, esto es, E no confirma $T(\lambda_0)$, *dado* $T(\lambda)$. Como señalamos, E confirma la teoría específica siempre que la teoría general y el conocimiento previamente disponible estén sólidamente establecidos. Con todo, como también señalamos, incluso si la teoría general está bien confirmada, tampoco “hay razón para pensar que la teoría general, en sí misma, obtiene apoyo empírico solo porque su versión específica implica la evidencia correcta” (Worrall 2006, p. 45). Nickles (1987, p. 189), por su parte, sostiene que, “seguramente, los datos que la teoría usó para determinar el valor del parámetro, le proporcionan algún apoyo a la ley de ajuste de parámetros” que se empleó. Sin embargo, según nuestra perspectiva, esta es una estrategia de acomodación *ad hoc* de la evidencia conocida que no proporciona una genuina confirmación de la teoría, ni de la general ni de la específica, sino que, en el mejor de los casos, muestra que la teoría cuenta con recursos para explicar la evidencia. Como señalamos y como analizaremos con mayor detalle más adelante, los casos genuinos de confirmación mediante la acomodación de la evidencia cumplen otros requisitos además de el solo hecho de implicar la evidencia.

Con todo, Worrall (2006 y 2014) sostiene que hay otra clase de confirmación, en este caso, incondicional, según la cual la evidencia conocida confirma, de una manera no *ad hoc*, la teoría general. Worrall (2014, p. 56) se refiere a esta confirmación incondicional como “confirmación interteórica”, debido a que, en este caso, los datos usados para obtener la teoría específica no solo confirman esa teoría específica, sino que, además, también confirman la teoría general. Según Worrall (2005, p. 818), en estos casos, “el apoyo se *propaga* desde la teoría específica hacia la teoría general en sí misma” (énfasis del autor). El análisis de esta estrategia resulta necesario, puesto que, según Worrall, es usual entre los científicos, esto es, parece que los científicos desarrollan gran parte de sus teorías mediante la determinación de un valor para los parámetros libres de las teorías generales y mediante la introducción de hipótesis auxiliares, sin las cuales, es imposible deducir consecuencias observacionales. Por consiguiente, resulta necesario analizar cómo es posible la confirmación de la teoría general *via* la teoría específica.

Según Worrall (2006, p. 47), la propagación del apoyo desde la teoría específica hacia la teoría general se produce “mediante dos tipos de éxito empírico”: (1) *la verificación de la evidencia independiente*, la cual ocurre de la siguiente manera. En primer lugar, la evidencia E se tiene en cuenta para construir la teoría específica $T(\lambda_0)$ mediante el ajuste de un parámetro libre de la

teoría general $T(\lambda)$. Luego, la teoría específica $T(\lambda_0)$, así construida, realiza, además, una predicción E' (en el sentido heurístico del concepto) independiente de E , esto es, $T(\lambda_0)$ predice una nueva evidencia que no se tuvo en cuenta para ajustar ningún parámetro de la teoría general $T(\lambda)$. Por último, si E' se verifica, entonces E' no solo confirma la teoría específica $T(\lambda_0)$, sino que, además, también confirma la teoría general subyacente $T(\lambda)$; y cuando (2) *La teoría específica es una "extensión natural" de la teoría general*, la cual ocurre de la siguiente manera (Worrall 2006, p. 51). La teoría que implica E es, de hecho, la teoría específica $T(\lambda_0)$. Sin embargo, la teoría $T(\lambda_0)$ es la "versión natural" de la teoría general $T(\lambda)$, de manera que E se obtiene naturalmente de la teoría general $T(\lambda)$ (Worrall 2006, p. 51).

El punto central de esta condición es, claramente, elucidar en qué consiste que una teoría sea la versión, o extensión, natural de otra teoría. En ninguno de sus artículos Worrall define el significado de este concepto e, incluso, afirma que "como todos los filósofos de la ciencia (¡casi todos!) que se han referido a la naturalidad (*naturalness*), o a sus parientes cercanos como la 'unicidad' o la 'simplicidad', yo tampoco soy capaz de ofrecer una caracterización adecuada y no circular" de este concepto, de manera que solo se limita a señalar algunos ejemplos que, según su perspectiva, dan cuenta de la intuición a la que se refiere este concepto (Worrall 2014, p. 57). En un sentido más amplio, la naturalidad tiene que ver con que las hipótesis auxiliares que se necesitan para implicar la evidencia (o los datos necesarios para ajustar los parámetros libres de una teoría) son una consecuencia directa de la teoría general, o bien son compatibles con ella, en el sentido de que no se requieren nuevas hipótesis sospechosas, cuya compatibilidad con la teoría general, además, requiere un análisis más complejo. En el capítulo 3, evaluaremos la interpretación de algunos conceptos que permite apoyar la introducción de hipótesis auxiliares y señalaremos que el concepto de extensión natural puede relacionarse con el concepto de simplicidad del sistema teórico.

En suma, según Worrall, la acomodación genuina de la evidencia, esto es, la acomodación *ad hoc* que confirma la teoría general, debe cumplir estos dos requisitos señalados, además de solo implicar la evidencia. En el próximo capítulo, analizaremos el problema de la justificación epistémica de la introducción de hipótesis *ad hoc* y evaluaremos la relación entre las hipótesis *ad hoc* y la acomodación genuina de la evidencia conocida. Según nuestra posición, esta clase de "confirmación interteórica", producto de la acomodación de la evidencia conocida, puede considerarse un caso genuino de confirmación de teorías, puesto que la clase de acomodación involucrada no es *ad hoc* (según nuestra concepción epistémica de la predicción, este hecho es una acomodación, ya que la evidencia ya se conoce; sin embargo, las mismas consideraciones

se aplicarían en el caso de que adoptáramos la concepción heurística). Ahora bien, el hecho de que esta “confirmación interteórica” dependa de “dos tipos de éxito empírico”, como señala Worrall, y que, incluso, dependa de la verificación de una nueva predicción, cuya contrastación es independiente de la de la evidencia conocida, sugiere que la verificación de las predicciones novedosas de una teoría tiene cierta ventaja confirmatoria sobre la acomodación de la evidencia conocida. Por esta razón, estos hechos apoyarían alguna forma de predictivismo moderado.

McIntyre (2001) también parece, en líneas generales, defender una posición semejante a la de Worrall. Sin embargo, concibe a la predicción desde una concepción epistémica y defiende la ventaja confirmatoria de las predicciones novedosas sobre la acomodación de la evidencia, puesto que, como señalamos en la sección previa, sostiene que solo en la acomodación de la evidencia conocida existe el riesgo de manipular la teoría de una manera *ad hoc* para que implique dicha evidencia. En la verificación de una predicción, por el contrario, no existe esta desventaja epistémica. Con todo, McIntyre (2001) sostiene que también existe una clase de confirmación condicional de las teorías por medio de la acomodación de la evidencia conocida. En efecto, McIntyre (2001, p. 314) sostiene que “una vez que se verificaron las predicciones, y recién ahí, es razonable aceptar como confirmatoria a la evidencia previamente disponible que la teoría logró acomodar”. De esta manera, si se verifican algunas de las predicciones de una teoría, entonces, las dudas iniciales que recaían sobre la acomodación de la evidencia conocida se resuelven y, por ello, la acomodación de la evidencia adquiere valor confirmatorio. Por esta razón, la posición de McIntyre puede conectarse con la confirmación condicional interteórica de Worrall y, en general, con el criterio de que, en esta clase de confirmación condicional, la teoría, además, también debe implicar una nueva evidencia independientemente contrastable. Ahora bien, los criterios que ofrece McIntyre son, incluso, menos claros que los de Worrall. En definitiva, sostiene que la acomodación de la evidencia conocida solo ofrece, y si es que ofrece alguna, una clase de confirmación condicional.

Hitchcock y Sober (2004), en cambio, afirman que la acomodación de la evidencia conocida confirma la teoría, aunque, como ya señalamos anteriormente, si y solo si se aplican ciertos métodos que reduzcan el riesgo del sobreajuste. Recordemos que, según Hitchcock y Sober, la ventaja confirmatoria de la predicción sobre la acomodación de la evidencia solamente es un síntoma de que, en el caso de la predicción, la teoría posee una virtud epistémica subyacente (en especial, la capacidad de realizar predicciones precisas). Por esta razón, debido a que “las teorías que acomodan la evidencia también pueden contar con esa virtud epistémica, también habrá casos en los que la acomodación de la evidencia sea tan buena como, o incluso superior

a, la predicción” (Hitchcock y Sober 2004, p. 4). Como también señalamos en la sección previa, los métodos que reducen el riesgo del sobreajuste llevan a cabo un equilibrio entre la bondad del ajuste (*goodness-of-fit*) y la simplicidad, y una predicción precisa es un indicador de que, de hecho, se ha realizado este equilibrio, puesto que es muy poco probable que una teoría que sobreajusta la evidencia pueda realizar predicciones precisas.

Schindler (2014), por su parte, ofrece una posición que, en líneas generales, sigue a la de Hitchcock y Sober. Según Schindler, la evidencia acomodada confirma la teoría porque es un indicador de otra virtud epistémica de esa teoría. Sin embargo, Schindler no identifica a esta virtud epistémica con la capacidad de realizar predicciones precisas, sino con la *coherencia*. Para Schindler (2014), si una teoría tiene la virtud de la coherencia, entonces, la acomodación de la evidencia confirma dicha teoría, puesto que es muy poco probable que las estrategias *ad hoc* realizadas en la teoría, o en el sistema teórico, cuyo único objetivo es mostrar la adecuación empírica de la teoría, puedan ofrecer una explicación coherente general, y sistemática, de la evidencia disponible. En el próximo capítulo, evaluaremos con mayor detalle la posición de Schindler con respecto a las hipótesis *ad hoc* y a la acomodación de la evidencia conocida.

Como señalamos en este capítulo, el programa de investigación de los filósofos deductivistas y predictivistas, tanto de aquellos que sostienen un predictivismo fuerte, como de aquellos para los cuales la acomodación también es un caso de confirmación de teorías, se vinculó, de manera inmediata, con el problema de la justificación epistémica de ciertas estrategias que podrían considerarse *ad hoc*. Según estos filósofos, el debate acerca de estas estrategias, en especial, acerca de las hipótesis *ad hoc*, más antiguo y estudiado que el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida, ofrece un camino más fértil para evaluar la posible ventaja confirmatoria de las predicciones novedosas sobre la acomodación de la evidencia conocida. Además, y quizás más importante, también ofrece herramientas útiles para evaluar una posible distinción entre la acomodación genuina y la acomodación meramente espuria de la evidencia. Como hemos adelantado, los filósofos que optaron por esta línea de investigación, sostuvieron que, si encontraban criterios claros que permitieran justificar epistémicamente esas estrategias, los mismos criterios también podían justificar la existencia de una acomodación genuina que otorgara apoyo confirmatorio. En el próximo capítulo, nos dedicaremos especialmente a una de las estrategias más conocidas, esto es, al problema de la justificación epistémica de las hipótesis *ad hoc* y a su relación con el predictivismo. Mostraremos que el análisis de este problema ofrece algunos conceptos útiles para defender que la acomodación genuina de la evidencia conocida también puede confirmar una teoría.

CAPÍTULO 3

El predictivismo y la justificación epistémica de las estrategias *ad hoc*

3. 1 El criterio de identificación de Karl Popper y las críticas de Adolf Grünbaum

El debate con respecto a las estrategias *ad hoc*, en principio, epistémicamente sospechosas, tiene una larga tradición en la filosofía de la ciencia desde sus orígenes hasta la actualidad. En los comienzos del debate, Popper (1959b) empleó el concepto de hipótesis *ad hoc* de manera epistémicamente negativa para referirse a las hipótesis que se *introducen*, justamente, con el único propósito de evitar la refutación y, en consecuencia, retener una teoría frente a un resultado experimentalmente desfavorable. En este sentido, si bien lo que se modifica es el sistema teórico (*T & A*), esta modificación se produce debido a alguna variación en el conjunto de hipótesis auxiliares *A*, por lo que la unidad de análisis son las hipótesis auxiliares y sobre ellas recae la imputación de *ad hoc*. Conviene aclarar que, por definición y como su nombre lo indica, las hipótesis auxiliares no pertenecen a la teoría que compone un sistema teórico determinado. Sin embargo, como advertiremos más adelante, Popper y, en especial, algunos de los filósofos que siguen bajo su influencia, en diferentes oportunidades, no analizan en sentido estricto esta estrategia *ad hoc*, sino otra estrategia que implica un cambio de teoría, esto es, una estrategia que no supone una modificación del conjunto de hipótesis auxiliares *A*, sino del de las hipótesis propias de la teoría *T*. Como analizaremos con mayor detalle más adelante, la estrategia *ad hoc* más usual, y la más débil, consiste en modificar el conjunto de las hipótesis auxiliares del sistema y retener la teoría en cuestión, pero, si dicho conjunto está suficientemente establecido, esto es, si está compuesto de hipótesis mejor confirmadas que pertenecen a teorías mejor confirmadas, entonces, en ese caso, puede ser preferible modificar alguna/s de las hipótesis propias de la teoría, es decir, directamente cambiar de teoría.

Por otra parte, y en relación con el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida, podemos señalar otra estrategia *ad hoc*, relacionada con ésta, que consiste en la construcción de un sistema teórico (*T & A*) nuevo, ya sea modificando *T* y/o *A*, que implique una evidencia ya conocida, pero anómala para las teorías disponibles. En este sentido, la estrategia no supone “la desactivación de la implicación”, esto es, de la predicción fatal, sino la deducción de dicha consecuencia conocida (Quine 1992, p. 15). En otras palabras, en la primera estrategia, el nuevo sistema teórico no implica la evidencia que refuta el sistema original;

mientras que, en la segunda estrategia, el nuevo sistema teórico implica la negación de esa evidencia. Como hemos podido advertir, por nuestra parte, sostenemos una posición holista respecto de la confirmación, esto es, una posición según la cual ninguna hipótesis o teoría científica implica consecuencias observacionales por sí sola, sino solo en conjunción con un conjunto heterogéneo de hipótesis auxiliares, de manera que, en consecuencia, lo que se contrasta, en principio, no es la teoría de manera aislada, sino el sistema teórico compuesto por la teoría y el conjunto de hipótesis auxiliares (esto es, $(T \& A)$). En este sentido, la evidencia no refuta (ni confirma) una teoría, sino el sistema teórico como un todo. En este capítulo, señalaremos algunas de las consecuencias más relevantes del holismo de la contrastación u holismo epistemológico.

Ahora bien, la distinción entre las dos estrategias *ad hoc* que señalamos anteriormente nos conduce, a su vez, a la necesidad de distinguir entre un *holismo fuerte* y un *holismo débil*. La diferencia central entre estas concepciones consiste en cómo entienden la modificación del conjunto de las hipótesis auxiliares. El holismo fuerte afirma que la modificación del sistema de hipótesis que implica la consecuencia observacional falsa se puede realizar de tal manera que, ahora, el sistema de hipótesis *implique* la negación de dicha consecuencia observacional falsa. En cambio, el holismo débil afirma que esa modificación del sistema de hipótesis solamente alcanza al tipo de modificaciones según el cual, ahora, el sistema de hipótesis *no implica* la consecuencia observacional falsa, ni tampoco la negación de dicha consecuencia. En términos formales, el holismo fuerte afirma que, si $(T \& A)$ implica E , y se verifica $\neg E$, entonces, el sistema global $(T \& A)$ está refutado, por lo que, si queremos retener T , entonces, debemos modificar el conjunto de hipótesis auxiliares A , de tal modo que, ahora, $(T \& A_1)$, esto es, T y el nuevo conjunto de hipótesis auxiliares, implique $\neg E$. En este caso, el sistema $(T \& A_1)$ implica $\neg E$, por lo que, dicha evidencia, que antes refutaba el sistema $(T \& A)$, ahora, no solo no refuta, sino que confirma el sistema $(T \& A_1)$. Como ya señalamos, y como analizaremos con mayor detalle más adelante, esta estrategia *ad hoc* es la que se relaciona más estrechamente con la acomodación de la evidencia. En cambio, el holismo débil afirma que, ante la misma situación de refutación del sistema global $(T \& A)$, si queremos retener T , entonces, debemos modificar A , de tal modo que, ahora, $(T \& A_2)$ solamente no implique E , por lo que $\neg E$ no refuta el sistema $(T \& A_2)$. Ahora bien, puesto que $(T \& A_2)$ tampoco implica $\neg E$, esta evidencia, a diferencia del caso del holismo fuerte, no confirma el sistema $(T \& A_2)$.

Quine (1992), por ejemplo, solamente defiende el holismo débil, esto es, argumenta que, por razones lógicas, siempre es posible, aun de forma puramente artificial, modificar el sistema de

hipótesis de manera que no implique la evidencia refutadora, pero que no siempre será posible modificarlo de manera que implique la negación de esa evidencia. Para dar cuenta de esta situación, Quine analiza los *modos de revisión* de un sistema teórico. Ante todo, conviene aclarar que el término “introducción” de hipótesis auxiliares no es del todo correcto. En efecto, si un sistema teórico implica una consecuencia observacional falsa, por la monotonía de la deducción, la seguirá implicando no importa cuántas hipótesis auxiliares se “introduzcan” en el sistema teórico (esto es, si $(T \& A)$ implica E , entonces, $(T \& A \& A_1)$ también implica E). Por esta razón, en esta estrategia, si queremos retener T , debemos, necesariamente, *retirar* alguna/s de las hipótesis que componen el conjunto de las hipótesis auxiliares A , produciendo, en consecuencia, una *contracción* del sistema teórico original. En términos formales, si $S_1 = (T \& A_1)$ (donde $A_1 = \{1, 2\}$) es el sistema teórico original que implica E , entonces, siempre será posible *contraer* ese sistema, de modo que, un nuevo sistema, por ejemplo, $S_2 = (T \& A_2)$ (donde $A_2 = \{1\}$) no implique E . Resulta importante señalar que la contracción de un sistema de hipótesis *preserva la consistencia*, esto es, si S_1 es consistente, entonces, S_2 también lo es. Como podemos advertir, este tipo de modificación de un sistema teórico se corresponde con la primera de las estrategias *ad hoc* que señalamos y con una concepción débil del holismo. Sin embargo, también tiene sus costos. Ante todo, el nuevo sistema tiene menos contenido empírico que el sistema original (en palabras de Popper, tiene menos refutadores potenciales), ya que, obviamente, ha sido construido para no implicar una consecuencia determinada, pero, además, tampoco implica las consecuencias de ésta. Por otra parte, el nuevo sistema teórico tampoco implica nuevas consecuencias observacionales, por lo que, en consecuencia, tiene menor poder predictivo que el sistema original.

La segunda de las estrategias *ad hoc* se corresponde, estrictamente, con lo que se conoce como *revisión* de un sistema teórico. Usualmente, este procedimiento tiene dos pasos (o, al menos, se pueden diferenciar dos pasos bien definidos): *contracción y expansión*. En efecto, en primer lugar, el sistema debe contraerse de modo que ya no implique la consecuencia falsa; y, luego, debe *expandirse*, esto es, deben agregarse otras hipótesis auxiliares que, en conjunción con T , impliquen la negación de aquella consecuencia falsa. Generalmente, estos dos pasos se suelen unificar en el *reemplazo* de una/s hipótesis del sistema, esto es, se agrega una nueva hipótesis (expansión), cuyo contenido explícita o implícitamente cancela o anula una, o más, hipótesis del sistema (contracción). En términos formales, si $S_1 = (T \& A_1)$ (donde $A_1 = \{1, 2\}$) es el sistema teórico original que implica E , entonces, por ejemplo, $S_3 = (T \& A_3)$ (donde $A_3 = \{3, 4\}$) es un sistema teórico revisado que implica $\neg E$. En cualquier caso, esta estrategia tiene mayores costos que la primera. Ante todo, no preserva, en general, la consistencia, ya que las nuevas

hipótesis podrían ser incompatibles con las restantes hipótesis del conjunto. En suma, el holismo fuerte no está lógicamente garantizado en todos los casos. Por nuestra parte, creemos que, si se consigue construir un nuevo sistema, que sea consistente con el conjunto del conocimiento aceptado y que, como señalaremos más adelante, cumpla otros criterios epistémicos, que implique la evidencia anómala para las otras teorías disponibles (esto es, que implique $\neg E$), entonces, esa evidencia confirma ese sistema teórico.

Como ya señalamos, Popper (1959b) reconoce que algunas de estas estrategias *ad hoc* son habituales en la ciencia cotidiana, pero, sostiene que se deben evitar, puesto que compromete el carácter científico de la teoría. Albert Einstein (1949, p. 21), por ejemplo, también reconoce esta práctica usual y extendida entre los científicos cuando considera que “a menudo, y quizá incluso siempre, es posible adherirse a un principio teórico general si se asegura la adecuación de la teoría con los hechos por medio de la introducción de supuestos adicionales artificiales”. Como advertimos, Einstein considera que esta estrategia es metodológicamente deficiente y epistémicamente negativa, de manera que, en la medida de lo posible, se debe evitar. Según Einstein (1949), las mejores teorías son las que predicen exitosamente y que explican lo que tienen que explicar con la menor cantidad de supuestos adicionales. Con todo, Popper (1959b) sostuvo que existen ciertos casos en los que estas estrategias podrían tener, en principio, valor epistémico y propuso el siguiente criterio de identificación (que, luego, se convertiría en el criterio clásico y con mayor aceptación entre los filósofos): la contrastación independiente.¹⁹ En efecto, Popper (1959b, p. 62) sostiene, por ejemplo, que “un ejemplo de una hipótesis auxiliar insatisfactoria [esto es, *ad hoc*] es la hipótesis de la contracción de Fitzgerald y Lorentz, la cual *no tuvo consecuencias falsables*, sino que solo sirvió para restaurar el acuerdo entre la teoría y los experimentos [principalmente, con los resultados obtenidos por Michelson y Morley]” (énfasis nuestro). En cambio, para Popper (1959b, p. 63), la relatividad general no solo explicó esos resultados adecuadamente, sino que, además, “predijo *nuevas consecuencias*, nuevos efectos físicos y, como consecuencia, abrió *nuevas posibilidades para contrastar*, y falsar, la teoría” (énfasis nuestro).

Popper, como la mayoría de los filósofos de la época, ya había advertido que, para poder deducir alguna consecuencia observacional, toda teoría debe ponerse en conjunción con un conjunto de hipótesis auxiliares, esto es, que ninguna teoría implica, por sí sola, ninguna consecuencia observacional. En este sentido, una estrategia *ad hoc* posible (o, como las llama

¹⁹ Larry Laudan (1977, p. 114), por ejemplo, sostiene que “ninguna discusión acerca de los diferentes vectores de evaluación que se utilizan en la ciencia estaría completa sin la inclusión de la noción ‘*ad hoc*’ (un problema que a menudo se discute bajo la rúbrica ‘contrastación independiente’)” (énfasis nuestro).

Popper, “estratagemas convencionalistas”) es, como ya señalamos, la modificación de ese conjunto de hipótesis auxiliares de tal forma que el nuevo sistema teórico no implique el resultado previamente desfavorable. Por ejemplo, sea T una teoría y A un conjunto de hipótesis auxiliares, tal que $(T \& A)$ implica cierta evidencia E . Luego, se verifica experimentalmente $\neg E$, por lo que se deduce $\neg (T \& A)$ (es decir, $(\neg T \vee \neg A)$). Por esta razón, Popper afirma que es lógicamente posible, aunque asegura que no es lo que los científicos generalmente, de hecho, hacen, modificar el conjunto de hipótesis auxiliares A , de manera que, ahora, el nuevo sistema $(T \& A_1)$ no implique E . Con todo, como señalamos anteriormente, Popper sostiene que esta modificación del sistema teórico $(T \& A)$ está epistémicamente justificada si $(T \& A_1)$ implica nuevas consecuencias observacionales que sean independientemente contrastables.

Por nuestra parte, sostenemos que, en cuanto a la segunda estrategia que hemos señalado, esto es, la que supone un holismo fuerte, la modificación del conjunto de hipótesis auxiliares de tal manera que el nuevo sistema teórico implique la negación de la evidencia que resultaba desfavorable para el sistema teórico original, está epistémicamente justificada si y solo si este nuevo sistema teórico implica una nueva consecuencia observacional que puede ser verificada independientemente del resultado previamente desfavorable. En cambio, si el nuevo sistema teórico no tiene consecuencias observacionales independientemente contrastables, entonces, la modificación del conjunto de hipótesis auxiliares es meramente *ad hoc*, es decir, no tiene valor epistémico. Respecto del criterio de la contrastación independiente, Popper (1963, p. 241) agrega que estas nuevas consecuencias deben ser, “preferentemente, consecuencias de un *nuevo tipo*; [el sistema teórico] debe conducir a la predicción de fenómenos que, hasta ahora, no han sido observados” (énfasis del autor). En este pasaje, Popper conecta, explícitamente, la defensa del predictivismo con el rechazo de todas las estrategias *ad hoc*, que solo buscan restaurar la adecuación empírica de un sistema teórico. En definitiva, Popper inauguró una posición, que luego se consolidaría en la tradición de la filosofía de la ciencia, según la cual las hipótesis *ad hoc* solo tienen un valor epistémico puramente negativo.

Adolf Grünbaum (1959 y 1962), por su parte, analizó con mayor detalle el ejemplo de la hipótesis de la contracción de Fitzgerald y Lorentz, propuesto por Popper (y, a su vez, uno de los más citados por los filósofos de la ciencia) como ejemplo paradigmático de una hipótesis *ad hoc*, y probó que la hipótesis tiene (en realidad, el nuevo sistema teórico) una consecuencia observacional independientemente contrastable. De esta manera, el análisis de Grünbaum no solo mostraría que el análisis de Popper es incorrecto, sino que, además, y de manera más relevante, comenzaría a alertar acerca de los problemas y de las restricciones que supone el

criterio mismo de identificación de Popper. En efecto, Grünbaum (1959 y 1962) deja entrever, quizás sin que éste fuera su objetivo, las dificultades metodológicas que existen para determinar si una hipótesis tiene, o no, consecuencias observacionales independientemente contrastables. Así, Grünbaum sienta las bases de una corriente que empezaría a cuestionar con mayor énfasis la ambigüedad del criterio de independencia en la contrastación. En definitiva, Grünbaum (1959 y 1962, §3) muestra que la independencia en la contrastación no es una condición suficiente para que una hipótesis auxiliar sea *ad hoc*, ya que existen hipótesis auxiliares (por ejemplo, la hipótesis de la contracción de Fitzgerald y Lorentz) de las que se dedujeron (en conjunción con *T*) consecuencias observacionales independientemente contrastables y que, sin embargo, han sido consideradas hipótesis *ad hoc* por la comunidad científica.

Para explicar estos casos, Grünbaum (1976, p. 330) propuso “tres sentidos históricamente relevantes de [el concepto de] *ad hoc*, que se aplican a las [hipótesis] *auxiliares*, y que exhiben las conexiones lógicas jerárquicas que hay entre ellos” (énfasis del autor). En consecuencia, según Grünbaum, hay tres sentidos en los que una hipótesis auxiliar puede ser *ad hoc*: (1) *ad hoc* (*a*); (2) *ad hoc* (*b*) y *ad hoc* (*c*), siendo, éste último, el sentido lógico más fuerte, ya que implica a los otros dos (esto es, $ad\ hoc\ (c) \rightarrow ad\ hoc\ (b) \rightarrow ad\ hoc\ (a)$). Ahora bien, ¿en qué consisten estas definiciones? Ante todo, conviene señalar que Grünbaum (1976), al igual que Popper, sostiene que la imputación de *ad hoc* recae sobre las hipótesis auxiliares, pero, como señalaremos más adelante, creemos que, en algunos casos, confunde las hipótesis auxiliares con las hipótesis propias de una teoría, por lo que, en consecuencia, confunde la estrategia *ad hoc* que consiste en modificar el conjunto de hipótesis auxiliares para retener una teoría con otra estrategia *ad hoc* que, como ya señalamos, consiste, directamente, en cambiar de teoría. Como hemos señalado, no hay que confundir a las hipótesis auxiliares que, por definición, no pertenecen a la teoría que se contrasta, sino que *la auxilian* a la hora de deducir consecuencias observacionales, con las hipótesis propias de la teoría. La modificación, *ad hoc* o no, de algunas de las hipótesis de la teoría (ya sea eliminando algunas de esas hipótesis o bien introduciendo otra hipótesis incompatible con alguna de ellas) implica, necesariamente, un cambio de teoría. En cambio, la modificación del conjunto de hipótesis auxiliares no implica un cambio de teoría, sino que, justamente, permitiría conservar esa teoría.

Con todo, según Grünbaum, la modificación del conjunto de hipótesis auxiliares del sistema teórico está epistémicamente injustificada solamente en los siguientes casos. Sea *LC* (*T* & *A*) el conjunto de las consecuencias lógicas del sistema teórico (*T* & *A*); *KC* (*(T* & *A*), *t*) refiere al presumible subconjunto propio de *LC* (*T* & *A*), cuyos miembros, la comunidad científica sabe que

pertenecen a $LC(T \& A)$ en el tiempo t . De esta manera, una hipótesis auxiliar A_2 es *ad hoc (a)* en el tiempo t con respecto al sistema teórico $(T \& A)$ y a la evidencia E , si y solo si, en el tiempo t , (1) A_2 no ha sido confirmada (ni refutada), ni es dudosa respecto del conocimiento aceptado; y (2) $KC((T \& A_2), t)$ no contiene consecuencias *independientemente* contrastables que ya tengan un resultado (véase Grünbaum 1976, pp. 333-334). En este punto, conviene señalar que, según Grünbaum, las hipótesis auxiliares no implican, por sí solas, ninguna consecuencia observacional, sino como parte de un sistema teórico lógicamente más fuerte, de manera que, en el caso de haberla, una evidencia es desfavorable para dicho sistema y no para A . Con todo, para Grünbaum, el significado, al menos, intuitivo de independencia sugiere que $(T \& A_2)$ tiene consecuencias observacionales que dependen lógicamente de A_2 , pero que no pertenecen a la clase de consecuencias de $(T \& A)$ ni a la de E , por lo que, afirma Grünbaum (1976, p. 331), “a veces hablaré *de manera elíptica* cuando me refiera a la importancia empírica de $[A_2]$ más que de $[(T \& A_2)]$ ” (énfasis del autor). Por ello, en general, “el conjunto S de las consecuencias independientemente contrastables de $[(T \& A_2)]$ *excluye* a A_2 , a los miembros de $LC(T \& A)$ y a los miembros de $LC(E)$ ” (Grünbaum 1976, p. 333, énfasis del autor).

Ahora bien, es lógicamente posible que, en un determinado tiempo t , $KC((T \& A_2), t)$ no contenga ninguna consecuencia independientemente contrastable que haya sido, de hecho, contrastada y que, en consecuencia, ya tenga una sanción o desaprobación empírica; y que $KC((T \& A_2), t)$, a su vez, contenga otras consecuencias independientemente contrastables que aún no hayan sido contrastadas, pero que sean *contrastables*. Por esta razón, una hipótesis A_2 es *ad hoc (b)* en el tiempo t con respecto al sistema teórico $(T \& A)$ y a la evidencia E , si y solo si, en el tiempo t , (1) A_2 no ha sido confirmada (ni refutada), ni es dudosa respecto del conocimiento aceptado; y (2) $KC((T \& A_2), t)$ no contiene consecuencias independientemente contrastables *en absoluto*, esto es, ni contrastadas ni por contrastar. Como podemos advertir, toda hipótesis que es *ad hoc (b)* también es *ad hoc (a)*, por lo que *ad hoc (b)* es lógicamente más fuerte. Por último, la definición de *ad hoc (c)* es la más fuerte de las tres, puesto que no involucra meramente al subconjunto propio $KC((T \& A_2), t)$, sino a todo el conjunto $LC(T \& A_2)$. En este sentido, una hipótesis A_2 es *ad hoc (c)* en el tiempo t con respecto al sistema teórico $(T \& A)$ y a la evidencia E , si y solo si, en el tiempo t , (1) A_2 no ha sido confirmada (ni refutada), ni es dudosa respecto del conocimiento aceptado; y (2) $LC(T \& A_2)$ no contiene consecuencias independientemente contrastables que hayan sido contrastadas, ni que puedan contrastarse.

Ahora bien, dadas las limitaciones del conocimiento humano y la fuerza lógica de, incluso, las teorías más sofisticadas, este requisito parece ser más bien utópico, ya que, en general, $KC((T$

$\& A_2, t$) es un subconjunto propio de $LC(T \& A_2)$ y, además, $S \cap KC((T \& A_2), t)$ es un subconjunto propio de S . La identidad entre $KC((T \& A_2), t)$ y $LC(T \& A_2)$ solo ocurre cuando S es un conjunto vacío y no solo $S \cap KC((T \& A_2), t)$. Ahora bien, puesto que, en general, S es mucho más extenso que $S \cap KC((T \& A_2), t)$, “una hipótesis auxiliar que probablemente sea *ad hoc* (*b*) solo puede ser *conjeturalmente ad hoc* (*c*)” (Grünbaum 1976, p. 337, énfasis del autor). En suma, Grünbaum sostiene que con estas distinciones lógicas podemos responder por qué una hipótesis auxiliar (por ejemplo, la hipótesis de la contracción de Fitzgerald y Lorentz) que tiene consecuencias independientemente contrastables fue, sin embargo, considerada *ad hoc*. En efecto, según estas distinciones, una hipótesis auxiliar puede considerarse *introducida de manera ad hoc* en el sentido de *ad hoc* (*a*), esto es, una hipótesis que, en el momento de su introducción, no tenía consecuencias independientes que ya hayan sido contrastadas. Pero este hecho no implica que esa hipótesis no pueda tener consecuencias independientemente contrastables. Y, por último, el hecho de que, en un momento determinado, no sepamos que una hipótesis auxiliar tenga consecuencias que sean independientemente contrastables, no implica que dicha hipótesis no pueda tener, *en absoluto*, consecuencias independientemente contrastables.

En varios trabajos posteriores, Popper acepta el análisis de Grünbaum del ejemplo de la hipótesis de la contracción de Fitzgerald y Lorentz y las objeciones acerca de la ambigüedad del criterio de la contrastación independiente, por lo que modifica su análisis con respecto a la justificación epistémica de las hipótesis *ad hoc* (véanse Popper 1959a y 1959b, p. 63, *1). En esa dirección, Popper (1959a, p. 50) afirma que “la corrección del profesor Grünbaum muestra que la hipótesis [de la contracción de Fitzgerald y Lorentz] era contrastable y, en consecuencia, no *ad hoc*, al menos, *en la medida en la que yo creía*” (énfasis nuestro). Esta aclaración es relevante, puesto que le permitió a Popper reconsiderar su método para la evaluación de las hipótesis auxiliares. Popper (1959a, p. 50) sostiene que la hipótesis de la contracción “fue, por supuesto, más *ad hoc* que la teoría de la relatividad especial” y que ese hecho “es un excelente ejemplo [tanto] de que existen ‘grados de hipótesis *ad hoc*’”, como de su afirmación de que “los grados de las hipótesis *ad hoc* están relacionados (inversamente) con los grados de contrastabilidad o falsabilidad”. Por esta razón, Popper (1959a y 1959b) señala que el método más adecuado para la evaluación de las hipótesis auxiliares es el análisis comparativo, puesto que, mediante este análisis, podemos construir una escala ordinal de hipótesis *ad hoc*, que vaya desde las hipótesis menos *ad hoc* hasta las hipótesis más *ad hoc*, de acuerdo a la medida en la que estas hipótesis auxiliares reducen el contenido empírico de la teoría.

Según Popper (1959b, Cap. 6), las teorías mejor corroboradas son las que poseen un mayor contenido empírico. A su vez, el contenido empírico de una teoría está dado por la cantidad de falsadores potenciales que posee, esto es, por la cantidad de enunciados básicos que pueden refutarla porque son incompatible con ella. Popper (1959b, p. 93) sostiene que “si el conjunto de los falsadores potenciales de una teoría es ‘*más grande*’ que el de otra teoría, aquella teoría tendrá más oportunidades de ser refutada por la experiencia; por lo tanto, podemos decir que la primera teoría, comparada con la segunda teoría, es ‘falsable en un grado superior’” (énfasis nuestro). Según Popper (1959b), el objetivo de la ciencia es, precisamente, formular teorías que sean falsables en este sentido, es decir, que restrinjan al mínimo lógicamente posible el conjunto de los enunciados que se refieren a los eventos físicos permitidos, de manera tal que la introducción de una nueva restricción constituiría la refutación de la teoría. Como ya hemos señalado, en una posición holista, ninguna teoría tiene contenido empírico por sí misma, sino que adquiere contenido empírico solo en conjunción con un conjunto de hipótesis auxiliares. En este sentido, según Popper (1959b), una hipótesis auxiliar A_2 sería *ad hoc* si y solo si reduce el contenido empírico del sistema teórico ($T \& A$), puesto que, si este es fuera el caso, el nuevo sistema teórico ($T \& A_2$) tiene un grado de falsabilidad menor que el sistema teórico previo ($T \& A$).

Los supuestos fundamentales del argumento de Popper son los siguientes: (1) las hipótesis *ad hoc* reducen el contenido empírico de un sistema teórico. Si se introduce una hipótesis con el único propósito de deducir la evidencia que, anteriormente, era desfavorable, entonces, el nuevo sistema teórico permite, en palabras de Popper, más eventos o, de manera contraria, prohíbe menos eventos, por lo que, el conjunto de potenciales falsadores del sistema teórico se reduce. El supuesto (2) es más general, ya que depende de los objetivos que, según Popper, tiene la ciencia, y afirma que la reducción del contenido empírico de un sistema teórico es un valor epistémicamente negativo. Para Popper (1959b, p. 62), “la introducción de una hipótesis auxiliar siempre debe considerarse como un intento de construir un nuevo sistema [teórico]; y este nuevo sistema, a su vez, siempre debe juzgarse sobre la base de si, en el caso de que fuera adoptado, constituiría un verdadero avance en nuestro conocimiento del mundo”. En las próximas secciones, evaluaremos algunas de las críticas que han recibido estos supuestos de Popper. En suma, para Popper, las hipótesis *ad hoc* tienen un valor epistémico negativo, pero no todas las hipótesis auxiliares son *ad hoc*: si las hipótesis auxiliares (siempre en conjunción con otras hipótesis) tienen consecuencias independientemente contrastables e incrementan el contenido empírico del sistema teórico, entonces, están epistémicamente justificadas.

Por nuestra parte, creemos que conviene volver a señalar el hecho de que toda teoría debe recurrir necesariamente a un conjunto de hipótesis auxiliares que no pertenecen, en ningún sentido, a esa teoría, sino a un grupo heterogéneo de teorías diferentes. Por esta razón, un análisis que no incluya esta perspectiva soslaya el holismo de la contrastación, esto es, el hecho de que en una contrastación no se contrasta una teoría aislada, sino un sistema teórico (*T & A*), de manera que, en consecuencia, en el caso de que se verifique un resultado adverso, lo que quedaría refutado es el sistema como un todo y no sus partes de manera aislada: la refutación no se distribuye a sus partes componentes (por las mismas razones, tampoco se confirma una hipótesis o teoría, sino el sistema teórico, es decir, la confirmación tampoco se distribuye a sus partes componentes). Creemos que la consecuencia fundamental del holismo de la contrastación es la imposibilidad lógica de refutar hipótesis o teorías incluso de manera global, debido a que cualquier hipótesis, o teoría, necesita de otras hipótesis, cuya confirmación, a su vez, es independiente de ella. En otras palabras, estas hipótesis también están alcanzadas por el holismo, de manera que tampoco pueden confirmarse o refutarse de manera aislada.

Popper, y otros filósofos como Grünbaum que, si bien cuestionan algunos puntos de su análisis, siguen bajo su influencia, consideran que existe una acomodación genuina de la evidencia conocida que no es meramente *ad hoc* y que, en consecuencia, tiene valor confirmatorio. Sin embargo, como advertimos, el criterio de distinción, esto es, la contrastación independiente, es ambiguo y de difícil precisión, por lo que no es un criterio que puede aplicarse de manera general y sin problemas. Por otra parte, Popper y Grünbaum, si bien aceptan que existe una acomodación genuina de la evidencia que tiene valor confirmatorio, consideran que este valor está condicionado al éxito de las predicciones, puesto que, según nuestra posición, depende de que el sistema teórico (*T & A*) implique una consecuencia observacional nueva que se refiera a un fenómeno desconocido. De esta manera, la acomodación de la evidencia conocida confirma la teoría solo si la teoría predice exitosamente fenómenos nuevos. En definitiva, para Popper (1963, p. 243), la ciencia progresa mediante la formulación de una “teoría que implica nuevas predicciones y, especialmente, predicciones de nuevos efectos [...] que fueron sugeridas por primera vez por la teoría y que nunca antes fueron pensadas”.

En esta dirección, Popper considera que la acomodación genuina de la evidencia que, según él, consiste en la explicación de los fenómenos ya conocidos y anómalos y que, además, tiene consecuencias independientemente contrastables, posee valor confirmatorio, pero que, solo con ella, la ciencia se estancaría. En efecto, a diferencia del éxito predictivo, en la acomodación de la evidencia conocida siempre existirá la posibilidad lógica, aun meramente artificial, de que

las estrategias empleadas sean *ad hoc*, por ejemplo, una modificación en el conjunto de las hipótesis auxiliares del sistema teórico, de manera que dicho sistema implique el resultado previamente desfavorable y alguna nueva consecuencia independientemente contrastable. En cambio, el éxito predictivo no conlleva la posibilidad de que se haya empleado una estrategia *ad hoc*. En suma, creemos que las posiciones como las de Popper apoyan el predictivismo fuerte, ya que, si bien admiten que habría casos de confirmación por medio de la acomodación de la evidencia conocida, esta confirmación no es el resultado de la acomodación en sí misma, sino que ocurre como un sucedáneo del éxito predictivo de una teoría. Este tipo de estrategia *ad hoc* que simplemente acomoda la evidencia conocida reduce el contenido empírico de un sistema teórico, por lo que, en consecuencia, siempre disminuirá su grado de contrastabilidad. Por el contrario, la verificación de una predicción aumenta su contenido empírico, de manera que, en consecuencia, siempre incrementará su grado de contrastabilidad. Por consiguiente, para estas teorías deductivistas de la confirmación, *solo* las predicciones exitosas incrementan el grado de apoyo empírico de una teoría, puesto que, en los casos de acomodación exitosa, si no existe, además, la verificación de una predicción novedosa, la acomodación de la evidencia conocida no confirma la teoría.

3. 2 Las críticas de Greg Bamford y de Eric Barnes al método comparativo de Popper

Si bien la posición de Popper con respecto a la justificación epistémica de las hipótesis *ad hoc*, y la metodología para su evaluación, fueron, en su momento, ampliamente aceptadas, los supuestos de su argumentación también han recibido críticas. En esta sección, evaluaremos dos críticas a los supuestos del argumento de Popper de Greg Bamford y de Eric Barnes que, según nuestra posición son, en general, acertadas. Como señalaremos, para estos filósofos, las condiciones que propone Popper para identificar si una hipótesis es *ad hoc* no son necesarias ni suficientes.

Como señalamos en la sección anterior, según Popper, la reducción del contenido empírico de un sistema teórico, por medio de estrategias *ad hoc*, es epistémicamente negativa. Bamford (1993, p. 350), sin embargo, sostiene que “optar por una teoría con menor contenido empírico que su predecesora no es una práctica anticientífica”, por lo que una reducción del contenido empírico de un sistema teórico no es un valor epistémicamente negativo. Según Bamford, la historia de la ciencia ofrece casos (por ejemplo, la ley de elasticidad de Hooke) en los que se han producido sucesivas reducciones en el contenido empírico de un sistema teórico y en los que,

sin embargo, la comunidad científica consideró que se produjo un progreso científico, por lo “que el progreso científico relevante, a veces, consiste, justamente, en tales reducciones de contenido empírico” (Bamford 1993, p. 335).

Con respecto al ejemplo de la ley de Hooke, Bamford (1993, pp. 351-352) afirma que “el progreso científico ocurrió mediante sucesivas y considerables *reducciones*, durante un largo periodo de tiempo, en el contenido empírico de la creencia de la comunidad científica acerca del carácter hookeano de los materiales” (énfasis del autor). Según Bamford, cada uno de los nuevos desarrollos científicos en la ciencia de los materiales emplearon ciertas estrategias que fueron acomodando las objeciones y la evidencia desfavorable para la ley general de Hooke, por lo que, en consecuencia, los nuevos sistemas tenían menor contenido empírico que sus predecesores (en este caso, en sentido estricto, se modificaron algunas de las hipótesis de la propia teoría, de manera que, se produjo un cambio de teoría). Sin embargo, la comunidad científica no consideró que estas estrategias fueran *ad hoc*, sino que, en cambio, las consideró como cualquier otra estrategia científica con valor epistémico. Por esta razón, la reducción del contenido empírico de un sistema teórico, mediante estas estrategias, no es una condición suficiente para que esas estrategias sean consideradas *ad hoc*. En el caso de la ciencia de los materiales, por ejemplo, el conjunto de los potenciales falsadores de las leyes no hookenas actuales *es menor* que el conjunto de los potenciales falsadores de la ley de Hooke, esto es, la ley de Hooke tiene una mayor cantidad de enunciados básicos que podrían potencialmente refutarla que las leyes actuales y, sin embargo, la comunidad científica considera que las leyes actuales son más exitosas y están mejor confirmadas.

Con todo, si bien Bamford critica el método comparativo de Popper basado en la reducción del contenido empírico, defiende el criterio tradicional, según el cual las hipótesis *ad hoc* no tienen consecuencias que sean independientemente contrastables. Como señalaremos más adelante, Bamford sostiene que la ambigüedad de este criterio, y su difícil precisión, conducen a que Popper no logre distinguir cuándo una hipótesis es *ad hoc* y cuándo no lo es. Bamford argumenta que los problemas de Popper con respecto a la evaluación de las hipótesis *ad hoc* emergen porque existe una tensión entre el criterio de la contrastación independiente y la condición de la reducción del contenido empírico de los sistemas teóricos. Según Bamford, el criterio de la contrastación independiente no implica la condición de reducción del contenido empírico del sistema. Bamford discute con los filósofos de influencia popperiana, por lo que está pensando en estrategias que implican un cambio de teoría, esto es, en el reemplazo de algunas de las hipótesis propias de la teoría y no en la modificación del conjunto de hipótesis

estrictamente auxiliares. En este sentido, sostiene que no se sigue que un cambio de hipótesis de una teoría, el cual produce una reducción del contenido empírico de la teoría anterior, implique, además, que las nuevas hipótesis no sean independientemente contrastables (en sentido estricto, no de manera aislada, sino como parte de una teoría lógicamente más fuerte).

Según Bamford, si una estrategia, por ejemplo, el reemplazo de alguna de las hipótesis de una teoría, reduce el contenido empírico de la teoría previa, pero, además, también permite deducir nuevas consecuencias observacionales que pueden contrastarse independientemente del resultado que produjo la aplicación de dicha estrategia, entonces, no es *ad hoc*. Bamford (1993, p. 336) sostiene que hay que distinguir entre el concepto de *ad hoc* “en el sentido de ‘*ad hoc*’ [del lenguaje] ordinario, esto es, como una hipótesis que se formula con un propósito específico” y el sentido técnico de *ad hoc*, según el cual dicha hipótesis no tiene ninguna virtud epistémica. Ahora bien, todo el punto de Bamford consiste en desambiguar el concepto de independencia. Para Bamford (1993, p. 345), las consecuencias del nuevo sistema teórico, por ejemplo, la teoría con nuevas hipótesis en conjunción con un conjunto de hipótesis auxiliares ($T_2 \& A$), deben contrastarse de manera independiente del sistema teórico previo ($T \& A$), esto es, las nuevas hipótesis deben tener “una contrastación que no sea, al mismo tiempo, una contrastación de la teoría previa”.

Barnes (2008), por su parte, también critica el primer supuesto del argumento de Popper, esto es, critica que las estrategias *ad hoc* reduzcan, en todos los casos, el contenido empírico del sistema teórico y, en consecuencia, también reduzcan su grado de falsabilidad. Para Barnes (2008, p. 11), “la tesis de Popper con respecto a que el proceso de modificación *ad hoc* de una teoría tiende, de manera *sistemática*, a reducir su grado de falsabilidad, no está claramente establecida”, sino que, por el contrario, Popper “no proporciona ninguna razón particular para pensar en que este sea el caso” (énfasis nuestro). Como podemos advertir, Barnes también se refiere a estrategias o movimientos *ad hoc* que dan cuenta de un cambio de teoría, esto es, de la modificación de la teoría a partir un cambio en alguna de sus hipótesis y no de las hipótesis estrictamente auxiliares del sistema teórico. Para Barnes (2008), la historia de la ciencia ofrece casos en los que estas estrategias no disminuyeron el contenido empírico del sistema teórico previo y, sin embargo, la comunidad científica las consideró *ad hoc*.

Barnes muestra, a partir de un experimento mental, que siempre es posible modificar una teoría, mediante estrategias que claramente consideraríamos *ad hoc*, de manera que el nuevo sistema teórico (por ejemplo, $T_2 \& A$) no tenga menos contenido empírico que el sistema teórico previo ($T \& A$). Por ejemplo, sea T la teoría de que todo pan es nutritivo. Luego, se descubre que,

en cierta región de Francia, existe un pan que no solo no es nutritivo, sino que es venenoso. Barnes sostiene que se puede modificar T introduciendo un nuevo supuesto según el cual “todo pan es nutritivo, excepto el pan que se produce específicamente en esa región de Francia”. Por esta razón, si bien la nueva teoría T_2 no implica el resultado que era desfavorable para el sistema teórico ($T \& A$), esto es, desactiva la predicción fatal, pareciera que claramente este tipo de estrategia es meramente *ad hoc*. Ahora bien, y en esto reside la crítica de Barnes (2008, pp. 11-12), la teoría “original de que todo pan es nutritivo no prohíbe más estados de cosas observables posibles que la [nueva teoría] de que todo pan es nutritivo excepto el que se cultiva en esa región de Francia”. De esta manera, el nuevo sistema teórico, que se ha construido por medio de una estrategia evidentemente *ad hoc*, no tiene una menor cantidad de potenciales falsadores, esto es, no tiene menos contenido empírico que el sistema previo, por lo que, en consecuencia, tampoco tiene un menor grado de falsabilidad. Por estas razones, Barnes sostiene que la reducción del contenido empírico de un sistema teórico no es una condición necesaria para que las estrategias sean *ad hoc*.

Por nuestra parte, creemos que las críticas de Bamford y Barnes son acertadas, de manera que el criterio que propone Popper para identificar las estrategias *ad hoc* debe revisarse. Barnes (2008) también considera que el criterio de la independencia en la contrastación es ambiguo. En este punto, Barnes concuerda con Bamford en que no hay que confundir la idea de una hipótesis que se formula con el único propósito de deducir una consecuencia observacional dada (por ejemplo, $\neg E$), con la idea de una hipótesis que no implica ninguna consecuencia observacional aparte de $\neg E$ (y de sus consecuencias). En otras palabras, según Bamford y Barnes, hay que distinguir entre una teoría que meramente acomoda la evidencia conocida y una teoría que, además de acomodar la evidencia conocida, también tiene otras virtudes epistémicas, por ejemplo, una teoría que tiene consecuencias independientemente contrastables.

Bamford y Barnes sostienen que estas dos características de una hipótesis son claramente independientes y que no hay, en general, ninguna razón para creer que existe una correlación entre ellas. Según Barnes (2008), esta confusión es el producto de una tensión que existe entre el método de Popper basado en la reducción en el contenido empírico y su criterio ambiguo de la independencia en la contrastación. En efecto, Barnes señala que, si adoptamos el criterio de la independencia en la contrastación, no se sigue que la reducción en el contenido empírico del nuevo sistema teórico implique que dicho sistema no pueda ser falsado o que disminuya su grado de falsabilidad. Creemos que estos problemas emergen de la ambigüedad propia del

criterio de Popper, y de su difícil precisión, y del método comparativo que ofrece para evaluar si este tipo de estrategias es *ad hoc*.

Además, también creemos que estas críticas acertadas afectan la defensa del predictivismo más fuerte, debido a que, como ya señalamos, también existe una acomodación genuina de la evidencia conocida que incrementa el grado de confirmación de la teoría, de manera que no *solo* las predicciones exitosas confirman la teoría. Según Barnes (2008, p. 11), Popper sostiene que “cuanto más prohíbe una teoría, mejor es” y, puesto que la acomodación de la evidencia conocida, a diferencia del caso de las predicciones novedosas, prohíbe menos estados de cosas observables posibles que la teoría previa, este hecho apoya la tesis predictivista. Sin embargo, como señalamos, la acomodación genuina de la evidencia conocida no siempre prohíbe menos consecuencias posibles que la teoría previa, por lo que este hecho no apoya, por lo menos, en todos los casos, el predictivismo. Como hemos podido advertir, la acomodación genuina de la evidencia conocida no siempre disminuye el contenido empírico de una teoría, por lo que, en consecuencia, no necesariamente disminuye el grado de falsabilidad de una teoría. Con todo, seguimos creyendo que el criterio de la contrastación independiente, que ni Barnes ni Bamford abandonan, tiene problemas.

Por nuestra parte, sostenemos que dicho criterio, además de ambiguo y de difícil precisión, apoya una posición según la cual la acomodación de la evidencia conocida no confirma, por sí sola, una teoría (insistimos, en sentido estricto, un sistema teórico, pero, como ya señalamos, el problema está formulado en estos términos). Según este criterio, aun en los casos en los que la acomodación confirma una teoría, esta confirmación está solo condicionada a la verificación de una predicción novedosa de esa teoría. Por ello, este criterio no apoya, por sí solo, una posición predictivista moderada. Si las estrategias que analizan estos filósofos no conducen a la deducción de una nueva consecuencia independientemente contrastable de la evidencia que fue acomodada y si, incluso, no se verifica esa consecuencia novedosa, la acomodación de la evidencia conocida no confirma la teoría. Así, sostenemos que el criterio de la contrastación independiente no es suficiente para sostener que la acomodación de la evidencia es un caso de confirmación de teorías, por lo que, en consecuencia, tampoco es suficiente para sostener un predictivismo moderado. En las próximas secciones de este capítulo, evaluaremos otros criterios que se han propuesto con el fin de elucidar con mayor precisión si esta clase de estrategias *ad hoc* está epistémicamente justificada. Nuestro objetivo es evaluar si estos criterios son útiles para dar cuenta del hecho de que la acomodación de la evidencia conocida también confirma, por sí sola, una teoría.

3.3 La concepción de las hipótesis *ad hoc* de Jarrett Leplin

Como advertimos en las secciones anteriores, por medio de las estrategias que proponen estos filósofos, por ejemplo, un cambio de teoría o una modificación del conjunto de hipótesis auxiliares, se pueden construir una variedad de sistemas teóricos que no impliquen el resultado previamente desfavorable para el sistema teórico o que impliquen la negación de ese resultado. Por esta razón, la diferencia entre los nuevos sistemas, y la preferencia de uno por sobre otro, no puede dirimirse solo en función de la adecuación empírica, sino que hay que recurrir a otras virtudes, incluso metodológicas de los sistemas teóricos. Por nuestra parte, creemos que el análisis de estas virtudes puede ser útil para evaluar si estas estrategias, en general, son meramente *ad hoc* o si son epistémicamente aceptables.

Las dificultades que ya señalamos del criterio de la contrastación independiente de Popper, ya sean los problemas normativos asociados a su ambigüedad, y a su difícil precisión; ya sean los problemas descriptivos vinculados con sus casos desfavorables (o bien, los casos en los que el criterio no se puede satisfacer de forma suficiente) que proporciona la historia de la ciencia, condujeron a que otros filósofos propusieran otros criterios para identificar si estas estrategias son *ad hoc*. Jarrett Leplin (1975), por ejemplo, analizó, con detalle y de forma sistemática, esta clase particular de estrategia, esto es, el cambio de teoría (Leplin continúa la discusión con los filósofos popperianos), e identificó cinco condiciones necesarias y suficientes bajo las cuales esta estrategia puede considerarse *ad hoc* (véase, además, Leplin 1982):

- 1) *Condición de anomalía experimental*: “si una hipótesis H se ‘introduce’ en una teoría T [esto es, se produce un cambio en alguna de las hipótesis propias de una teoría], en respuesta a un resultado experimental E , si H es *ad hoc*, entonces E es anómala para T , pero no para T con el suplemento H ” (Leplin 1975, p. 317, énfasis nuestro).

Si este es el caso, se dice que T es inadecuada. En este sentido técnico, una anomalía es la evidencia ya conocida que no puede ser explicada por las teorías disponibles. A su vez, según Leplin, para que se cumpla esta condición no es necesario que E sea incompatible con la teoría, sino que es suficiente con que la teoría sea, de alguna forma, inadecuada. Por otra parte, la inadecuación de una teoría se da con respecto a su dominio. En otras palabras, una teoría se construye, al menos en parte, con el objetivo de dar cuenta de ciertas cuestiones previas: resolver un problema planteado por las teorías previas, explicar los resultados experimentales

que se consideran comprendidos de manera inadecuada o describir de manera más completa las propiedades de las entidades postuladas por las teorías disponibles; por lo que todos los enunciados que especifican estos requisitos de la teoría, pertenecen al dominio de la teoría.

Leplin (1975, p. 318) sostiene que “los miembros del dominio D cumplen dos condiciones: (1) existen buenas razones, las cuales son independientes de T , para creer que los enunciados de D son verdaderos y (2) es una prueba de la adecuación de T , si ésta puede proporcionar una base sólida para para aceptar los enunciados de D con los que es consistente y para rechazar aquellos enunciados con los que es inconsistente”. Por esta razón, el conjunto de la evidencia conocida anómala para la teoría está restringido solamente a los enunciados que pertenecen al dominio de dicha teoría. En suma, esta condición es individualmente necesaria para que la modificación de alguna de las hipótesis de la teoría, esto es, la estrategia del cambio de teoría sea *ad hoc*, ya que sin la presencia de una anomalía no hay necesidad de cambiar la teoría.

2) *Condición de justificación*: “si una hipótesis H se ‘introduce’ en una teoría T en respuesta a un resultado experimental E , si H es *ad hoc*, entonces E es evidencia para H , pero:

- a) No hay ningún resultado experimental disponible, además de E , que apoye a H .
- b) H no tiene ninguna otra aplicación, además de E , sobre el dominio de T .
- c) H no tiene ningún apoyo teórico independiente” (Leplin 1975, p. 320).

Ante todo, conviene insistir en que, en el contexto de una posición holista y de una teoría deductivista de la confirmación, las hipótesis no implican la evidencia por sí solas, de manera que E no puede ser evidencia solo para H , sino para el sistema teórico en su conjunto. El análisis de Leplin no tiene en cuenta las consecuencias fundamentales del holismo de la contrastación. Además, como también ya señalamos, el término “introducción” de hipótesis auxiliares tampoco es estrictamente adecuado. En efecto, si una teoría o, más precisamente, un sistema teórico, implica un resultado desfavorable, ese sistema, en conjunción con una nueva hipótesis, también implicará, por la monotonía de la deducción, ese mismo resultado desfavorable. Como señalamos al comienzo del capítulo, no basta con agregar hipótesis para evitar la refutación de un sistema teórico, sino que hay que *retirar* alguna hipótesis del sistema o reemplazar alguna hipótesis por otras hipótesis nuevas. Con todo, esta condición da cuenta de la intuición supuesta en el criterio usual de la independencia en la contrastación, esto es, “una hipótesis *ad hoc* se introduce en respuesta a un resultado experimental desfavorable, el cual provee, sin embargo, su único apoyo”, pero es más rígida (Leplin 1975, p. 319). En efecto, esta condición limita tanto

el apoyo experimental, como el apoyo teórico de la hipótesis, puesto que la descripción de la evidencia experimental anómala también supone presupuestos teóricos. En este sentido, las restricciones de esta condición se refieren no solo a que la anomalía, en función de la cual se realiza el cambio de teoría, es el único apoyo experimental de la nueva hipótesis, sino a que, en un sentido más amplio, esa anomalía es el único problema que enfrenta la teoría. Por otra parte, esta condición también afirma que la aceptación de una ley o de algún principio de otras teorías disponibles tampoco otorga ningún apoyo a la nueva hipótesis, esto es, H no tiene ningún apoyo teórico independiente que provenga de otras teorías.

3) *Condición de tentatividad (tentativeness)*: “si una hipótesis H es *ad hoc*, no hay razones suficientes para sostener ni que H es verdadera ni que H es falsa” (Leplin 1975, p. 337).

Esta condición está directamente relacionada con la anterior, puesto que, si no hay otras razones, del tipo señalado, además de E , que apoyen a H , entonces, no hay ninguna razón suficiente para sostener la verdad de H . Leplin sostiene que tampoco tienen que haber razones suficientes para sostener la falsedad de H . De esta manera, “la hipótesis debe considerarse, de acuerdo a la evidencia disponible, indecidible” (Leplin 1975, p. 320). Sin embargo, la situación de la hipótesis puede cambiar frente a la adquisición de nueva evidencia. Por ello, la condición afirma que no hay razones suficientes *en el momento* en el que se produce esta estrategia. Por ello, esta condición implica que una hipótesis *ad hoc* no es, necesariamente, una hipótesis que está refutada (o bien que su grado de confirmación ha disminuido), puesto que no hay razones suficientes para afirmar ese compromiso.

4) *Condición de consistencia*: “si una hipótesis H es *ad hoc*, entonces H es consistente con la teoría aceptada y con las proposiciones esenciales de T ” (Leplin 1975, p. 327).

Como podemos advertir, esta condición da cuenta explícitamente de la estrategia particular del cambio de teoría, debido a que supone que la estrategia consiste en modificar solo alguna de las proposiciones no esenciales de la teoría. Como ya señalamos, Leplin no se refiere a un cambio en el conjunto de las hipótesis estrictamente auxiliares de un sistema teórico. A su vez, siempre según Leplin, parece que hay un sentido en el que todavía se puede seguir hablando de la misma teoría: esto es, se han modificado algunas de las hipótesis *periféricas* de la teoría. Por nuestra parte, creemos que la distinción entre hipótesis esenciales y periféricas presenta problemas epistemológicos. Ante todo, no puede realizarse si T es una teoría axiomatizada. En estas teorías, todos los axiomas son esenciales y, por tanto, también lo son sus consecuencias.

En todo caso, si se descubre que un axioma “no es esencial”, esto significaría que no es independiente, es decir, que se deduce de los otros axiomas, pero, en ningún caso, no es esencial en el sentido de que puede reemplazarse sin que se produzca un cambio de teoría. En general, incluso si T no es una teoría axiomatizada, esta distinción no es compatible con una concepción deductivista de las teorías. Según nuestra posición, la perspectiva holista y la distinción entre sistema teórico, teoría e hipótesis auxiliar evita estos problemas, por lo que es más adecuada a la hora de evaluar la confirmación.

5) *Condición de no fundamentalidad*: “si una hipótesis H que se ‘introduce’ en una teoría T en respuesta a un resultado experimental E es *ad hoc*, T se enfrenta a otros problemas, aparte de E , para los cuales hay buenas razones para creer que están conectados con E en los siguientes aspectos:

- a) Estos problemas, junto con E , indican que T es no fundamental.
- b) Ninguno de estos problemas, incluido E , puede resolverse de manera satisfactoria a menos que se solucione la no fundamentalidad de T .
- c) Una solución satisfactoria a cualquiera de estos problemas, incluido E , contribuye a la solución de los otros” (Leplin 1975, p. 331).

Leplin sostiene que una teoría no es fundamental si tiene otros problemas, entre los que la anomalía experimental es solo un ejemplo, cuya solución implica la revisión de la teoría, esto es, el reemplazo de algunas de sus hipótesis no esenciales por otras incompatibles con ellas. Estos problemas pueden ser de distintos tipos, por ejemplo: un fenómeno que la teoría aún no puede explicar, un supuesto que está en conflicto con otras afirmaciones de la teoría, o con el conocimiento previamente aceptado, un resultado experimental que está en conflicto con las predicciones de la teoría, una inconsistencia en la descripción de una entidad postulada por la teoría y la inaplicabilidad de la teoría a un caso relevante. Ahora bien, aquello que conecta a todos estos problemas de la teoría, incluida la anomalía experimental, es que surgen, en última instancia, “de la misma inadecuación básica de la teoría -una inadecuación que debe diagnosticarse sobre la base de la no fundamentalidad de la teoría con respecto a estos problemas” (Leplin 1975, p. 330). Leplin considera que, además de estos, la teoría puede tener otros problemas, los cuales pueden resolverse simplemente *expandiendo* la teoría, esto es, son problemas que no implican ni anomalías experimentales, ni resultados inconsistentes, y que pueden solucionarse mediante la introducción de nuevas hipótesis. En este sentido, las teorías

son solamente incompletas. Como ya hemos señalado, estos problemas suponen una *revisión* de la teoría y no simplemente una expansión.

Creemos que, con la introducción, en especial, de esta quinta condición, Leplin desplaza la valoración epistémica negativa que, según la posición clásica, pesaba sobre las hipótesis *ad hoc* a los sistemas teóricos en sí mismos. Leplin sostiene que las estrategias *ad hoc* responden a los defectos que presenta la teoría para dar cuenta de resultados experimentales, entre los cuales, la evidencia desfavorable solo es un caso. En otras palabras, la teoría carece de los recursos necesarios para *unificar* una serie de problemas que están interrelacionados. A su vez, esta carencia es un síntoma de que la teoría no es fundamental, de manera que debe *revisarse*. En suma, Leplin agrega otra virtud en este análisis de la justificación epistémica de las estrategias *ad hoc*: *el poder unificador*, cuya carencia es revelada por la necesidad de emplear dichas estrategias. En el contexto de una posición holista, este poder unificador y, por ejemplo, la simplicidad, son virtudes de los sistemas teóricos y no de una teoría aislada. A su vez, estas dos virtudes se encuentran directamente conectadas. En efecto, un sistema teórico debe ser capaz de unificar una gran variedad de resultados que le son desfavorables, pero a partir de la menor cantidad de postulados, o principios teóricos fundamentales, y de hipótesis auxiliares posibles. Por consiguiente, el balance entre el poder unificador y la simplicidad también da cuenta de la fundamentalidad de una teoría. Como señalaremos más adelante, para estos filósofos, la simplicidad de una teoría no es un concepto absoluto, sino que es relativo, por lo que debe evaluarse a partir de un análisis comparativo entre teorías.

En esta dirección, Maarten Boudry y Bert Leuridan (2011), por ejemplo, también sostienen que una hipótesis auxiliar es *ad hoc* no solo si esta hipótesis carece de apoyo contrastable de manera independiente, sino, además, si el sistema teórico no puede unificar de forma simple la evidencia conocida. Boudry y Leuridan (2011, p. 566) sostienen que un sistema teórico epistémicamente aceptable debe evitar el sobreajuste mediante un balance adecuado entre la simplicidad y el ajuste de la evidencia. En este sentido, consideran que “[un sistema teórico] ideal, si es que las observaciones disponibles lo permiten, es aquel que es lo suficientemente simple y el que logra el máximo ajuste de la evidencia disponible”. Por ello, un sistema teórico es preferible si, y en la medida en que, consigue, mediante un conjunto de hipótesis auxiliares simple y adecuado, unificar la evidencia conocida de una manera en la que no hubiese sido posible sin ese sistema teórico. Ahora bien, esto no significa que este sistema teórico supere a todos los sistemas teóricos posibles, sino que, de hecho, es muy probable que haya sistemas

teóricos rivales que sean igualmente admisibles, los cuales deberán compararse de acuerdo con un balance adecuado entre todas las virtudes epistémicas.

En suma, pensamos que la posición de Leplin acerca de las estrategias *ad hoc* ofrece nuevos conceptos para evaluar la justificación epistémica de estas estrategias y, con ello, el papel que desempeña la acomodación de la evidencia previamente conocida en la confirmación de una teoría. En especial, creemos que nos permite poner el acento no solo en las estrategias *ad hoc*, sino también en las deficiencias propias que tiene un sistema teórico a la hora de dar cuenta de una diversidad de problemas, entre los cuales la anomalía es solo un problema más. Esto conduce a una evaluación de las virtudes epistémicas de los sistemas teóricos, como el poder unificador y la simplicidad. En consecuencia, estas estrategias *ad hoc* serían, en determinados casos y bajo el cumplimiento de ciertas condiciones (por ejemplo, que haya una anomalía, que el sistema teórico nuevo sea más simple, o bien que consiga unificar un conjunto de resultados interrelacionados) epistémicamente aceptables. Por ello, estos conceptos nos ayudan a la hora de evaluar si existe una acomodación genuina de la evidencia conocida que confirma la teoría (en sentido estricto, el sistema teórico). Además del criterio de la contrastación independiente, si un sistema teórico consigue acomodar de una manera simple y unificada todas las anomalías que afectan a otras teorías disponibles, entonces, la acomodación confirma el sistema teórico. Por estas razones, la acomodación genuina de la evidencia conocida confirma, y no de manera condicionada a la verificación de una predicción, sino *por sí misma*, el sistema teórico.

De esta manera, el análisis de las estrategias *ad hoc* y, con ello, el de la acomodación de la evidencia conocida, debe estudiar, además de la contrastación independiente, otras virtudes epistémicas y la relación entre ellas. Hempel (1966, p. 30) ya había advertido las dificultades de este análisis cuando sostuvo que “de hecho, no existe ningún criterio preciso para identificar las hipótesis *ad hoc*”. Hempel cuestiona la viabilidad de una perspectiva que solo se concentre en un análisis exclusivamente lógico de las hipótesis, y en general, de las estrategias *ad hoc*, y que soslaye otros aspectos de relevancia epistémica. A partir de este diagnóstico de Hempel, muchos filósofos desarrollaron otras posiciones que no solo se apartaron de aquella valoración negativa que pesaba sobre estas estrategias, reconsiderando su valor epistémico positivo, sino que, además, ampliaron el análisis incorporando las relaciones entre las diferentes virtudes. Es más, algunos filósofos abandonaron el análisis puramente epistemológico de estas estrategias y propusieron interpretaciones de carácter esteticista y subjetivista, en las que prevalecen las preferencias particulares de los científicos. En las próximas secciones, evaluaremos esta clase de posiciones.

3. 4 La perspectiva contextual de Gerald Holton

Como señalamos, una nueva corriente de filósofos e historiadores de la ciencia comenzó a cuestionar el valor epistémico puramente negativo que se les había atribuido a las estrategias *ad hoc* y a mostrar casos en los cuales significaron, por el contrario, una ventaja epistémica con respecto a los sistemas teóricos previos. Por nuestra parte, creemos que esta reconsideración constituye un primer paso hacia la revalorización de la acomodación genuina de la evidencia conocida que nos permitirá argumentar que este tipo de acomodación confirma, por sí misma y no de una forma condicionada, un sistema teórico. El historiador de la ciencia Gerald Holton (1969), por ejemplo, sostiene que los científicos no siempre consideraron a estas estrategias de una manera negativa, sino que, por el contrario, en muchos casos les atribuyeron un papel epistémicamente positivo. En esta dirección, Holton (1969, p. 178), muestra que los científicos, en sus prácticas cotidianas, también se refieren a estas estrategias *ad hoc* con términos como, por ejemplo, “concebible, razonable, natural, verosímil”.

Holton (1969 y 1973) adoptó una posición subjetivista acerca del concepto general de *ad hoc*. En efecto, mediante un análisis descriptivo del uso que los científicos hacen de la palabra “*ad hoc*” en sus prácticas, concluyó que la valoración epistémica de los científicos con respecto a estas diferentes estrategias varía significativamente según el contexto. Según Holton (1969, p. 178), “hay una diferencia esencial entre el uso de ‘*ad hoc*’ por parte del científico y por parte del lógico, ya que el primero, lo emplea, en gran medida, como un tema de ciencia privada o de ciencia en proceso (*science-in-the-making*)”. En otras palabras, la valoración epistémica de los científicos con respecto a las estrategias *ad hoc*, en el desarrollo de su actividad científica creativa, “es un juicio esencialmente estético” que depende fuertemente de sus preferencias personales (Holton 1969, p. 178). A su vez, Holton (1969, p. 181) sostiene que, sin embargo, “el punto importante es que el término ‘*ad hoc*’ no es absoluto, sino que es relativo”, puesto que, por ejemplo, una hipótesis “puede ser *ad hoc* relativa a un contexto y no *ad hoc* relativa a otro contexto”. De esta manera, la valoración epistémica de estas estrategias, en general, también varía, incluso, de una manera intrasubjetiva, esto es, una persona puede modificar su propia valoración en el tiempo con respecto a una misma estrategia, según las teorías y la evidencia que dispone en cada momento particular; y de una manera intersubjetiva, esto es, diferentes personas pueden valorar de manera distinta la misma estrategia en el mismo tiempo. En suma, la posición de Holton acerca de las estrategias *ad hoc* es subjetivista y contextual.

Con todo, parece que, según Holton (1969), existe un criterio que, sin embargo, guía este “sentimiento” o sentido estético de los científicos en sus prácticas cotidianas. Holton (1969, p. 182) considera que este criterio se conecta con el criterio de Einstein acerca de la “perfección interna” de una teoría, puesto que supone un cierto “sentimiento de naturalidad (*naturalness*) o de la simplicidad lógica de las premisas” de la teoría. Inmediatamente, Holton (1969, p. 182) advierte que emplea la palabra “sentimiento” de manera deliberada, puesto que esta palabra refiere de una manera “precisa a esta dificultad que existe a la hora de definir los juicios acerca de la relevancia científica de las hipótesis” *ad hoc*. Einstein (1949, p. 23), por su parte, también había advertido que su criterio de la perfección interna, si bien “ha desempeñado un papel decisivo en la selección y en la evaluación de las teorías desde tiempos inmemoriales”, “su formulación exacta encuentra grandes dificultades”, puesto que, en este caso y a diferencia de lo que sucede con la evaluación de las consecuencias independientemente contrastables de un sistema teórico, pareciera que hay que realizar “una especie de ponderación recíproca entre cualidades inconmensurables”. Por esta razón, pareciera que, en este caso, también habría que recurrir a una especie de sentimiento o de juicio basado en la intuición.

Según esta posición, las estrategias *ad hoc*, por ejemplo, la modificación de algunas de las hipótesis auxiliares de un sistema teórico, deben evaluarse teniendo en cuenta su relación con el sistema teórico total. En este sentido, el criterio de naturalidad se refiere a la relación entre las hipótesis auxiliares y una teoría dentro de un sistema teórico. En otras palabras, una hipótesis auxiliar es *ad hoc* si no guarda ninguna *conexión natural* con dicha teoría. Pareciera que, según Holton, la introducción de una nueva hipótesis auxiliar, la cual, generalmente, proviene de alguna teoría previamente disponible, frente a cada nuevo resultado desfavorable del sistema teórico, conduce a un sistema teórico cada vez más heterogéneo y artificial. De esta manera, conecta su criterio de la naturalidad con la virtud de la simplicidad, ya que un sistema teórico más natural también es más simple. Por ello, un sistema teórico natural y más simple es menos *ad hoc*, y epistémicamente preferible respecto de un sistema teórico *artificial* y más complejo, debido a que evita la necesidad de tener que modificar el conjunto de las hipótesis auxiliares ante cada nuevo resultado desfavorable para el sistema teórico.

Creemos que la posición de Holton permite señalar dos aspectos relevantes para nuestros propósitos. En primer lugar, muestra que hay casos en los que las estrategias *ad hoc* conducen a una ventaja epistémica respecto del sistema teórico previo. Por esta razón, si creemos que estas estrategias *ad hoc* se relacionan estrechamente con la acomodación de la evidencia conocida, entonces, hay una valoración positiva del papel de la acomodación de la evidencia en

la confirmación. En segundo lugar, Holton introduce una nueva virtud metodológica, la naturalidad o conexión natural de una hipótesis auxiliar con la teoría dentro de un sistema teórico que, si bien es muy difícil de precisar, es otra virtud que nos permite distinguir entre la acomodación genuina de la evidencia conocida y la acomodación meramente espuria, que no otorga apoyo confirmatorio. Por último, sostenemos que la naturalidad da cuenta de la perspectiva epistemológica de Einstein, puesto que, según Einstein, una teoría es preferible si, además de explicar y de predecir una serie de fenómenos a partir de pocos principios teóricos, también presenta cierta coherencia entre esos principios, además de cierta elegancia en su estructura general.

3.5 La posición esteticista de Christopher Hunt

Las dificultades para proporcionar una justificación epistémica de estas estrategias *ad hoc* en un marco puramente epistemológico condujo, como ya señalamos, a que muchos filósofos optaran por investigar los aspectos subjetivos de estas estrategias, esto es, las preferencias personales, incluso aquellas de carácter estético, de los científicos. La posición subjetivista más fuerte sostiene que el juicio acerca de si una estrategia es *ad hoc* depende, exclusivamente, del sentido estético de los científicos. Christopher Hunt (2012, p. 1), por ejemplo, afirma que “lo que es ‘*ad hoc*’ parece ser un juicio realizado por científicos particulares sobre la base no de una definición bien establecida, sino, de su sentido estético individual”. Sin embargo, Hunt no ofrece una caracterización precisa del significado de “sentido estético de los científicos”, sino que, por el contrario, adopta una caracterización más cercana al sentido común: una hipótesis auxiliar *ad hoc*, por ejemplo, es una hipótesis menos bella, o menos elegante, que una hipótesis que no lo es. En este sentido, se apoya en el concepto de inducción estética de James McAllister (1996), según el cual, las teorías científicas son evaluadas como bellas, o feas, en función de un canon estético construido por la comunidad científica en cierto momento histórico.

Ahora bien, los criterios que se emplean para construir este canon cambian con el tiempo, de manera que lo que es considerado bello en un momento histórico puede, como ocurre, por ejemplo, en el arte, cambiar de valoración en otro momento histórico. En definitiva, para Hunt (2012), y también para McAllister, lo que realmente determina este cambio en el canon y, en consecuencia, en la valoración estética de las hipótesis, es el éxito de las teorías, medido por la acumulación de evidencia favorable. En definitiva, “si lo que es *ad hoc* depende de un sentido estético (de manera que, en gran medida, depende del ojo del observador), [...] sugiero que la

utilidad del término ‘hipótesis *ad hoc*’, si es que alguna vez ha tenido alguna, ha llegado a su fin”, puesto que, desde un punto de vista epistemológico, la distinción entre hipótesis *ad hoc* e hipótesis no *ad hoc* no ofrece ninguna ventaja (Hunt 2012, p. 13). En suma, según Hunt (2012, p. 13), si evaluamos la práctica científica desde una perspectiva estrictamente epistemológica “pareciera que, en última instancia, no hay hipótesis *ad hoc* e hipótesis no *ad hoc*, sino que, simplemente, hay hipótesis – y punto”, las cuales, a su vez, tendrán que evaluarse solo en la medida del apoyo empírico que reciben.

Por nuestra parte, creemos que esta posición acerca de las hipótesis *ad hoc* y, en general, de las estrategias *ad hoc*, disuelve el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida, puesto que, si, por ejemplo, solamente hay hipótesis auxiliares y no hay una distinción epistémicamente relevante entre hipótesis auxiliares que son *ad hoc* y que no son *ad hoc*, entonces que una hipótesis auxiliar sea *ad hoc* (y, con ello, la acomodación de la evidencia conocida) no incrementa, ni disminuye (esto es, es irrelevante), por el solo hecho de ser *ad hoc*, el grado de confirmación de un sistema teórico. En este sentido, si la evidencia es una predicción, o ha sido acomodada por la teoría, no influye sobre el grado de confirmación de un sistema teórico. Esta consecuencia radical se sigue, inevitablemente, de la redirección del problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia hacia el problema de las estrategias *ad hoc*. Según nuestra posición, la concepción esteticista de las estrategias *ad hoc* es insostenible. Pensamos que es insostenible desde un punto de vista normativo, debido a que consideramos que existe una distinción epistémica entre las hipótesis auxiliares *ad hoc* y las no *ad hoc* y que, en ciertos casos, las hipótesis *ad hoc* son epistémicamente aceptables. En efecto, el hecho de que todavía no se hayan encontrado condiciones necesarias y suficientes bien definidas que identifiquen cuándo las hipótesis *ad hoc* son epistémicamente aceptables no implica que no las haya en absoluto; pero, por otra parte, tampoco implica que la justificación de estas estrategias deba analizarse según criterios subjetivos o estéticos.

Creemos que es posible, aun con todas sus dificultades, encontrar criterios metodológicos, o virtudes epistémicas, que permiten justificar, de manera empírica y racional, estas estrategias *ad hoc* (véase Friederich, Harlander y Karaca 2014). En este capítulo, ya hemos evaluado algunos de estos criterios metodológicos y virtudes epistémicas: la independencia en la contrastación, la anomalía, el poder unificador, la simplicidad, la naturalidad. Por otra parte, también creemos que la posición esteticista es insostenible desde un punto de vista descriptivo, puesto que consideramos que los científicos distinguen en sus prácticas entre ambos tipos de hipótesis y que, además, son conscientes de las desventajas de las hipótesis meramente *ad hoc*. En efecto,

las extensas discusiones entre los científicos y los filósofos de la ciencia no tendrían sentido si ellos mismos no advirtieran ninguna diferencia epistémica entre esas hipótesis y, en definitiva, no dudaran en absoluto a la hora de modificar el conjunto de hipótesis auxiliares con hipótesis epistémicamente sospechosas. Este punto es interesante, puesto que, como sostiene Schindler (2018), si todas las hipótesis auxiliares fueran igualmente buenas, esto es, si cualquier tipo de hipótesis fuera igualmente aceptable, entonces, los científicos tendrían muy pocas limitaciones para construir sus teorías y se dedicarían simplemente remendar sus resultados desfavorables.

En este sentido, creemos que, sin un criterio objetivo claro que permita identificar las estrategias meramente *ad hoc*, esto es, aquellas cuyo único propósito es la restauración de la adecuación empírica, entonces “cualquier [sistema teórico] que tenga anomalías podría ser modificado a voluntad sin que [esa modificación] pueda ser objetable” (Schindler 2018, p. 58). Y lo que es aún más importante, dado que, en principio, cualquier sistema teórico, aun de manera artificial, puede modificarse de forma tal que no implique la evidencia previamente desfavorable, si no contamos con ningún criterio que identifique posibles estrategias *ad hoc*, ¿mediante cuáles criterios se adoptaría un sistema teórico por sobre otro?²⁰ Creemos que los científicos no solo buscan salvar los fenómenos, sino que, principalmente, buscan teorías comprensivas que, en la medida de lo posible, solucionen los problemas, expliquen las anomalías y predigan fenómenos a partir de la menor cantidad de supuestos posibles y que, además, sean simples, unificadas y coherentes. Por estas razones, creemos que la mayoría de los filósofos aún continúa la búsqueda de ciertos criterios que permitan identificar las estrategias *ad hoc* que son epistémicamente aceptables.

3. 6 La concepción coherentista de Samuel Schindler

Entre las posiciones *objetivistas* que buscan algún tipo de criterio que permita identificar las estrategias *ad hoc* epistémicamente aceptables, se encuentra la de Samuel Schindler (2018, p. 58) para quien, “las posiciones subjetivistas acerca de lo *ad hoc* están construidas sobre la base de un *non sequitur*: la variación [intra e intersubjetiva] de los juicios acerca de lo *ad hoc* no implica, por si sola, la subjetividad de estos juicios”. En cambio, Schindler sostiene una posición normativa acerca de lo *ad hoc*, según la cual los científicos deben evitar, en la medida de lo posible, las estrategias *ad hoc* y, en el caso de que igualmente las lleven a cabo, deben aceptar

²⁰ Como ya señalamos, la otra estrategia que supone un holismo fuerte, esto es, la modificación del sistema teórico de manera tal que implique la negación de esa evidencia, no siempre es posible.

que son epistémicamente deficientes. En relación con el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida, Schindler (2014 y 2018) sostiene que la acomodación de la evidencia conocida se parece lo suficiente a una estrategia *ad hoc*, por lo que incrementa, si es que lo hace, en menor medida el grado de confirmación de la teoría que la verificación de sus predicciones novedosas.

La posición normativista de Schindler se basa en una concepción *coherentista* de la relación entre la teoría y las hipótesis *ad hoc*. Schindler (2018, p. 59) sostiene que “una hipótesis *A*, que se ‘introduce’ para salvar una teoría *T* de la refutación debido a un dato *E* [en sentido estricto, al sistema ($T \& A_1$)], es *ad hoc*, si y solo si (1) *E* es evidencia para *A* y (2) *A* parece *arbitraria* en el sentido de que *A* no es coherente ni con *T* ni con las teorías previamente aceptadas *K*” (énfasis nuestro). Según Schindler, esto significa que ni *T* ni *K* ofrecen buenas razones para creer en *A* más que en no *A*. Ante todo, creemos que debemos suponer que (1) quiere decir que *E* es evidencia para *A* en conjunción con *T*, es decir, para el sistema teórico ($T \& A$), ya que *A* no implica por sí sola ninguna *E*. Si este fuese el caso, la condición (1) se cumple trivialmente, puesto que estas hipótesis modifican el sistema teórico justamente con el objetivo de deducir sus resultados desfavorables ya conocidos. Como ya señalamos, esta estrategia corresponde al holismo fuerte y se distingue del holismo débil defendido por Quine, para quien, no siempre es posible construir un nuevo sistema teórico que implique la negación de la evidencia refutadora y preservar la consistencia de ese sistema.

La condición (2) introduce la relación de coherencia que da nombre y especifica su posición con respecto a las hipótesis *ad hoc*. Schindler sostiene que aún no existe un acuerdo general acerca del significado del concepto de coherencia y asume, como supuesto mínimo, que si *A* es coherente con *T* o con *K*, *T* o *K* proporcionan buenas razones (y, como las razones provienen de *T* o *K*, son buenas razones teóricas) para creer en *A* en lugar de en no *A*. Schindler considera que una buena razón teórica es aquella que proporcionan una *T* o un *K* que cuenten, además, con apoyo empírico, ya que, si este no fuera el caso, se podría construir de manera arbitraria cualquier *T* cuyo único propósito fuera proporcionar una razón para convertir una hipótesis *ad hoc* *A* en no *ad hoc*.

Claramente, el punto fundamental es elucidar la relación de coherencia. En esta dirección, Schindler (2018) adopta una perspectiva pluralista respecto de las razones teóricas que tanto *T* como *K* pueden ofrecer para creer en *A*, por lo que, en consecuencia, adopta una perspectiva pluralista acerca de la relación de coherencia. Schindler afirma que Ernan McMullin (1993) fue uno de los primeros en conectar el concepto de *ad hoc* con la falta de coherencia, pero, según

Schindler, McMullin concebía la coherencia exclusivamente en los términos de la explicación causal-unificacionista y no de una manera pluralista. McMullin considera que la coherencia está dada por la capacidad de una teoría para dar cuenta, en un sentido causal, de todo un conjunto de eventos o propiedades físicas con la menor cantidad de supuestos adicionales posibles. Por el contrario, Schindler sostiene que este tipo de explicación solo es una de todas las buenas razones teóricas que existen para creer en A .

Según Schindler (2018), la consistencia lógica de A con T o K , por ejemplo, es una condición necesaria, pero no es suficiente para que exista una relación de coherencia entre A y T o K . La relación de coherencia exige el cumplimiento de otras condiciones adicionales. Entre ellas, la más directa puede ser la condición de *deductibilidad*, esto es, si A se deduce de T o de K , T o K ofrecen buenas razones teóricas para creer en A , por lo que creer en A es coherente con creer en T o K . Con todo, Schindler (2018, p. 59) afirma que también pueden ofrecerse justificaciones menos directas, por ejemplo, “una razón teórica para creer en A podría ser una *explicación* de por qué, a la luz de T o K , A debería ser el caso” (énfasis nuestro). A su vez, esta explicación podría ser causal o también podría consistir en una subsunción de A bajo una regularidad más general. Schindler sostiene que las razones teóricas pueden ser, incluso, más débiles, esto es, T o K podrían ofrecer razones para creer en A simplemente por medio del descarte de aquellos posibles escenarios que son inconsistentes con A .

En definitiva, la posición de Schindler respecto de las hipótesis *ad hoc* no es subjetivista, puesto que los juicios acerca del carácter *ad hoc* de una hipótesis dada no dependen de ninguna de las preferencias de los científicos; sino objetivista, ya que dichos juicios dependen exclusivamente de la relación de coherencia que existe entre las proposiciones (por ejemplo, en el caso de las hipótesis auxiliares *ad hoc*, entre la hipótesis auxiliar, una teoría y el conjunto del conocimiento previamente disponible). Por nuestra parte, sostenemos una perspectiva objetivista y normativista de las estrategias *ad hoc* en general y creemos que la posición de Schindler proporciona otro criterio, la coherencia, que permite distinguir entre la acomodación genuina de la evidencia y la meramente espuria. En efecto, la acomodación de la evidencia conocida (por ejemplo, $\neg E$) confirma un sistema teórico (por ejemplo, $(T \& A_2)$) si ese sistema teórico, además de implicar dicha evidencia, es coherente, esto es, si la teoría T proporciona buenas razones para creer en A_2 .

Creemos que la acomodación de la evidencia conocida compromete, inevitablemente, la noción fuerte de holismo, ya que el sistema teórico revisado debe implicar la evidencia que refutaba el sistema teórico original. En efecto, si el sistema teórico $(T \& A_2)$ no implica E ni $\neg E$,

esto es, no implica la evidencia que refutaba el sistema teórico original (*T & A*), difícilmente pueda decirse que acomoda la evidencia conocida. Como ya hemos señalado, esta estrategia no siempre es posible, de manera que, en los casos en los que puede realizarse, apoya fuertemente la posición según la cual la acomodación confirma una teoría. Con todo, creemos que, pese a todos estos intentos, las condiciones de Schindler, al igual que todos los criterios propuestos por los filósofos deductivistas, también son ambiguas y de difícil precisión. En el próximo capítulo, desarrollaremos una interpretación bayesiana de algunos de estos conceptos e intentaremos mostrar que la teoría bayesiana de la confirmación ofrece un esquema normativo más adecuado, puesto que permite distinguir, de una manera más clara, entre la acomodación genuina de la evidencia conocida y la meramente espuria, por lo que, en consecuencia, permite la defensa de un predictivismo moderado.

CAPÍTULO 4

El predictivismo y la teoría bayesiana de la confirmación

4. 1 Introducción: el programa bayesiano

La etiqueta “bayesianismo” se emplea, de manea usual, para denominar a ciertos programas de investigación heterogéneos que, a su vez, pertenecen a distintas ramas del conocimiento. En matemática, por ejemplo, se denomina bayesianismo, de manera general, a una interpretación del concepto de probabilidad y a un conjunto heterogéneo de métodos estadísticos. En filosofía, en cambio, el bayesianismo suele considerarse como un programa de epistemología general y, en particular, de filosofía de la ciencia, que ha tenido varias aplicaciones exitosas en diferentes áreas. Entre estas aplicaciones, se destaca su éxito en la confirmación de teorías, por lo que el bayesianismo se reconoce, quizás de manera más extendida, como la denominación de una de las teorías de la confirmación más aceptadas por los filósofos de la ciencia. En esta tesis, nos concentraremos en la teoría bayesiana de la confirmación y solo nos referiremos de manera indirecta a los aspectos del bayesianismo en general que emplea esta teoría de la confirmación.

La teoría bayesiana es una teoría inductivista y probabilística de la confirmación. En efecto, es inductivista, debido a que no se sustenta en la lógica deductiva clásica, sino que ofrece una medida del grado de apoyo empírico que cierta evidencia le confiere a una hipótesis o teoría (en adelante, solo nos referiremos a teorías). Además, es probabilística porque esta medida del grado de apoyo empírico se interpreta, y se calcula, con el aparato conceptual y formal del cálculo matemático de probabilidades. Por consiguiente, el supuesto fundamental de la teoría bayesiana es identificar la función de confirmación de la teoría de la confirmación con la función de probabilidad del cálculo de probabilidades. De esta manera, la función de confirmación **Cf** asigna un número real r a la tríada de proposiciones T , E y K (que describen, respectivamente, la teoría, una evidencia y el conjunto del conocimiento previo) tal como lo hace la función de probabilidad condicional **Pr** del cálculo de probabilidades con las proposiciones T , E y K .²¹ En

²¹ La teoría de la probabilidad más usual en los libros de texto, esto es, la teoría de Kolmogórov (1956), está formulada en el lenguaje de la teoría elemental de conjuntos. Ahora bien, ya que nuestro objetivo es analizar la teoría de la confirmación, cuyo objeto son las proposiciones, deberemos referirnos a la teoría de la probabilidad en el lenguaje de la lógica proposicional clásica. Sin embargo, esto no representa una dificultad, puesto que ambas formulaciones son equivalentes y, en consecuencia, intertraducibles. Para una presentación con mayor detalle de la teoría de la probabilidad y de su relación con el bayesianismo, véanse Earman 1992 y Howson y Urbach 2006.

otras palabras, se cumple que $\mathbf{Cf}(T, E, K) = \mathbf{Pr}(T|E \& K) = r$. Esta identidad, condición de todas las teorías probabilísticas de la confirmación, expresa que la confirmación de una teoría, dados una evidencia y el conjunto del conocimiento previamente disponible, es igual a la probabilidad condicional de una proposición (por ejemplo, la proposición T , que describe una teoría) dadas otras proposiciones (por ejemplo, las proposiciones E y K , que describen una evidencia y el conocimiento previo); y esta, a su vez, es igual a un número real r de acuerdo con los axiomas y los teoremas del cálculo de probabilidades.

Ante todo, conviene señalar que existen, en líneas generales, tres versiones diferentes de la teoría bayesiana de la confirmación: el *bayesianismo subjetivista ortodoxo*, la cual, hoy en día, es la posición mayoritaria entre los bayesianos; el *bayesianismo moderado* y el *bayesianismo objetivista*. En adelante, solo discutiremos la variante subjetivista y adoptaremos una posición más moderada, pero no objetivista. Brevemente, podemos señalar que la diferencia sustancial entre estas tres versiones consiste en las restricciones que permiten en la asignación de un valor para las probabilidades previas. En efecto, ninguna de estas versiones cuestiona el uso de probabilidades previas, sino que difieren en los métodos y principios mediante los cuales se les asigna una medida. Como explicaremos con mayor detalle más adelante, para el bayesianismo subjetivista ortodoxo, la única restricción en la asignación de probabilidades previas es el uso de la *coherencia probabilística*. Por el contrario, el bayesianismo objetivista sostiene que existe un único valor para las probabilidades previas provisto, justamente, por un método objetivo de asignación.

El bayesianismo objetivista no acepta que diversos agentes con el mismo *background* de creencias plenas (por ejemplo, con el mismo conjunto K) puedan asignar valores diferentes a la misma probabilidad previa. Para los objetivistas, entre los que podemos destacar a Edwin Jaynes (1968), existe un criterio de consistencia según el cual, si los agentes comparten el mismo conjunto K , entonces, deben asignar un mismo valor a las probabilidades previas. Con todo, el bayesianismo objetivista aún no ha ofrecido un método claro suficientemente aceptado entre los bayesianos.²² La tercera posición es el bayesianismo moderado el cual, como señalaremos con mayor detalle más adelante, consiste, justamente, en una moderación del bayesianismo subjetivista ortodoxo mediante la introducción de otras restricciones, además de la coherencia estricta, en la asignación de las probabilidades previas, restricciones que, como mostraremos,

²² Para una presentación con mayor detalle de las defensas más actuales del bayesianismo objetivista sustentadas, principalmente, en la maximización del principio de entropía, véanse Joyce 2011, pp. 423-431 y Williamson 2010, §2.3.

no pueden justificarse en el contexto de la teoría de la probabilidad, sino sobre la base de ciertos criterios que parecen epistémicamente razonables.

Dicho esto, la particularidad de la teoría bayesiana subjetivista de la confirmación, entre las teorías probabilísticas de la confirmación, es su interpretación del concepto de probabilidad y su relación con las creencias y la racionalidad de un sistema de creencias. En efecto, la teoría matemática de la probabilidad es un sistema formal que admite diferentes interpretaciones que satisfacen sus axiomas. Como señalamos, el bayesianismo también puede concebirse como una de estas interpretaciones del cálculo de probabilidades que define el concepto de probabilidad de una manera subjetivista. Así, según la teoría bayesiana de la confirmación, la probabilidad condicional de una teoría dada cierta evidencia debe entenderse como el grado de creencia particular de un sujeto individual en la verdad de una proposición (por ejemplo, una proposición que describe una teoría) dado que ya cree verdadera otra proposición (por ejemplo, una proposición que describe una cierta evidencia).²³ En este sentido, la probabilidad representa y le otorga medida al grado de creencia particular de un sujeto individual en la verdad de una proposición.

En este punto, es importante señalar que para el bayesianismo todas las probabilidades son condicionales. En efecto, una de las principales contribuciones del bayesianismo al estudio de la inferencia inductiva fue el reconocimiento del papel fundamental que desempeña el concepto de probabilidad condicional, ya que la probabilidad condicional, a diferencia de la probabilidad absoluta, permite medir, justamente, la probabilidad de una proposición bajo el supuesto de que otra proposición es verdadera (véase Joyce 2011).²⁴ Ahora bien, el carácter esencialmente subjetivo de la probabilidad consiste en que dos agentes individuales pueden asignar un valor

²³ Para mayores detalles de la interpretación subjetivista de la probabilidad, véanse Gillies 2000, pp. 50-59 y Peterson 2009, pp. 143-161.

²⁴ En la teoría de la probabilidad de Kolmogórov (1956, p. 6), la noción de probabilidad condicional se introduce mediante una definición explícita ($\Pr(\alpha|\beta) =_{\text{def.}} \Pr(\alpha \& \beta) / \Pr(\beta)$, con $\Pr(\beta) > 0$), ya que el término primitivo de la teoría es la probabilidad absoluta. En cambio, en las formulaciones bayesianas, como ya señalamos, el término primitivo es la probabilidad condicional (introducida por medio del *axioma de multiplicación*: para toda proposición $\alpha, \beta \in P$, $\Pr(\alpha \& \beta) = \Pr(\beta) \times \Pr(\alpha|\beta)$); mientras que la probabilidad absoluta se introduce por definición (para toda proposición $\alpha, \beta \in P$, si $\models \beta$, entonces $\Pr(\alpha) =_{\text{def.}} \Pr(\alpha|\beta)$). Este punto es muy relevante, ya que mediante el axioma de multiplicación (o mediante la definición de probabilidad condicional) se deduce el teorema de Bayes en su formulación más usual. Por esta razón, la elección de la probabilidad condicional como término primitivo de la teoría tiene varias ventajas formales, además de las ya señaladas con respecto al análisis de la inferencia inductiva: (1) no deja indeterminada la situación en la que $\Pr(\beta) = 0$ y (2) establece todos los supuestos relevantes en la forma de axiomas, o los deduce como teoremas a partir de ellos, y no los introduce como definiciones.

de probabilidad diferente a una misma proposición incluso si comparten el mismo conjunto de creencias previas.²⁵

Para el bayesianismo, un agente individual puede asignar cualquier valor de probabilidad a una proposición (esto es, puede tener cualquier grado de creencia en la verdad de una proposición), siempre que cumpla dos condiciones que dan cuenta de la racionalidad de sus grados de creencia. La primera condición es la *coherencia probabilística*, según la cual una asignación racional de un valor de probabilidad a una proposición debe, además de ser deductivamente consistente, satisfacer los axiomas y los teoremas del cálculo matemático de probabilidades (véanse Cassini 2003 y Talbott 1991). Por ello, la coherencia probabilística es una condición más fuerte que la consistencia lógica. Por ejemplo, si un agente individual sostiene que $\Pr(\alpha | K) > \Pr(\beta | K)$ no puede, al mismo tiempo, sostener que $\Pr(\alpha \vee \delta | K) < \Pr(\beta \vee \delta | K)$, donde δ refiere a una proposición mutuamente inconsistente con α y β , puesto que viola el axioma de aditividad del cálculo matemático de probabilidades. En suma, el grado de creencia de un agente individual bayesiano debe ser deductivamente consistente y probabilísticamente coherente.

La segunda condición es el *principio de condicionalización*, esto es, una regla mediante la cual se actualizan los grados de creencia ante la adquisición de nuevas creencias verdaderas. En otras palabras, esta regla actualiza la función de probabilidad frente a la adquisición de una nueva proposición con un valor de probabilidad, en principio, igual a 1.²⁶ Este principio es sumamente relevante para la teoría bayesiana de la confirmación y, en particular, para el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida, ya que es una regla de inferencia inductiva y probabilística que establece cómo debe actualizarse la probabilidad de una teoría ante la adquisición de una nueva evidencia conocida. Sea \Pr_{t_0} la función de probabilidad de un agente individual en un tiempo inicial previo a la adquisición de una nueva proposición con un valor de probabilidad igual a 1; y \Pr_{t_1} la misma función de probabilidad del mismo agente, pero en un tiempo posterior, esto es, en un tiempo en el que ya ha adquirido la nueva proposición,

²⁵ El denominado teorema Ramsey-de Finetti prueba que la interpretación de la probabilidad como el grado de creencia coherente de un agente individual satisface, para aditividad finita, los axiomas del cálculo de probabilidades, por lo que es un modelo de la teoría matemática de la probabilidad. Véanse de Finetti 1937 y Ramsey 1926. Para una exposición elemental, pero completa de la prueba, véase Gillies 2000, pp. 60-65.

²⁶ Esta es una condición de la regla de condicionalización simple. Como señalaremos más adelante, hay otras reglas, por ejemplo, la regla de condicionalización de Jeffrey, que se aplican a proposiciones con un valor de probabilidad entre 0 y 1.

la regla de condicionalización simple establece la relación de transformación desde una función de probabilidad a la otra de la siguiente manera:

Regla de Condicionalización Simple: $\Pr_{t1}(\alpha | K) = \Pr_{t0}(\alpha | E \& K)$

con $\Pr_{t1}(E | K) = 1$.

Desde un punto de vista epistemológico, podemos distinguir dos procesos que componen esta regla y que, en principio, son independientes. En primer lugar, un proceso no inferencial por medio del cual se obtiene $\Pr_{t1}(E | K) = 1$, esto es, un procedimiento mediante el cual se *verifica* una nueva proposición (por ejemplo, una proposición que describe la evidencia), por lo que se considera conocida con certeza. Para el bayesianismo, este procedimiento es ciego, esto es, la teoría bayesiana no se ocupa de la justificación del conocimiento observacional, sino que supone que, en un momento dado, una consecuencia observacional se ha verificado, de manera que debe recibir un valor de probabilidad igual a 1. El segundo proceso que compone esta regla, en cambio, es inferencial y consiste en la actualización de la función de probabilidad producto de la adquisición de la nueva evidencia conocida con certeza.²⁷

Ahora bien, como señalamos, la teoría bayesiana de la confirmación es una teoría inductivista y probabilística, cuyo objetivo es medir el grado de apoyo empírico que cierta evidencia le otorga a una teoría, esto es, proporciona un método para asignar, por ejemplo, un valor de probabilidad a una teoría en función de la adquisición de nueva evidencia, pero no proporciona reglas para la aceptación o el rechazo de una teoría. El bayesianismo no establece un umbral de probabilidad por encima del cual debemos aceptar una teoría, ni un umbral de probabilidad por debajo del cual debemos rechazarla. Para el bayesianismo, en principio, cualquier teoría que tenga un valor de probabilidad mayor que 0 puede retenerse. La teoría bayesiana de la confirmación ofrece un esquema que permite comparar dos situaciones: una situación en la cual un agente individual asigna un cierto valor de probabilidad a una teoría dado su conjunto de creencias previas (esto es, el agente dispone de la probabilidad previa de la teoría) y una situación en la cual ese mismo

²⁷ El bayesianismo subjetivista ha ofrecido varias estrategias para justificar estas dos condiciones. La estrategia más usual, y más desarrollada, consiste en apelar a la validez de los denominados *Dutch Books arguments*. Estos argumentos relacionan, en general, la racionalidad de un sistema de grados de creencia con la conducta de un agente individual en las apuestas. En este sentido, estos argumentos suponen que el grado de creencia funciona como un cociente de apuestas justo e intentan mostrar que, si un agente individual tiene un grado de creencia que es probabilísticamente incoherente, entonces está dispuesto a aceptar apuestas que, en su conjunto, siempre lo harán perder. Existen *Dutch Books arguments* de tipo sincrónico, que se utilizan para justificar el principio de la coherencia probabilística; y de tipo diacrónico, que se utilizan para justificar el principio de condicionalización. Véanse Earman 1992, pp. 38-40 y Horwich 1982, pp. 27-32.

agente debe asignar un valor de probabilidad a la misma teoría dados su conjunto de creencias previas y una evidencia (esto es, el agente obtiene la probabilidad posterior de la teoría). Como ya hemos señalado, la teoría bayesiana sostiene que, si la probabilidad posterior de una teoría es mayor que su probabilidad previa, entonces esa evidencia confirma la teoría y, cuanto mayor sea la diferencia entre la probabilidad posterior y la previa, mayor será el incremento en el grado de confirmación de dicha teoría.

El criterio estándar mediante el cual el bayesianismo mide el incremento en el grado de confirmación de una teoría es el denominado “modelo de la diferencia” (esto es, $d(T, E) = \Pr(T|E \& K) - \Pr(T|K)$). Por ejemplo, si la probabilidad previa que un agente individual le asigna a una teoría es 0,4 y obtiene una probabilidad posterior de 0,6, entonces la evidencia confirma la teoría y el incremento en su grado de confirmación es de 0,2.²⁸ En la sección 2 del capítulo 1, señalamos que el cálculo de la probabilidad posterior de una teoría se realiza mediante la aplicación del teorema de Bayes y presentamos el teorema en su formulación más usual. Señalamos que una vez que un agente individual le asigna, de una manera subjetiva, un valor de probabilidad a cada una de las probabilidades previas (esto es, a la probabilidad previa, a la *likelihood* y a la esperabilidad), la probabilidad posterior de la teoría se obtiene, de una manera objetiva, exclusivamente por medio de la aplicación del teorema de Bayes. En esta sección, presentaremos otra formulación del teorema de Bayes, equivalente a la usual, que, según creemos, es muy relevante desde el punto de vista de la inferencia inductiva, por lo que, en consecuencia, es sumamente útil en el análisis de las teorías de la confirmación y, en particular, en el análisis del problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida. Dicha formulación es la siguiente (véase Howson y Urbach 2006, pp. 21-22):

$$\text{Teorema de Bayes: } \Pr(T|E \& K) = f(\Pr(T|K), \frac{\Pr(E|\neg T \& K)}{\Pr(E|T \& K)})$$

con $\Pr(E|T \& K) > 0$

Esta formulación es muy importante para nuestros objetivos debido a que relaciona la probabilidad posterior de una teoría con una función (f) definida sobre dos factores: (1) la

²⁸ Existen otros modelos dentro del bayesianismo subjetivista que miden el incremento en el grado de confirmación de una teoría. En las últimas secciones de este capítulo, señalaremos las ventajas de algunos de ellos con respecto al modelo de la diferencia. Sin embargo, todos estos modelos comparten, en última instancia, el aspecto fundamental de la teoría bayesiana de la confirmación, esto es, miden si ha habido un incremento en la probabilidad posterior de la teoría con respecto a su probabilidad previa. Para una discusión más detallada entre todos estos modelos, véanse Eells y Fitelson 2000; Fitelson 1999 y Kahn, Landsburg y Stockman 1992.

probabilidad previa de la teoría y (2) el denominado “factor de Bayes”. El factor de Bayes, esto es, el cociente entre las *likelihoods* de la evidencia, recibe esta denominación porque expresa, por una parte, todo el apoyo confirmatorio que la evidencia le otorga a una teoría y porque, además, es un factor exclusivo de la teoría bayesiana de la confirmación. En efecto, en las teorías deductivistas, solo tiene relevancia la evidencia que se deduce de la teoría, de manera que, como ya señalamos, no ofrecen una medida del grado de apoyo confirmatorio que la evidencia le otorga a una teoría. Por esta razón, el valor de la *likelihood* de la evidencia es siempre igual a 1 (esto es, $\Pr(E|T \& K) = 1$) (véase Good 1983a).

Retomando la formulación del teorema, la probabilidad posterior de la teoría es igual a una función que crece con respecto a su probabilidad previa y que decrece con respecto al factor de Bayes. En consecuencia, si mantenemos fijo el valor de la probabilidad previa, la probabilidad posterior de la teoría es mayor, cuanto menor sea el valor del factor de Bayes y, cuanto menor sea el valor de este factor, mayor será el incremento en la probabilidad posterior de la teoría, por lo que, en consecuencia, mayor será el incremento en el grado de confirmación de la teoría. Por su parte, el valor del factor de Bayes será más bajo, esto es, el valor del cociente entre las *likelihoods* será más bajo, cuanto mayor sea la probabilidad de la evidencia con respecto a la teoría en cuestión que con respecto a las otras teorías disponibles (esto es, $\Pr(E|T \& K) > \Pr(E|\neg T \& K)$). En la sección 8 de este capítulo, analizaremos con mayor detalle el significado de este factor.

Creemos que la teoría bayesiana de la confirmación proporciona un marco normativo más adecuado que las teorías deductivistas para evaluar el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida. Creemos que la teoría bayesiana ofrece un esquema que permite sostener que las predicciones exitosas de una teoría incrementan *en mayor medida* el grado de confirmación de esa teoría que el éxito de la teoría en la acomodación de la evidencia conocida. Por esta razón, la teoría bayesiana permite la defensa del predictivismo. Sin embargo, creemos que ese mismo esquema bayesiano de la confirmación, también permite sostener que la acomodación genuina de la evidencia conocida es un caso de confirmación de teorías. Así, la teoría bayesiana permite la defensa de un predictivismo moderado. En las próximas secciones, argumentaremos a favor de esta última posición.

4. 2 La concepción bayesiana de las predicciones

Como señalamos en la sección 4 del capítulo 1, adoptaremos una concepción epistémica de la predicción, puesto que mostramos que es normativa y descriptivamente más adecuada que la concepción heurística. En esta sección, presentaremos una interpretación bayesiana de esta concepción epistémica y mostraremos una primera aproximación de su relación con el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida. El análisis bayesiano más básico del concepto de predicción se concentra, principalmente, en la elucidación de la esperabilidad de la evidencia (esto es, $\Pr(E|K)$), es decir, de la probabilidad condicional de la evidencia dado el conjunto del conocimiento previo, independientemente de la verdad, o de la falsedad, de una teoría. Ahora bien, si tenemos en cuenta la primera formulación del teorema de Bayes que presentamos, la más usual, podemos advertir que la esperabilidad es inversamente proporcional a la probabilidad posterior de la teoría, por lo que, *ceteris paribus*, cuanto menor sea el valor de la esperabilidad, mayor será el valor de la probabilidad posterior de la teoría y, en consecuencia, para los mismos valores de la probabilidad previa de la teoría, mayor será el incremento en el grado de confirmación de dicha teoría.

Ahora bien, de acuerdo a la teoría bayesiana, cada uno de los enunciados observacionales verificados, esto es, la evidencia conocida, tiene, en principio, un valor de probabilidad igual a 1. Como ya hemos señalado, el bayesianismo no se ocupa de la justificación del conocimiento observacional, sino que, en cierto momento, considera que un enunciado ha sido verificado, por lo que el valor de su probabilidad es igual a 1 y ese enunciado pasa a formar parte del conjunto del conocimiento previo. Por esta razón, si la evidencia conocida tiene un valor de probabilidad igual a 1, entonces los enunciados observacionales desconocidos, y no refutados, esto es, las predicciones (entendidas de manera epistémica), deberían tener, por oposición, un valor de probabilidad menor que 1. Por ello, la interpretación bayesiana de la concepción epistémica de la predicción sostiene que, si la evidencia que ya se conoce tiene un valor de probabilidad igual a 1 (esto es, $\Pr(E|K) = 1$), entonces, las predicciones de la teoría, es decir, la evidencia que se deduce de la teoría, pero que se desconoce en el momento de la formulación de la teoría, tienen un valor de probabilidad, en principio, diferente de 1, pero, como ya señalamos, puede adoptar valores muy bajos (esto es, $\Pr(E|K) \neq 1$ o $\Pr(E|K) \ll 1$).

Sin embargo, en estos casos, las restricciones en la asignación de un valor a la esperabilidad de la evidencia desconocida dependen de consideraciones epistémicas que no se encuentran estrictamente en la teoría bayesiana. Según el bayesianismo, si la evidencia es desconocida,

entonces alcanza con que su valor de probabilidad sea menor que 1 (esto es, $\Pr(E|K) < 1$). Ahora bien, si analizamos las predicciones con respecto a las teorías disponibles y al carácter de la evidencia, podemos adoptar ciertas restricciones epistémicamente razonables en la asignación de un valor para esa probabilidad. En efecto, la precisión y la cantidad de información que ofrece una predicción con respecto al conocimiento previo, de manera que se reduzca el espacio de posibilidades, puede considerarse un criterio epistémico que constriñe la asignación de un valor de probabilidad a la esperabilidad. En este sentido, por ejemplo, la predicción “existe un planeta hasta ahora desconocido en alguna región del universo” debería tener un valor de probabilidad que es mayor al valor que tiene la predicción “existe un planeta hasta ahora desconocido en una región específica r de nuestro Sistema Solar” y esta predicción, a su vez, debería tener un valor de probabilidad mayor que el valor que tiene la predicción “existe un planeta de masa m y de órbita o hasta este momento desconocido en una región específica r de nuestro Sistema Solar” (véase Alai 2014).

En suma, cuánto más información proporcione la predicción y cuánto más precisa y más clara sea esa información con respecto al conocimiento previo, más improbable será esa predicción, ya que, en caso contrario, es decir, “cuanto menos informativa y más *a priori* probable es una predicción, hay más teorías posibles de las que se deduce” (Alai 2014, p. 307). Según Alai (2014, p. 308), “el *contenido informativo* de una predicción puede concebirse, a la manera usual, como la clase de posibilidades que excluye”. Si el espacio de posibilidades es infinito, la información se puede medir a partir de una relación de inclusión de clases. Si, por el contrario, el espacio de posibilidades es finito, la información se puede medir contando todas las posibilidades excluidas. Ahora bien, en cualquiera de los dos casos, el punto relevante es que el contenido informativo y, en consecuencia, la probabilidad *a priori*, solo pueden evaluarse con respecto a un lenguaje, que particiona el espacio de posibilidades, y con respecto a la información previa que se dispone de los pesos relativos de esas posibilidades. Con todo, Alai (2014, p. 308) sostiene que, en la práctica, “se realizan comparaciones del contenido informativo y de la probabilidad *a priori* de varias predicciones que tienen un sentido claro y compartido y que proporcionan, a su vez, un resultado bastante definido para cualquier partición aceptable del espacio de posibilidades a la luz de nuestras teorías independientemente aceptadas”.

La condición de que la esperabilidad de la evidencia debe tener un valor de probabilidad muy bajo o, cuanto más bajo, mayor será el incremento en el grado de confirmación de una teoría, también da cuenta de ciertos aspectos, que ya señalamos, de la teoría de Popper. En efecto, la dependencia inversa de la probabilidad posterior de una teoría con respecto a la esperabilidad

de la evidencia da cuenta de la intuición común de que, cuanto más sorprendente o, en otras palabras, cuanto menos esperable es la evidencia dado el conocimiento previo, mayor será el incremento, en el caso de que se verifique, en el grado de confirmación de dicha teoría. Como señalamos, el falsacionismo sostiene que la corroboración de una teoría se produce cuando la teoría se somete a una contrastación que podría refutarla y pasa la prueba. En este sentido, Popper sostiene que las predicciones más arriesgadas, esto es, las predicciones que son más inesperadas (en términos bayesianos, la evidencia más improbable dado el conocimiento previo, esto es, la evidencia cuya esperabilidad es muy baja) son los mejores refutadores potenciales de una teoría, por lo que sostiene, incluso, que las corroboraciones solo cuentan si son el resultado de la verificación de este tipo de predicción. Por esta razón, si traducimos la posición de Popper en términos bayesianos, un valor de esperabilidad diferente de 1 para la evidencia (esto es, $\Pr(E|K) \neq 1$) es una condición suficiente, pero también necesaria, para que la evidencia confirme la teoría, y, además, cuanto más bajo sea el valor de esa esperabilidad (esto es, $\Pr(E|K) \ll 1$), mayor será el incremento en el grado de confirmación de esa teoría.

Por estas razones, el esquema bayesiano de la confirmación, en particular, la elucidación del papel que la esperabilidad de la evidencia desempeña en la formulación más usual del teorema de Bayes, permite la defensa del predictivismo. La interpretación bayesiana de la concepción epistémica de la predicción sostiene que, si la evidencia que se deduce de una teoría es una predicción, entonces $\Pr(E|K) < 1$, por lo que, en consecuencia, si mantenemos fijo el valor de la probabilidad previa de la teoría, entonces, $\Pr(T|E \& K) > \Pr(T|K)$, por lo que las predicciones confirman dicha teoría. Además, cuanto más improbable sea la predicción que se deduce de la teoría, esto es, cuanto más bajo sea el valor de la esperabilidad de la predicción, mayor será la diferencia entre $\Pr(T|E \& K)$ y $\Pr(T|K)$, por lo que, en consecuencia, mayor será el incremento en el grado de confirmación de esa teoría. Hasta este punto, sin embargo, hemos mostrado que, según el esquema bayesiano, las predicciones confirman una teoría, pero no hemos mostrado que solo la verificación de las predicciones novedosas confirma una teoría, ni que lo hagan en mayor medida que la acomodación exitosa de la evidencia conocida. En las próximas secciones, desarrollaremos una interpretación bayesiana de la acomodación de la evidencia y mostraremos por qué, según algunos bayesianos, no confirma, en absoluto, la teoría y por qué, según nuestra posición, existe una acomodación genuina de la evidencia conocida que confirma una teoría, aunque en menor medida que el éxito de las predicciones novedosas.

En esta sección, podemos adelantar que la condición que defiende Popper, esto es, que solo las predicciones arriesgadas, o bien que solo la evidencia desconocida, confirman una teoría, no

es, para la teoría bayesiana de la confirmación, una condición necesaria, sino solo suficiente para que la evidencia confirme una teoría (véase Nickles 1988). Por esa razón, como señalaremos con mayor detalle más adelante, el esquema bayesiano de la confirmación permite mostrar que la evidencia conocida, esto es, $\Pr(E|K) = 1$, también confirma una teoría y que no es necesario que $\Pr(E|K) \ll 1$ para que la evidencia confirme una teoría. De esta manera, sostendremos que la teoría bayesiana de la confirmación permite la defensa de un predictivismo moderado. Sin embargo, si queremos mostrar que la evidencia conocida confirma la teoría, deberemos recurrir a otra formulación del teorema de Bayes y a otras interpretaciones del concepto de probabilidad de la evidencia. La formulación usual del teorema de Bayes y la interpretación del concepto de esperabilidad de la evidencia que hemos presentado en esta sección conducen a un problema muy discutido que se conoce como “el problema de la vieja evidencia” (*old evidence*). En la próxima sección, abordaremos con mayor detalle este problema y sus consecuencias.

4.3 El problema de la vieja evidencia

El análisis bayesiano de la acomodación de la evidencia conocida es más complejo que el de las predicciones, puesto que se conecta con una de las dificultades más relevantes de la teoría bayesiana de la confirmación que ha sido fuertemente criticada por los filósofos no bayesianos y ampliamente debatida al interior del bayesianismo, esto es, con el denominado “problema de la vieja evidencia” (*the problem of old evidence*).²⁹ En efecto, la búsqueda bayesiana de una acomodación genuina de la evidencia conocida no se concentró exclusivamente, como lo hizo la búsqueda deductivista, en la justificación epistémica de las estrategias *ad hoc*, sino en la solución del problema de la vieja evidencia. Sin embargo, sostendremos que estos dos problemas están estrechamente relacionados. En lo que sigue, argumentaremos que la posibilidad de justificar, mediante un esquema bayesiano de la confirmación, la confirmación de una teoría producto de la acomodación satisfactoria de la evidencia conocida depende, necesariamente, de la solución del problema de la vieja evidencia.

Clark Glymour (1980, pp. 85-93) proporcionó la primera formulación explícita del problema de la vieja evidencia. Según Glymour, la vieja evidencia, esto es, los enunciados que describen los fenómenos ya conocidos y que, en consecuencia, tienen un valor de probabilidad igual a 1 (por lo que, $\Pr(E|K) = 1$), es un problema para la teoría bayesiana de la confirmación, ya que, si

²⁹ Daniel Garber (1983, p. 99) fue el primero en proponer la denominación “el problema de la vieja evidencia”, ahora usual en la bibliografía específica, para referirse a esta dificultad de la teoría bayesiana de la confirmación.

aplicamos este valor de probabilidad en la formulación usual del teorema de Bayes, entonces, la vieja evidencia no confirma la teoría de la que, sin embargo, se deduce. De esta manera, si este planteo es correcto y no puede solucionarse, la teoría bayesiana de la confirmación sería, en sí misma, una posición predictivista fuerte, puesto que, según su esquema, la acomodación de la evidencia conocida, esto es, de la vieja evidencia, no solo no incrementa en ninguna medida el grado de confirmación de una teoría, sino que no le otorga ningún apoyo confirmatorio en absoluto y solo la verificación de las predicciones de una teoría confirman esa teoría.

Como hemos señalado, la teoría bayesiana de la confirmación, que se sustenta en el modelo de la diferencia, sostiene que una evidencia E , ya sea que se conozca o no, confirma una teoría T si y solo si $\Pr(H|E \& K) > \Pr(H|K)$, esto es, si y solo si la probabilidad posterior de una teoría es mayor que su probabilidad previa; y señalamos que la probabilidad posterior de una teoría se calcula por medio de alguna de las formulaciones del teorema de Bayes. Analicemos los tres factores de la formulación más usual del teorema de Bayes. En primer lugar, mantenemos fijo el valor de la probabilidad previa de la teoría. Luego, si la evidencia se infiere de la teoría, entonces el valor de la *likelihood* de la evidencia es menor o igual a 1 (esto es, $\Pr(E|T \& K) \leq 1$). En efecto, si la evidencia se deduce de la teoría, entonces el valor de la *likelihood* es igual a 1 (esto es, $\Pr(E|T \& K) = 1$), pero si la evidencia se infiere probabilísticamente de la teoría, como ocurre en el caso de las teorías estadísticas, entonces el valor de la *likelihood* puede ser menor o igual a 1 (esto es, $\Pr(E|T \& K) \leq 1$).

El tercer factor que queda por analizar en esta formulación más usual del teorema de Bayes es la esperabilidad de la evidencia. En este punto, como ya hemos señalado, si la evidencia se conoce, esto es, si la evidencia es vieja evidencia, entonces, de acuerdo con la teoría bayesiana de la confirmación, el valor de la esperabilidad de la evidencia es igual a 1 (esto es, $\Pr(E|K) = 1$). Por lo tanto, si aplicamos el valor de estas probabilidades previas en el teorema usual de Bayes, obtendremos (1) que, si la evidencia conocida se deduce de la teoría, el valor de la probabilidad posterior es igual al valor de la probabilidad previa (esto es, $\Pr(T|E \& K) = \frac{\Pr(T|K) \times 1}{1} = \Pr(T|K)$); y (2) que, si la evidencia conocida se infiere probabilísticamente de la teoría, entonces el valor de la probabilidad posterior de la teoría es menor o igual al valor de su probabilidad previa (esto es, $\Pr(T|E \& K) = \frac{\Pr(T|K) \times (0,1)}{1}$), por lo que $\Pr(T|E \& K) \leq \Pr(T|K)$). Por lo tanto, (1) la evidencia conocida que se deduce de la teoría no solo no incrementa el grado de confirmación de la teoría, sino que no le ofrece ningún apoyo confirmatorio; y (2) la evidencia conocida que se infiere probabilísticamente de la teoría no solo no le ofrece ningún apoyo confirmatorio, sino

que, incluso, podría, en determinados casos, disminuirle su grado de confirmación.³⁰ En suma, la acomodación de la evidencia conocida, la cual se infiere de la teoría, nunca incrementa el grado de confirmación de la teoría, por lo que, en consecuencia, no la confirma.

Por ello, si este esquema bayesiano de la confirmación y esta interpretación bayesiana de la acomodación de la evidencia son adecuados, entonces la teoría bayesiana de la confirmación constituye, en sí misma, una posición predictivista fuerte. Sin embargo, no todos los filósofos bayesianos aceptaron que el problema de la vieja evidencia estuviera bien planteado, por lo que, en consecuencia, no todos consideraron que sus consecuencias fueran necesarias. Según Brush (1994), todas las combinaciones posibles entre el predictivismo y la teoría bayesiana de la confirmación han sido igualmente defendidas. Entre ellas, claramente, la más defendida es el predictivismo más fuerte, pero también hay posiciones bayesianas que sostienen una clase de predictivismo más moderado, esto es, sostienen que el esquema bayesiano de la confirmación no conduce, irremediamente, al predictivismo fuerte, puesto que es posible formular otro esquema bayesiano por medio del cual se puede justificar que la acomodación de la evidencia conocida es un caso de confirmación de teorías.

En efecto, desde el planteo del problema por parte de Glymour, la mayoría de los filósofos bayesianos consideró que estas consecuencias no eran normativamente intuitivas, esto es, sostuvieron que la evidencia que se deduce de una teoría, independientemente de que ya se conozca, debía otorgarle apoyo confirmatorio a dicha teoría. Asimismo, tampoco consideraron que las consecuencias del problema fueran descriptivamente adecuadas, ya que, para estos filósofos, la historia de la ciencia proporciona muchos casos en los que los científicos han considerado que una teoría ha sido confirmada por evidencia que se deduce de ella y que ya se conocía con anterioridad a la formulación de esa teoría. El ejemplo más citado por los filósofos bayesianos es el caso, ya señalado, de la precesión del perihelio de la órbita de Mercurio. En este caso, la evidencia ya se conocía con anterioridad a la formulación de la teoría de la relatividad general (esto es, ya se había observado la tasa de la precesión del perihelio) y, sin embargo, los científicos de la época consideraron que el hecho de que la evidencia se deducía de esa teoría constituía un fuerte apoyo confirmatorio a la teoría.

³⁰ La formulación de Glymour (1980), y la de la mayoría de los filósofos de la ciencia, del problema de la vieja evidencia se concentra exclusivamente en la evidencia que se deduce de la teoría, puesto que su análisis solo se enfoca en las teorías deterministas universalmente irrestrictas. Sin embargo, optamos por incluir el caso en el que la evidencia se infiere probabilísticamente de la teoría, debido a que la formulación de este tipo de teorías es cada vez más usual en la ciencia. De todas maneras, la inclusión de este caso, no afecta, de manera general, las consecuencias del problema de la vieja evidencia señaladas tanto por Glymour, como por otros filósofos de la ciencia.

Por estas razones, los críticos bayesianos del predictivismo fuerte sostuvieron que el planteo del problema de la vieja evidencia, o esta interpretación bayesiana de la acomodación de la evidencia conocida, eran inadecuados y ofrecieron una elucidación alternativa. Por nuestra parte, creemos que estas críticas son sumamente relevantes para la evaluación del problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida, ya que consideramos que todas las soluciones adecuadas al problema de la vieja evidencia son, también, estrategias o formas de mostrar que, según la teoría bayesiana de la confirmación, existe una acomodación genuina de la evidencia conocida, esto es, que la acomodación exitosa de la evidencia conocida también es un caso de confirmación de teorías. En las próximas secciones, analizaremos estas soluciones al problema de la vieja evidencia y sostendremos que la teoría bayesiana permite la defensa de un predictivismo moderado.

4. 4 Las primeras respuestas al problema de la vieja evidencia

La solución del problema de la vieja evidencia no es sencilla y constituye un fuerte obstáculo para aquellos filósofos que defienden que la acomodación satisfactoria de la evidencia conocida es un caso de confirmación de teorías. La primera, y la más inmediata, de las soluciones consiste, claramente, en rechazar el supuesto fundamental que da lugar al planteo del problema, esto es, en rechazar que el valor de la probabilidad de la evidencia conocida dado el conocimiento previo deba ser igual a 1 (esto, es $\Pr(E|K) < 1$). En efecto, si rechazamos esta restricción en la asignación libre de un valor de probabilidad a la esperabilidad, entonces, las consecuencias indeseables del problema de la vieja evidencia no se siguen (esto es, si $\Pr(E|K) < 1$, entonces, *ceteris paribus*, $\Pr(T|K) \leq \Pr(T|E \& K)$, de manera que no ocurre, necesariamente, que $\Pr(T|E \& K) = \Pr(T|K)$ y, en consecuencia, la evidencia conocida puede confirmar la teoría de la que se infiere). Por esta razón, esto es, porque rechazan esta premisa fundamental, los defensores de la confirmación de teorías mediante la acomodación de la evidencia conocida sostienen que el problema de la vieja evidencia está mal planteado.

Según esta posición, sostener esta restricción en la asignación de un valor a la probabilidad de la evidencia conocida dado el conocimiento previo (esto es, sostener que $\Pr(E|K) = 1$) tiene las siguientes desventajas epistemológicas que apoyan su rechazo: (1) valora de igual manera, esto es, le asigna el mismo valor de probabilidad a los enunciados contingentes (por ejemplo, los enunciados que describen la evidencia o las teorías) y a los enunciados necesarios (esto es,

las verdades lógicas o analíticas).³¹ En efecto, la teoría bayesiana de la confirmación no ofrece un criterio de distinción entre estos dos tipos de enunciados, cuya distinción, creemos que es lógica y epistémicamente relevante. Esta desventaja conduce a (2) otra de tipo técnico, ya que, según la teoría matemática de la probabilidad, si una proposición tiene un valor de probabilidad igual a 1, nunca podrá disminuir su valor, de manera que, en consecuencia, si a la evidencia conocida se le asigna un valor de probabilidad igual a 1, entonces, pasa a pertenecer al conjunto del conocimiento previo K y, en ningún caso, podrá ser excluida de ese conjunto. Así, esta restricción en la asignación de un valor de probabilidad igual a 1 a la evidencia conocida junto con este teorema de la teoría matemática de la probabilidad conducen a (3) una desventaja de la teoría bayesiana de la confirmación que podríamos considerar de tipo descriptivo, ya que la conjunción de estas condiciones pareciera no adecuarse a la historia de la ciencia. En efecto, la historia de la ciencia proporciona una gran cantidad de casos en los que la comunidad científica descartó evidencia que se consideraba conocida, esto es, excluyó evidencia que pertenecía al conjunto del conocimiento previo (véase Talbott 1991).

Para esta posición bayesiana moderada, a las proposiciones contingentes (por ejemplo, a las proposiciones que describen la evidencia), no se les debería asignar un valor de probabilidad igual a 1. En la teoría bayesiana de la confirmación, a esta restricción en la asignación de un valor a las probabilidades previas se la denomina *coherencia estricta* y, como señalamos, no pertenece al bayesianismo subjetivista ortodoxo. La coherencia estricta afirma que solo a las proposiciones analíticamente verdaderas (o a las verdades lógicas) se les debe asignar un valor de probabilidad igual a 1 (esto es, si $\Pr(\alpha) = 1$, entonces, $\models \alpha$). De la misma manera, solo a las proposiciones analíticamente falsas (o a las falsedades lógicas) se les debe asignar un valor de probabilidad igual a 0. De acuerdo con la coherencia estricta, a todas las proposiciones empíricas, que son lógicamente contingentes, por ejemplo, las proposiciones que describen la evidencia conocida, se les debe asignar un valor de probabilidad entre 0 y 1. Este requisito, sin embargo, no puede justificarse mediante la teoría de la probabilidad, sino solo sobre la base de razones epistémicas. La adopción de requisito de coherencia estricta tiene, sin embargo, sus propias dificultades. La dificultad más relevante consiste en que si rechazamos que $\Pr(E|K) = 1$, entonces, debemos abandonar uno de los principios que, como ya hemos señalado, constituyen el núcleo duro del bayesianismo, esto es, debemos abandonar la regla de condicionalización simple y reemplazarla

³¹ En efecto, uno de los axiomas de la teoría matemática de la probabilidad expresa, en lenguaje proposicional, que para toda proposición $\alpha \in P$, si $\models \alpha$, entonces, $\Pr(\alpha) = 1$. La conversa de este axioma, sin embargo, no es un teorema de la teoría de la probabilidad.

por otra regla que permita actualizar la función de probabilidad frente a la adquisición de una nueva proposición, cuyo valor de probabilidad sea menor que 1 (esto es, $0 < \Pr(E|K) < 1$).

Richard Jeffrey (1983b) propuso una generalización de la regla de condicionalización simple que permite, justamente, actualizar la función de probabilidad ante la adquisición de una nueva proposición con un valor de probabilidad menor que 1, por lo que permite actualizar la función de confirmación de un agente ante la adquisición de una nueva evidencia conocida, pero incierta (esto es, $0 < \Pr(E|K) < 1$). Según Jeffrey (1983b), una regla de condicionalización debe ser capaz de expresar el cambio no inferencial que se produce en la probabilidad de una proposición y de su negación (que se supone que expresan todos los cambios no inferenciales que se producen en la probabilidad) desde las probabilidades de la situación inicial $0 < \Pr_{t0}(E|K) + \Pr_{t0}(\neg E|K) < 1$ hasta las probabilidades de la situación final $\Pr_{t1}(E|K) + \Pr_{t1}(\neg E|K) = 1$, y no simplemente describir que es lo que ocurre en el caso particular en el que el cambio no inferencial lo produce una proposición con un valor de probabilidad igual a 1. Sea $\{E, \sim E\}$ la partición $\{E_i\}_{con i \in \mathbb{N}}$ más simple del espacio de probabilidad Ω , la regla de condicionalización de Jeffrey puede formularse como sigue (véase Earman 1992, pp. 34-35):

Regla de Jeffrey: $\Pr_{t1}(\alpha|K) = \Pr_{t0}(\alpha|E \& K) \times \Pr_{t1}(E|K) + \Pr_{t0}(\alpha|\neg E \& K) \times \Pr_{t1}(\neg E|K)$

Como podemos advertir, la regla de condicionalización simple es un caso especial de la regla general de condicionalización de Jeffrey, puesto que si $\Pr_{t1}(E|K) = 1$, entonces $\Pr_{t1}(\alpha|K) = \Pr_{t0}(\alpha|E \& K)$. Sin embargo, la regla de condicionalización de Jeffrey no tiene las mismas propiedades que la regla de condicionalización simple, de manera que ambas reglas no son equivalentes. Por ejemplo, la regla de Jeffrey no conmuta de igual forma que la regla de condicionalización simple, ya que, en ciertos casos, puede ser asimétrica, esto es, si se invierte el orden temporal en el que se adquieren las nuevas proposiciones, entonces la actualización de la función de probabilidad puede conducir a diferentes resultados.³² Ahora bien, si se busca una teoría de la confirmación adecuada, entonces las consecuencias de esta propiedad, por ejemplo, constituyen un resultado indeseable, por lo que la adopción de esta regla por sobre la regla de condicionalización simple no parece ofrecer mayores ventajas epistemológicas, sino que, por el contrario, complejiza el

³² La propiedad conmutativa de la regla de condicionalización implica que el orden temporal en el que se adquiere una proposición es irrelevante a la hora de actualizar la función de probabilidad. Esto es, si $\Pr_{t1}(\alpha|K)$ se obtiene a partir de \Pr_{t0} mediante la condicionalización primero sobre ε_i y luego sobre ε_j ; y si, por el contrario, $\Pr_{t1}^*(\alpha|K)$ se obtiene a partir de \Pr_{t0} mediante la condicionalización primero sobre ε_j y luego sobre ε_i , entonces $\Pr_{t1}(\alpha|K) = \Pr_{t1}^*(\alpha|K)$. Para un análisis más detallado de esta propiedad y de otras propiedades diferentes de la regla de Jeffrey, véase Joyce 2011, pp. 450-454.

formalismo de la teoría bayesiana de la confirmación y agrega nuevos problemas en el análisis de la confirmación de teorías.

Con todo, creemos que el rechazo del supuesto fundamental (esto es, $\Pr(E|K) = 1$), no evita significativamente las consecuencias indeseables del problema de la vieja evidencia, puesto que, aun teniendo en cuenta las críticas y sus desventajas, el valor de la probabilidad de la evidencia conocida debe ser, si bien no igual a 1, cercano a ese valor (esto es, $\Pr(E|K) \cong 1$), por lo que, en consecuencia, si bien este supuesto permite mostrar que la evidencia conocida incrementa el grado de confirmación de una teoría, dicho incremento resulta insignificante comparado con el que produce la verificación de una predicción novedosa, y será mucho más insignificante cuanto más cercano a 1 sea el valor de la probabilidad de la evidencia conocida. En efecto, como señala David Christensen (1999, p. 439) "sigue siendo verdadero que a medida que $\Pr(E|K)$ se aproxima a 1, el grado en el que E puede confirmar [una teoría] se vuelve extremadamente más pequeño". En consecuencia, si la evidencia se conoce casi con certeza, entonces, $\Pr(E|K) \cong 1$, por lo que, si hay un incremento en el grado de confirmación de la teoría, éste es despreciable.

Por estas razones, creemos que estas primeras respuestas al problema de la vieja evidencia no solo no conducen a su solución, sino que, además, tampoco permiten una justificación clara de un predictivismo moderado. En efecto, el esquema bayesiano de la confirmación que supone esta alternativa muestra que la evidencia conocida no confirma significativamente una teoría y que, incluso en el caso en el que la confirma, este incremento en el grado de confirmación que otorga es tan despreciable comparado con el que otorga el éxito de las predicciones novedosas que la comparación entre la acomodación y el éxito de las predicciones pierde significación. En las próximas secciones, mostraremos que, si reemplazamos el esquema bayesiano usual con el que se calcula la probabilidad posterior por otro esquema más adecuado, entonces, podemos sostener que la acomodación genuina de la evidencia conocida es un caso de confirmación de teorías.

4. 5 Los aspectos sincrónico y diacrónico del problema de la vieja evidencia

Daniel Garber (1983, p. 102), por su parte, considera que "existen, al menos, dos problemas sutilmente diferentes", y con consecuencias también diferentes, que pueden distinguirse en el planteo del problema de la vieja evidencia de Glymour. En esta sección, analizaremos estos dos subproblemas, sus diferencias fundamentales y la relación con la interpretación bayesiana de la acomodación genuina de la evidencia conocida. El primero de estos subproblemas, que Garber

llama “el problema histórico de la vieja evidencia”, alude al trabajo del científico que, en el curso de su investigación, parece utilizar la evidencia conocida para incrementar su grado de confianza en cierta teoría en particular. Christensen (1999, p. 441) también da cuenta, en sus aspectos fundamentales, de este subproblema, al que denomina “el problema diacrónico de la vieja evidencia”, y sostiene que este problema afecta a “la teoría bayesiana del cambio de creencias”. En este sentido, este aspecto diacrónico del problema de la vieja evidencia se conecta con lo que se conoce como la dinámica bayesiana, esto es, con el mecanismo mediante el cual, como ya hemos señalado, los agentes actualizan sus grados de creencia frente a la adquisición de una evidencia.

Según Christensen (1999), esta forma de actualizar los grados de creencia dada la adquisición de la nueva evidencia se produce, ya sea porque la teoría se formuló cuando la evidencia ya se conocía, o bien porque alguien, en un momento posterior a la formulación de la teoría, advierte que existe alguna relación de implicación o de explicación entre la evidencia conocida y la teoría de la que se deduce. En definitiva, el punto central de este subproblema consiste en si es posible sostener, dentro del marco de la teoría bayesiana, que este tipo de proposición (esto es, una proposición que describe la evidencia conocida) actualiza de esa forma, esto es, incrementando su medida, el grado de creencia de un agente individual en cierta proposición (por ejemplo, una proposición que describe una teoría). Recientemente, Jan Sprenger y Stephan Hartmann (2019) también recuperaron, en sus aspectos generales, la distinción entre estos dos subproblemas y llamaron al primero de ellos, en una referencia clara a la dinámica bayesiana, como “el aspecto dinámico del problema de la vieja evidencia”.

Según Sprenger y Hartmann (2019, p. 133) este aspecto "se refiere al momento en el tiempo en el que se descubren las relaciones [ya sea de implicación o de explicación] entre T y E ". Como podemos advertir, la pregunta que se hacen estos filósofos continúa en la misma dirección que la de aquellos: ¿Por qué el descubrimiento de estas relaciones entre la evidencia conocida y la teoría de la que se deduce incrementa el grado de creencia en dicha teoría? De esta manera, el aspecto dinámico del problema de la vieja evidencia se ocupa, según Sprenger y Hartmann, en términos más específicos, de cómo el *aprendizaje* de este tipo de relaciones puede incrementar nuestro grado de creencia en una teoría. Si analizamos el ejemplo de la precesión del perihelio de la órbita de Mercurio, este subproblema plantea que no es el conocimiento de la evidencia misma, esto es, el conocimiento de que el perihelio de la órbita de Mercurio precede de una manera anómala, sino el descubrimiento de una relación de implicación o de explicación entre

la teoría de la relatividad general y la precesión anómala del perihelio lo que es problemático y debe evaluarse.

En otras palabras, según Sprenger y Hartmann, el problema consiste en que los científicos consideraron que el descubrimiento de esta relación, y no la evidencia en sí misma, confirmó la teoría de la relatividad general. Sea R esta relación de implicación o de explicación entre la teoría y la evidencia conocida, entonces, se da el caso de que $\Pr(T|R \ \& \ K) > \Pr(T|K)$ (y no el caso de que $\Pr(T|E \ \& \ K) > \Pr(T|K)$), por lo que el descubrimiento de esta relación incrementa el grado de confirmación de la teoría. “En consecuencia, la pieza de evidencia relevante no es E , en sí misma, sino el aprendizaje de una relación específica entre la teoría y la evidencia, esto es, que T implica o explica E ” (Sprenger y Hartmann 2019, p. 134). Como analizaremos con mayor detalle más adelante, Sprenger y Hartmann sostienen que una respuesta adecuada a este subproblema debe incorporar la imposición de ciertas restricciones adicionales sobre la regla bayesiana de condicionalización mediante la cual se actualiza el grado de creencia, de manera que permitan justificar que el descubrimiento de alguna de estas relaciones desconocidas entre la evidencia conocida y la teoría de la que se deduce incrementa el grado de creencia en la teoría.

El segundo de estos subproblemas que Garber (1983) distingue en el planteo de Glymour, y al que se refiere como “el problema ahistórico de la vieja evidencia” (Christensen (1999), por su parte, lo denomina “el problema sincrónico de la vieja evidencia”), no se conecta, al menos, no directamente, con la dinámica bayesiana del cambio de creencias, esto es, con la regla bayesiana de condicionalización, sino con la relación bayesiana de apoyo racional entre las proposiciones. En efecto, Christensen (1999, p. 441) sostiene que, “después de todo, el término ‘confirmación’ no es solo el nombre de un tipo de evento, sino que, además, también parece referirse a una cierta relación entre proposiciones. Algunas proposiciones parecen ayudar a que sea racional creer en otras proposiciones”.³³ De manera más específica, el problema, en este caso, consiste en que, según la teoría bayesiana, un grado elevado de creencia en una proposición provoca, indeseablemente, que esa misma proposición sea incapaz de proporcionar un apoyo racional significativo a cualquier otra proposición. Sprenger y Hartmann (2019, p. 133), por su parte, también distinguen este subproblema, al que, en contraposición con el primero, llaman “el aspecto estático del problema de la vieja evidencia”, y sostienen que este problema supone “una noción atemporal de la evidencia”, ya que, en este caso, la problemática consiste en por qué la evidencia ya conocida confirma una teoría en absoluto, esto es, ahora y siempre, y de manera

³³ Como ya hemos señalado, Carnap, Hempel y otros filósofos clásicos, siempre consideraron que la confirmación era una relación lógica entre proposiciones u oraciones.

independiente del descubrimiento de una relación de implicación o de explicación entre la teoría y la evidencia.³⁴

Según Sprenger y Hartmann, este aspecto del problema es estático porque consideran que los cambios en el grado de creencia de un agente individual ya se han producido, esto es, ya se ha aplicado la regla mediante la cual se actualiza el grado de creencia a partir de la adquisición de una nueva proposición (ya sea porque, como ya señalamos, se ha descubierto la evidencia, o bien porque se ha descubierto una relación de implicación o de explicación entre la evidencia conocida y la teoría), por lo que en este subproblema no se advierte una dinámica de cambio en el sistema de creencias de un agente individual. En este caso, el problema consiste en que, aun habiéndose actualizado el grado de creencia a partir de la adquisición de la nueva evidencia conocida, y aun habiéndose incorporado dicha evidencia al conjunto del conocimiento previo, todavía quisiéramos señalar que dicha evidencia conocida es *evidencialmente* relevante para la teoría. En especial, todavía quisiéramos señalar que dicha evidencia confirma la teoría.

Casi en los mismos términos, Garber (1983, pp. 102-103) sostiene que "todavía existe un sentido en el que dicha evidencia continúa siendo buena evidencia, y todavía existe un sentido en el que es apropiado señalar que la vieja evidencia confirma la teoría [de la que se deduce]". De esta manera, el aspecto estático del problema de la vieja evidencia no tiene en cuenta el momento en el que se descubren ni la evidencia ni las relaciones de implicación o de explicación entre la evidencia conocida y la teoría de la que se deduce (por esta razón, Sprenger y Hartmann sostienen que este subproblema supone un concepto atemporal de evidencia), sino que solo tiene en cuenta las relaciones estrictamente epistemológicas entre las proposiciones dentro del marco de la teoría bayesiana de la confirmación. Si analizamos el ejemplo de la precesión del perihelio de la órbita de Mercurio, en este caso, el problema concierne a la evidencia conocida en sí misma, esto es, la pregunta es cómo la teoría bayesiana de la confirmación puede explicar el hecho de que los científicos consideran que la evidencia conocida de la precesión del perihelio de la órbita de Mercurio confirma la teoría de la relatividad general. Por nuestra parte, creemos que las soluciones a este subproblema son una forma bayesiana de interpretar la acomodación genuina de la evidencia conocida, por lo que, en consecuencia, constituyen una estrategia en la defensa de un predictivismo moderado.

Por estas razones, solo nos ocuparemos del problema sincrónico de la vieja evidencia, ya que consideramos que es el que se relaciona directamente con el problema de la predicción *versus*

³⁴ En adelante, nos referiremos al primero de estos subproblemas como "el problema diacrónico de la vieja evidencia" y al segundo de ellos, como "el problema sincrónico de la vieja evidencia".

la acomodación de la evidencia conocida y el que, mediante su solución, nos permitirá ofrecer una interpretación bayesiana de la acomodación genuina de la evidencia conocida. En efecto, el problema diacrónico de la vieja evidencia concierne a la llamada cinemática bayesiana, esto es, a la explicación de cómo los agentes individuales actualizan sus grados de creencia frente a la adquisición de una nueva proposición. En este sentido, consideramos que el problema no se concentra tanto en el conocimiento de la evidencia, sino en la relación de implicación, o de explicación, entre la evidencia conocida y la teoría de la que se deduce, esto es, creemos que el problema no consiste, esencialmente, en explicar cómo la evidencia conocida incrementa el grado de confirmación de una teoría, sino en explicar cómo el descubrimiento de esta relación, o la advertencia de que existe tal relación, entre dicha evidencia y la teoría de la que se deduce afecta el sistema de los grados de creencia de un agente.

Ahora bien, según Sprenger y Hartmann (2019), el subproblema dinámico también evade, en sentido estricto, el problema de la vieja evidencia, debido a que, en última instancia, lo que este subproblema plantea es una relación entre una proposición desconocida, que describe, a su vez, una relación de implicación o de explicación entre la evidencia conocida y la teoría de la que se deduce, y cuyo descubrimiento recién se produce con posterioridad a la formulación de la teoría. Así, el problema no consiste en explicar cómo la evidencia conocida puede incrementar el grado de confirmación de la teoría de la que se deduce, sino en explicar cómo el descubrimiento de una relación desconocida entre la teoría y la evidencia, puede incrementar el grado de creencia en esa teoría. Por consiguiente, si conseguimos explicar que el descubrimiento de esa relación incrementa el grado de creencia en una teoría, entonces, dicha explicación no solo muestra que este subproblema evade el problema de la vieja evidencia, puesto que no involucra ninguna evidencia conocida, sino que, incluso, ofrece una defensa del predictivismo, ya que muestra que la verificación de una proposición desconocida (esto es, el descubrimiento, o la advertencia, de que hay una relación de implicación, o de explicación, entre la evidencia y la teoría) incrementa el grado de confirmación de una teoría.

Con todo, por nuestra parte, creemos que el problema de la vieja evidencia también emerge en el subproblema diacrónico, puesto que, según el bayesianismo, todo agente es lógicamente omnisciente, es decir, es un individuo que conoce todas las verdades lógicas. Por esta razón, todo agente debería conocer la proposición “la teoría T implica esta evidencia conocida E ”, o bien la proposición “la teoría T explica esta evidencia conocida E ”, por lo cual les debería asignar una probabilidad igual a 1 y, en consecuencia, deberían pasar a formar parte de su conocimiento previo. El agente bayesiano no puede esgrimir que recién descubre, o advierte, que existe una

relación de implicación, o de explicación, entre esa evidencia conocida y la teoría, luego de la formulación de la teoría, porque el agente ya conoce esas proposiciones. Así, en sentido estricto, el aspecto diacrónico también plantea, en última instancia, un problema entre una proposición conocida y la teoría. En suma, la teoría bayesiana también debe explicar cómo una proposición conocida (debido a que el agente bayesiano es omnisciente) incrementa el grado de creencia en la teoría, por lo que las consecuencias indeseables del problema de la vieja evidencia todavía se mantienen.

Ahora bien, como ya señalamos, creemos que el problema diacrónico de la vieja evidencia no se relaciona, de manera estricta, con la teoría bayesiana de la confirmación, sino que es una consecuencia directa del modelo bayesiano del aprendizaje lógico. Como señala Christensen (1999, p. 442), “este enfoque trata al problema de la vieja evidencia como un síntoma de una idealización excesiva”. Según nuestra posición, este enfoque supone una condición muy fuerte, la omnisciencia lógica, que es prácticamente irrealizable y normativamente problemática. Por esta razón, la mayoría de las estrategias de solución al subproblema diacrónico apuntaron a este supuesto y sostuvieron que la condición de omnisciencia lógica del agente bayesiano debía flexibilizarse. Ahora bien, si se aceptamos estas modificaciones, el resultado que obtendremos será necesariamente una nueva “formulación *no clásica* del bayesianismo [esto es, heterodoxa], cuyo objetivo es proporcionar una descripción más realista” de las capacidades lógicas de un agente individual, sin abandonar los dos principios básicos del bayesianismo (Eells 1985, p. 288, énfasis del autor). Con todo, no analizaremos las estrategias de solución al problema diacrónico de la vieja evidencia, puesto que se apartan significativamente de nuestros objetivos y, además, no nos ofrecen una clave para la evaluación del problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida.³⁵

4.6 La respuesta contrafáctica al problema sincrónico de la vieja evidencia

Las soluciones más inmediatas al problema sincrónico de la vieja evidencia, hoy consideradas como las soluciones ortodoxas, fueron denominadas “estrategias contrafácticas”, debido a que, en última instancia, suponen una reinterpretación del concepto bayesiano de grado de creencia *actual* de un agente individual en la verdad de una proposición en los términos de un grado de creencia *contrafáctico*. Garber (1983, p. 103), uno de los primeros en sugerir esta estrategia,

³⁵ Para mayores detalles de las estrategias de solución más conocidas al problema diacrónico de la vieja evidencia, véanse Garber (1983), Jeffrey (1983a), Niiniluoto (1983) y Earman (1992).

afirmó que “una respuesta obvia [al problema sincrónico de la vieja evidencia] podría comenzar con la observación de que, si uno *no hubiese* conocido la evidencia, su descubrimiento *habría* incrementado el grado de creencia en [una teoría]” (énfasis del autor). En consecuencia, Garber interpreta el concepto de grados de creencia de una manera contrafáctica, puesto que el apoyo confirmatorio que la evidencia le proporciona a una teoría debe evaluarse como si la evidencia no perteneciera al conjunto del conocimiento previo, esto es, independientemente de que la evidencia, de hecho, ya se conozca. Ahora bien, como ya señalamos, Garber (1983, p. 102) no ofreció ninguna solución específica al problema ni precisó los detalles de esta estrategia, sino que solo se limitó a sugerir sus aspectos fundamentales y a sostener que “sin dudas, hay algunos detalles [en esta estrategia] que deben resolverse”.

La estrategia contrafáctica más elaborada la desarrolló Colin Howson (1984, 1985 y 1991). Howson (1984) rechaza que existan “supuestos bayesianos” que impliquen una manera unívoca de calcular el apoyo confirmatorio de la evidencia conocida y que, en consecuencia, conduzcan al problema sincrónico de la vieja evidencia. En efecto, Howson (1984, p. 246) sostiene que “no hay nada [en la teoría bayesiana] que sugiera que el conocimiento de que E es verdadera implica que la medición del apoyo deba incorporar una función P relativa a cierta información, la cual contiene E ”. Por el contrario, sostiene que, si se analiza en profundidad, el bayesianismo muestra una situación opuesta. Según Howson (1984, p. 246), uno de los aspectos fundamentales de la teoría bayesiana de la confirmación consiste en que “el apoyo que E le proporciona a T se calcula de acuerdo a cuánto un agente individual cambiaría sus probabilidades en T si, *ahora, conociera* E ” (énfasis del autor). Por consiguiente, Howson (1985, p. 307) sostiene que las consecuencias indeseables del problema sincrónico de la vieja evidencia solo “se siguen de una aplicación incorrecta del análisis bayesiano”, puesto que el mismo esquema bayesiano de la confirmación le pone, según Howson, un límite al propio planteo del problema.

Howson sostiene que, según la teoría bayesiana, el grado de confirmación de una teoría, esto es, la diferencia entre la probabilidad posterior y la probabilidad previa de una teoría, debe calcularse por medio del modelo estándar de la diferencia; pero éste, tiene que ser capaz de comparar cuál sería el grado de creencia de un agente individual en una teoría, suponiendo que su estado de conocimiento es $K - \{E\}$, esto es, suponiendo que el valor de la probabilidad de dicha teoría se evalúa con respecto al conjunto de su conocimiento previo *menos* la evidencia; y cuál sería el grado de creencia del mismo agente individual en esa teoría, suponiendo también que su estado de conocimiento es $K - \{E\}$, pero, en este caso, si dicho agente llegara a conocer

la evidencia.³⁶ El punto central de la estrategia contrafáctica de Howson consiste en que, si K es el conjunto de todo el conocimiento previo de un agente, entonces, la teoría bayesiana supone que el valor de las probabilidades previas, esto es, de la probabilidad previa de la teoría, de la *likelihood* y, principalmente, de la esperabilidad, no debe condicionalizarse dado K , sino dado $K - \{E\}$, esto es, dado el conjunto del conocimiento previo de un agente *menos* “todo aquello que en K depende de E ” (Howson 1984, p. 246, nota 1).

En esta dirección, Howson (1985, p. 307) sostiene que el problema de la vieja evidencia surge de una interpretación inadecuada de la teoría bayesiana de la confirmación, la cual afirma que el valor de las probabilidades previas debe condicionalizarse “dado todo el conjunto K (*si es que K debe interpretarse como un conjunto*), incluyendo a E , cuando, [la teoría bayesiana, por el contrario, sostiene que estas probabilidades] deberían condicionalizarse dado $K - \{E\}$ ” (énfasis nuestro). En este punto, conviene señalar que la interpretación de K también está en discusión y que aún no hay un consenso general acerca de su significado. Por ejemplo, Howson (1985) interpreta que K es un conjunto que no está cerrado deductivamente, ya que, si fuera el caso, $K - \{E\}$ no estaría bien definido. La única clausura bajo la noción de consecuencia lógica que presupone Howson está dada por la teoría matemática de probabilidades (esto es, si K implica E , entonces $\Pr(E|K) = 1$). Por nuestra parte, creemos que la razón por la que Howson sostiene que el conocimiento previo no debe interpretarse como un conjunto deductivamente cerrado se debe a que su estrategia de solución al problema sincrónico de la vieja evidencia necesita que la evidencia sea independiente en K , de tal forma que pueda ser excluida, convenientemente, sin afectar al resto de los miembros del conjunto. Por otra parte, consideramos que, a la vista de las consecuencias de la omnisciencia lógica que acarrea, el requisito de que K no debe ser un conjunto deductivamente cerrado es razonable, puesto que si K fuera lógicamente cerrado, y un agente conociera, por ejemplo, los axiomas de la geometría euclídea, entonces, debería conocer todos los infinitos teoremas de la geometría euclídea. Obviamente, ningún agente racional conoce, ni podría hacerlo, todos esos teoremas, por lo que la omnisciencia lógica no puede aceptarse ni siquiera como una idealización o caso límite.

Michael Redhead (1978 y 1986), por su parte, ya había adelantado estas restricciones con respecto al conjunto del conocimiento previo, incluso antes del planteo del problema de la vieja evidencia por parte de Glymour, esto es, ya había sostenido que el valor de todas probabilidades previas debía condicionalizarse dado K' , es decir, dado todo el conjunto del conocimiento previo

³⁶ Howson señala que, si el agente individual, de hecho, ya conoce la evidencia, esta presuposición es contrafáctica y, por esa razón, esta estrategia recibe esta denominación.

con la exclusión de la evidencia conocida en cuestión. Según Redhead (1986, p. 116), K' no debe interpretarse como el conjunto de todo el conocimiento previamente disponible, el cual se considera establecido y fuera de toda duda en el momento en el que se formula la teoría, sino que debe interpretarse, en un sentido más restringido, como un conjunto compuesto por “todos los supuestos auxiliares y todas las condiciones iniciales necesarios para derivar la evidencia conocida a partir de la teoría y de todo el conjunto del conocimiento previo”. Con todo, Howson (1985, p. 307, nota 4) sostiene que esta interpretación de la relación entre la evidencia conocida y el conjunto del conocimiento previo no es una propuesta novedosa de su posición, sino que, por el contrario, siempre “ha estado implícita en el bayesianismo desde su inicio”. Howson considera que no hay nada arbitrario ni *ad hoc* en esta interpretación. En cambio, sostenemos que, de hecho, la condicionalización de las probabilidades previas dado todo el conjunto del conocimiento previo K , incluida la evidencia en cuestión, conduce a un absurdo, puesto que, en este sentido, ninguna evidencia, incluidas las predicciones, podrían confirmar una teoría.

En efecto, esta interpretación, sostiene que el valor de la esperabilidad de una predicción es distinto de 1 (esto es, $\Pr(E|K) \neq 1$, puesto que K no implica E), por lo que la verificación de esta predicción, esto es, su descubrimiento, incrementaría, *ceteris paribus*, el valor de la probabilidad posterior de la teoría y, en consecuencia, la confirmaría. Sin embargo, si la predicción se verifica, en ese mismo momento, se convierte en evidencia conocida y, en consecuencia, el valor de su esperabilidad pasa a ser igual a 1 (esto es, $\Pr(E|K) = 1$, puesto que, en este caso, K implica E), por lo que, en ese mismo momento, dicha predicción ya no incrementa, *ceteris paribus*, el valor de la probabilidad posterior de la teoría y, en consecuencia, ya no la confirma. Por consiguiente, según esta interpretación de la relación entre el conjunto del conocimiento previo y la evidencia en cuestión, ninguna verificación de una proposición, incluida la verificación de las predicciones novedosas, confirmaría una teoría. El análisis bayesiano de la confirmación consiste, justamente, en el cálculo del apoyo empírico que cierta evidencia en particular le proporciona a una teoría en el contexto de un estado del conocimiento científico. Por esta razón, si sostenemos que las probabilidades previas deben condicionalizarse dado todo el conjunto del conocimiento previo K , incluida esa evidencia, entonces este esquema de la confirmación nunca será capaz de dar cuenta de ese apoyo específico.

En definitiva, la solución de Howson al problema sincrónico de la vieja evidencia consiste en reinterpretar la explicación bayesiana ortodoxa de la confirmación que, como ya señalamos, supone una identidad entre la función de confirmación y la función de probabilidad, la que, a su vez, el bayesianismo concibe como el grado de creencia actual de un agente individual en la

verdad de una proposición, y reemplazarla por una concepción contrafáctica. Como señala Sprenger (2015, p. 386), la estrategia de solución de Howson “sugiere *sustraer* la vieja evidencia E del conjunto del conocimiento previo K del agente y evaluar la relación de confirmación con respecto a la función de credibilidad [esto es, la función de los grados de creencia] *contrafáctica* $\Pr_{K/\{E\}}$ ” (énfasis nuestro). En este punto, conviene aclarar a qué nos referimos cuando señalamos que la función de los grados de creencia es contrafáctica, ya que hay diferentes interpretaciones (que, a su vez, dependen de la interpretación de los enunciados contrafácticos) que nos pueden conducir a una concepción inadecuada de la relación entre la evidencia conocida y el conjunto del conocimiento previo.

En efecto, creemos que el concepto de función contrafáctica no debe interpretarse en el sentido de qué hubiese sucedido *realmente* (esto es, qué hubiese sucedido con la probabilidad de la teoría), si el agente individual nunca hubiese conocido la evidencia que, de hecho, conoce. Más bien, creemos que esta estrategia contrafáctica debe interpretarse en el sentido de que “el agente está, *hipotéticamente*, privado de una pieza de evidencia (esto es, de una creencia) que, de hecho, ya posee mientras retiene todas las demás creencias” (Barnes 2008, p. 220, énfasis nuestro). Howson (1984, p. 246), sostiene que su estrategia supone, de forma explícita, “una teoría acerca de las propiedades *disposicionales* de la estructura de creencias de un agente, aunque las condiciones implícitas pueden no realizarse en la práctica”. (énfasis del autor). Ahora bien, desde un punto de vista estrictamente epistemológico, la eliminación de una proposición (por ejemplo, una proposición que describe una evidencia que ya se conoce) de un conjunto de proposiciones (por ejemplo, el conocimiento previamente disponible) produce una modificación de las consecuencias lógicas de ese conjunto y, en consecuencia, puede modificar el valor de la probabilidad de la evidencia conocida dado ese nuevo conjunto del conocimiento previo. Como analizaremos con mayor detalle en la próxima sección, algunas de las objeciones más fuertes a esta estrategia de solución señalan estas dificultades.

Con todo, el punto central de esta estrategia es que, si el conjunto del conocimiento previo excluye la evidencia conocida, de manera que no implica la evidencia conocida, entonces el valor de la probabilidad de dicha evidencia dado ese conjunto del conocimiento previo es diferente de 1 (esto es, $\Pr(E|K - \{E\}) \neq 1$). Por consiguiente, si aplicamos este valor en el teorema de Bayes, entonces el valor de la probabilidad posterior de una teoría puede ser mayor que el valor de su probabilidad previa (esto es, $\Pr(T|E \& K) > \Pr(T|K)$), por lo que, en consecuencia, la evidencia conocida incrementa el grado de confirmación de la teoría. Si esta interpretación es adecuada, el esquema bayesiano de la confirmación evitaría, en principio, el problema sincrónico de la vieja

evidencia y, en consecuencia, no constituiría, en sí mismo, una posición predictivista fuerte. En este sentido, creemos que esta interpretación de la relación entre la evidencia conocida y el conjunto del conocimiento previo permite la defensa de un predictivismo moderado.

4.7 Las críticas a la estrategia contrafáctica

La estrategia de solución al problema sincrónico de la vieja evidencia ofrecida por Howson ha sido ampliamente discutida. En esta sección, evaluaremos las principales críticas y la réplica de Howson. Charles Chihara (1987) y, más recientemente, Jan Sprenger (2015), sostienen que esta estrategia no es adecuada y dirigen sus críticas, como adelantamos en la sección anterior, al procedimiento por el cual se sustrae la evidencia conocida del conjunto total del conocimiento ya disponible. Chihara (1987) considera que el conjunto $K - \{E\}$ respecto del cual, según Howson, se condicionalizan todas las probabilidades previas, contiene, de manera altamente probable, muchas otras proposiciones que implican la evidencia conocida que se quiere sustraer. Según Chihara, si una proposición cualquiera p pertenece al conjunto K , entonces la proposición $(p \& E)$, esto es, la proposición que describe la conjunción entre esta proposición y la evidencia conocida, también pertenece, por razones estrictamente lógicas, a dicho conjunto. Por lo tanto, Chihara (1987, p. 557) sostiene que, si la estrategia de Howson quiere “evitar el absurdo, no será suficiente con eliminar solamente E de K , sino que también deberemos eliminar todas aquellas proposiciones de K que impliquen E ”, entre ellas, por ejemplo, la proposición anterior $(p \& E)$.

Sprenger (2015, p. 386), por su parte, coincide con Howson con respecto a que, en este caso, la función de los grados de creencia debe interpretarse de manera contrafáctica y en el sentido ya señalado, pero sostiene, en acuerdo con Chihara, que “existen un par de *problemas técnicos* con la función de credibilidad que ofrece Howson. En particular, E puede estar *entrelazada* [en un sentido a elucidar] con otras proposiciones que pertenecen a K ” (énfasis nuestro). De esta manera, como señalaremos más adelante, la estrategia de Sprenger consiste en mantener el concepto de función contrafáctica de los grados de creencia de Howson, pero proporcionar otro conjunto del conocimiento previo, respecto del cual se condicionalizarán las probabilidades previas, que sea más adecuado y que evite los problemas de la estrategia de Howson. Por el contrario, Richard Nunan (1993, p. 22) sostiene que “la versión del concepto de $K - \{E\}$ de Howson es, al menos en [su] opinión, una forma intuitivamente sólida de ofrecer una explicación bayesiana de la medida en la que cierta E le otorga apoyo a una T , incluso en el caso en el que E ya se conoce”. Así, Nunan no cuestiona la forma en la que Howson concibe el conjunto del

conocimiento previamente disponible, ni la función contrafáctica de los grados de creencia, sino que critica el uso de este concepto en su estrategia general.

En efecto, Howson emplea este concepto para argumentar que $\Pr(E|K - \{E\}) \ll 1$ (esto es, que el valor de la esperabilidad de la evidencia tiene que ser muy bajo) no es solamente una condición suficiente para que la evidencia confirme la teoría, sino que también, y en este punto es en el que Nunan discrepa, es una condición necesaria. En este sentido, Howson se acerca a la posición predictivista clásica e intenta ofrecer una interpretación de la evidencia conocida en esos términos. Nunan (1993), por el contrario, sostiene que esta condición no es necesaria, sino que solamente es una condición suficiente. Como señalaremos con mayor detalle más adelante, la estrategia que ofrece Howson, si bien responde al problema sincrónico de la vieja evidencia, tiene problemas para distinguir, de una manera suficiente, entre una predicción y la evidencia conocida y, fundamentalmente, también tiene problemas a la hora de justificar que la evidencia conocida confirma significativamente una teoría. Por nuestra parte, creemos que, para explicar de una manera más adecuada por qué la evidencia conocida también es un caso de confirmación de teorías hay que recurrir a otro esquema bayesiano, basado en una formulación del teorema de Bayes equivalente a la usual, mediante el cual se calcula el grado de confirmación de una teoría.

Ahora bien, la pregunta que emerge en esta crítica es si alcanza con eliminar solamente esa proposición del conjunto del conocimiento previo para evitar el problema de la vieja evidencia, esto es, si es suficiente con eliminar solamente la evidencia conocida y todas las proposiciones que la impliquen, o bien si deberíamos eliminar algo más. En este sentido, entonces, Chihara le exige a Howson, en primer lugar, un método que determine, de manera precisa, qué elementos componen el conjunto $K - \{E\}$. Como ya señalamos, la primera aproximación de Howson a esta exigencia consistió en sostener que el conjunto del conocimiento previo, dado el cual se debe condicionalizar la probabilidad de la evidencia conocida debe, a su vez, construirse de tal forma que excluya todo lo que en ese conjunto *depende* de la evidencia conocida. De esta manera, la estrategia de Howson debe proporcionar una elucidación del concepto de dependencia, esto es, debe definir cuál es el tipo de relación de dependencia (ya sea lógica, causal, o de otro tipo) que existe entre la evidencia conocida y el conocimiento previamente disponible.

Chihara (1987, p. 553) sostiene que la relación de dependencia entre la evidencia conocida y el conocimiento previamente disponible no puede ser lógica, ya que este tipo de dependencia, esto es, una dependencia según la cual “la evidencia [conocida] se da como un componente de las proposiciones veritativo-funcionales de dicho [conjunto del conocimiento previo]”, no es una

condición necesaria para obtener el conjunto $K - \{E\}$ que quiere Howson. Según Chihara (1987), aun eliminando todas las proposiciones del conjunto del conocimiento previamente disponible que sean lógicamente dependientes de la evidencia conocida, dicho conjunto todavía puede contener proposiciones que son lógicamente independientes de la evidencia conocida y que, sin embargo, si bien no la implican, la hacen, igualmente, muy probable. Así, el concepto de dependencia soluciona el problema sincrónico de la vieja evidencia en cuanto permite que el valor de la esperabilidad de la evidencia sea distinto de 1 (esto es, $\Pr(E|K - \{E\}) \neq 1$), pero no lo evita completamente, debido a que dicho valor continúa siendo muy cercano a 1 (esto es, $\Pr(E|K - \{E\}) \cong 1$), de manera que, si hay confirmación, solo la hay en una medida insignificante. Por estas razones, la relación de dependencia entre la evidencia y el conocimiento previo tiene que ser más inclusiva que la dependencia lógica. Creemos que este punto es central, debido a que muestra un problema de fondo en el esquema de la confirmación bayesiano basado en la formulación usual del teorema de Bayes y que solo se puede subsanar modificándolo.

Una alternativa es concebir a esta relación de dependencia como una dependencia, en algún sentido, causal. Por ejemplo, si conocemos la evidencia, entonces, aunque la relación entre esa proposición y el resto del conocimiento disponible no sea lógica, esto es, aunque no sea una relación de implicación, debe existir, al menos, una relación en algún sentido causal entre la proposición que describe la evidencia y las proposiciones que describen las observaciones y los experimentos que permitieron el conocimiento de la evidencia, ya que, “si esos experimentos [y esas observaciones] no hubiesen sido realizados, entonces, es probable que [no hubiésemos] estado tan seguros de esa evidencia” (Chihara 1987, p. 554). De esta manera, la alternativa sería eliminar todas las proposiciones del conjunto del conocimiento previamente disponible que sean causalmente dependientes de la evidencia conocida. Sin embargo, Chihara rechaza esta alternativa por, al menos, dos razones interrelacionadas. En primer lugar, Chihara (1987, p. 554) sostiene que, desde un punto de vista práctico, este procedimiento de sustracción es “una tarea extremadamente complicada y difícil”, ya que no existe un método que identifique y discrimine entre las proposiciones del conjunto del conocimiento previo que describen los experimentos y observaciones que posibilitaron el conocimiento de la evidencia en cuestión de las restantes proposiciones que componen dicho conjunto.

En segundo lugar, Chihara (1987, p. 554) sostiene que, “además, no es obvio que, si, incluso, eliminamos todas esas proposiciones [de K que son causalmente dependientes de E], entonces, obtendremos el $K - \{E\}$ que necesita Howson”, ya que los experimentos y las observaciones que causaron el conocimiento de la evidencia también pueden haber afectado de “innumerables, y

prácticamente incalculables, maneras el grado de creencia” que tenemos en muchas otras proposiciones de K que no dependen, en ningún sentido, de E . En consecuencia, la eliminación de algunas de estas proposiciones de K no solo es una tarea casi impracticable, sino que, además, desde un punto de vista teórico, afecta el grado de creencia que tenemos en otras proposiciones que no quisiéramos modificar ni eliminar del conjunto $K - \{E\}$. Chihara pone de relieve la relación o, como señalamos anteriormente, el complejo entrelazamiento que existe entre todas las proposiciones que componen el conjunto total del conocimiento previo y, a su vez, también expone todas las dificultades intrínsecas que supone la construcción de este conjunto.

La respuesta de Howson (1991) a estas críticas es, más bien, una reafirmación o un desarrollo con mayor detalle de su posición previa. En efecto, Howson (1991, p. 549) replica que hay que abandonar la insistencia en la clausura deductiva del conjunto $K - \{E\}$, esto es, en la relación de dependencia lógica entre la evidencia conocida y el resto del conocimiento previo, y “considerar a K como una axiomatización independiente de la información previa [esto es, del conocimiento previo] y a $K - \{E\}$ como una simple operación de sustracción de E de K ”. En este sentido, Howson (1991, p. 549) sostiene que “la representación de la información previa de un [agente individual] nunca es un conjunto cerrado bajo la noción de consecuencia lógica, sino que es, en general, un conjunto de enunciados lógicamente discretos” y que, además, apenas si podemos considerarlo de una manera mínimamente articulada. Howson, a diferencia de Chihara, intenta simplificar la interpretación de este conjunto de proposiciones y de las relaciones que hay entre ellas. Howson (1991) sostiene que, si bien esta concepción del conjunto $K - \{E\}$ es, como todo modelo acerca de la adquisición y de la formación del conocimiento de un agente individual, una idealización, modela de una manera adecuada, tanto desde un punto de vista práctico como teórico, las representaciones de los individuos.

Es indudable que todas las modelizaciones contienen idealizaciones que implican costos y beneficios. En este caso, creemos que, si nos atenemos a la práctica cotidiana de los científicos, podemos asignar una esperabilidad a la evidencia conocida sin referirnos, necesariamente, al conjunto total de todas las proposiciones que describen los experimentos y las observaciones que posibilitaron el conocimiento de esa evidencia. Por estas razones, si bien la eliminación de estas proposiciones supone un costo práctico y teórico en la representación del conocimiento previo, también supone un mayor beneficio con respecto a la interpretación de la relación entre la evidencia conocida y ese conocimiento en la confirmación de teorías, ya que permite una respuesta adecuada al problema sincrónico de la vieja evidencia. Creemos que el mayor costo consiste en que se debe proporcionar, como ya hemos señalado, una regla diferente de la regla

de condicionalización simple, que, además, también permita condicionalizar mediante evidencia cuya esperabilidad sea distinta de 1 (esto es, $\Pr(E|K) \neq 1$), lo que conduce a cuestionar el núcleo duro del bayesianismo.

Sin embargo, como también ya hemos señalado, estas alternativas, esto es, la aplicación de ciertas restricciones al núcleo duro del bayesianismo, se vienen desarrollando desde hace varias décadas, y cada vez con mayor atención, debido a que, para muchos bayesianos, la regla de condicionalización simple no refleja lo que ha ocurrido en la historia de la ciencia, ni describe de manera adecuada la práctica científica. Con todo, sostenemos que la teoría bayesiana también ofrece otro esquema de la confirmación que responde adecuadamente al problema sincrónico de la vieja evidencia, así como a la confirmación de teorías en general, y que, a su vez, también evita la mayoría de las dificultades que acarrea el reemplazo de la regla de condicionalización simple. En la próxima sección, analizaremos este esquema alternativo, que se sustenta en una formulación diferente del teorema de Bayes, pero equivalente a la usual, y evaluaremos su contribución a la defensa de un predictivismo moderado.

4. 8 Las estrategias *ad hoc* y la acomodación genuina de la evidencia

En las dos últimas secciones, señalamos que el bayesianismo ofrece una interpretación de la relación entre la evidencia conocida y el resto del conocimiento disponible que responde, en principio, de manera adecuada al problema sincrónico de la vieja evidencia, por lo que la teoría bayesiana de la confirmación permite la defensa de un predictivismo moderado. Sin embargo, en esas secciones también mostramos que, si bien esta interpretación soluciona de una manera teórica el problema, conduce a una posición en la que la acomodación de la evidencia conocida no incrementa, de una manera significativa, el grado de confirmación de la teoría de la que se deduce, por lo que, según nuestra perspectiva, no ofrece una base sólida para la defensa de un predictivismo moderado. Por estas razones, uno de los objetivos de esta sección es mostrar que una defensa bayesiana más adecuada de un predictivismo moderado tiene que recurrir a otro esquema de la confirmación, diferente del modelo de la diferencia.

En esta sección, mostraremos que el nuevo esquema bayesiano de la confirmación también permite elucidar los conceptos ambiguos de independencia, simplicidad, ajuste de parámetros, anomalía y poder unificador de una teoría que desarrollamos en el capítulo 3 en relación con las teorías deductivistas de la confirmación y con la justificación epistémica de las estrategias *ad hoc*. En el capítulo 3, sostuvimos que las teorías deductivistas de la confirmación proporcionan

criterios para justificar la aceptabilidad epistémica de estas estrategias *ad hoc* que, si bien son intuitivos y plausibles, son ambiguos y que, además, también fallan a la hora de describir adecuadamente su empleo en la práctica científica. En esta sección, también introduciremos otros conceptos, como el de *heterogeneidad* de la evidencia y el de *cantidad de información* de una predicción, los cuales, interpretados en el contexto de este nuevo esquema bayesiano de la confirmación, nos permitirán distinguir de manera más adecuada la acomodación genuina de la evidencia de la meramente espuria. En suma, sostendremos que el bayesianismo no solo proporciona un esquema de la confirmación que permite la defensa de un predictivismo moderado, sino que, además, también ofrece un método más claro para identificar el empleo de las estrategias *ad hoc* en la práctica científica y su aceptabilidad epistémica.

Como señalamos, la teoría bayesiana evalúa la confirmación de una teoría de acuerdo con un modelo de la diferencia entre la probabilidad previa y la probabilidad posterior de la teoría. La forma estándar en la que el bayesianismo calcula esta diferencia es mediante la formulación más usual del teorema de Bayes. Según analizamos, esta formulación del teorema relaciona la probabilidad posterior de una teoría con tres factores que describen las probabilidades previas: la llamada probabilidad previa de la teoría, la *likelihood* de la evidencia y la esperabilidad de la evidencia. Ahora bien, existe una formulación del teorema de Bayes, equivalente a la usual, que resulta más adecuada para comprender el apoyo inductivo y, en consecuencia, para evaluar el problema específico de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia, que relaciona la probabilidad posterior de una teoría con una función que crece con respecto a la probabilidad previa de la teoría y que decrece con respecto al denominado factor de Bayes. De esta manera, en esta formulación del teorema, el elemento más relevante es este factor de Bayes, también denominado cociente de las *likelihoods*, el cual expresa, a su vez, todo el apoyo confirmatorio que la evidencia le proporciona a una teoría.

La particularidad de esta formulación consiste en que la probabilidad posterior de una teoría y, en consecuencia, la confirmación de una teoría, no se relaciona con la probabilidad de la evidencia dado, solamente, el conjunto del conocimiento disponible, sino que se relaciona con la probabilidad de la evidencia dados, por una parte, la teoría y, por otra parte, el conjunto de las teorías alternativas y/o rivales disponibles ($\Pr(E|T \& K)$ y $\Pr(E|\neg T \& K)$, respectivamente). De esta manera, el modelo estándar de la diferencia puede sustituirse por un modelo que mide, exclusivamente, la diferencia entre las *likelihoods* de la evidencia, esto es, por un modelo que mide la diferencia (y, con ello, la relevancia de la evidencia con respecto a una teoría) entre la probabilidad de la evidencia dada una teoría y la probabilidad de la evidencia dadas las otras

teorías disponibles. Por consiguiente, el modelo de la diferencia entre las *likelihoods* (esto es $d_{lik}(T, E) = \Pr(E|T \& K) - \Pr(E|\neg T \& K)$) establece que cierta evidencia confirma una teoría si y solo si $\Pr(E|T \& K) > \Pr(E|\neg T \& K)$.

Ahora bien, las *likelihoods*, a diferencia de otras probabilidades previas como, por ejemplo, la esperabilidad, son independientes entre sí y no deben sumar necesariamente 1, por lo que, “dado el valor de una de ellas, es imposible calcular el valor de la otra” (Earman y Salmon 1992, p. 73, énfasis de los autores). En efecto, como ya hemos señalado, si $\Pr(E|T \& K) = 1$, entonces, $\Pr(\neg E|T \& K) = 0$ (suponiendo, además, que T sea consistente, si no, ambas probabilidades son 1, ya que T implica tanto E como $\neg E$). En cambio, si $\Pr(E|\neg T \& K) = 1$, entonces, $\Pr(E|T \& K)$ puede tomar cualquier valor entre 0 y 1. Incluso 1, ya que dos teorías rivales pueden implicar la misma evidencia (véase Earman y Salmon 1992, pp. 70-74). Por otra parte, conviene señalar que $\neg T$ es difícil de caracterizar. En realidad, $\neg T$ no es una teoría alternativa o rival disponible de T , sino algo en general más indefinido, tal como la afirmación de que otra teoría diferente de T es verdadera. Por esta razón, es muy difícil asignar un valor a $\Pr(E|\neg T \& K)$. Como ya señalamos, para el bayesianismo no existe ninguna restricción, aparte de la coherencia probabilística, a los valores que se les pueda asignar a las probabilidades previas, incluidas las *likelihoods*, de manera que pueden recibir cualquier valor entre 0 y 1. En especial, un agente podría asignarles un valor muy cercano a 0 y otro, muy cercano a 1, y no hay nada que pudiera probar que tales asignaciones son irracionales en ningún sentido.

Usualmente, la evaluación de $\neg T$ se hace introduciendo el concepto de hipótesis *catchall* sugerido por Shimony. Según Shimony (1993), si $\{T_1, \dots, T_2, \dots, T_{k-1}\}$ es una partición del espacio de probabilidades que da cuenta de las teorías rivales, entonces H_k es la hipótesis *catchall*, la cual es equivalente a $(\neg T_1 \& \neg T_2 \& \dots \& \neg T_{k-1})$. La hipótesis *catchall* “expresa que ninguna de las alternativas específicas bajo consideración es verdadera” (Shimony, 1993, pp. 238-239). Así, suponiendo que, en un momento dado, haya de hecho dos teorías rivales T_1 y T_2 , el espacio de probabilidades se parte de la siguiente forma:

$$\Pr(T_1|K) + \Pr(T_2|K) + \Pr(H_k|K) = 1.$$

Donde H_k es la hipótesis *catchall*, que implica $\neg T_1 \& \neg T_2$. Para el bayesianismo subjetivista, cualquier asignación de valores, incluso los extremos 0 y 1, que satisfagan esta igualdad es aceptable. El bayesianismo moderado descartaría esos valores extremos para T_1 y T_2 , ya que se trata de teorías empíricas, pero no tiene manera de constreñir el valor de la probabilidad de la hipótesis *catchall* (esto es, $\Pr(H_k|K)$), la cual podría recibir cualquier valor entre 0 y 1. Shimony

sostiene que el nivel de la hipótesis *catchall* es sustancialmente diferente del de las teorías que de hecho existen, es decir, de las teorías disponibles en un momento determinado. Las teorías disponibles son teorías explícitamente formuladas, mientras que la hipótesis *catchall* equivale a una conjunción de teorías en la que también están incluidas aquellas que todavía no han sido formuladas ni incluso pensadas. Con todo, las *likelihoods* también deberían evaluarse según la partición anterior, por lo que tendríamos:

$$\Pr (E|T_1 \& K), \Pr (E|T_2 \& K) \text{ y } \Pr (E|H_k \& K).$$

Pero, a diferencia de la igualdad anterior, estas *likelihoods* son independientes entre sí y no deben sumar 1. Como ya señalamos, cada una de estas *likelihoods* puede tener cualquier valor entre 0 y 1, de modo que podrían sumar cualquier valor entre 0 y 3, incluidos los extremos. De hecho, existen teorías rivales que implican una misma evidencia *E*, y también son concebibles futuras teorías rivales aún no formuladas ni pensadas que también la impliquen, de manera que las tres *likelihoods* podrían, razonablemente, tener probabilidad 1. Como señalaremos más adelante, la única manera en la que el bayesianismo moderado podría constreñir la asignación de un valor a esas *likelihoods*, en especial, a aquellas referidas a las teorías rivales efectivamente disponibles, es sobre la base de criterios epistémicamente razonables, pero no obligatorios, ya que no hay manera de *imponer* valores intersubjetivos a las *likelihoods*.

Analicemos el caso de la acomodación de la evidencia anómala, esto es, de la acomodación de la evidencia que se conoce, pero que, sin embargo, no puede ser explicada, de una manera simple y unificada, por las teorías disponibles. Como señalamos, la formulación alternativa del teorema de Bayes relaciona la probabilidad posterior de una teoría con una función que crece con respecto a la probabilidad previa de la teoría y que decrece con respecto al cociente de las *likelihoods* (esto es, $\Pr (T|E \& K) = f(\Pr (T | K), \frac{\Pr (E|\neg T \& K)}{\Pr (E|T \& K)})$). Por lo tanto, cuanto menor sea el valor de ese cociente, esto es, del factor de Bayes, mayor será, *ceteris paribus*, el incremento en el valor de la probabilidad posterior de la teoría, por lo que, en consecuencia, mayor será el incremento en el grado de confirmación de confirmación de la teoría. Como podemos advertir en la formulación del teorema, el valor de este cociente será más bajo, cuanto más probable sea la evidencia (por ahora, conocida o no) condicionada a la teoría que condicionada a las otras teorías disponibles.

Ahora bien, si la teoría acomoda satisfactoriamente una evidencia anómala, entonces, por una parte, el valor de la probabilidad de la evidencia anómala dada esa teoría es, en principio,

igual a 1, o bien muy cercano a ese valor (esto es, $\Pr(E|T \& K) = 1$, o bien $\Pr(E|T \& K) \cong 1$, respectivamente); mientras que, por otra, el valor de la probabilidad de la evidencia anómala dadas las teorías rivales y/o alternativas disponibles es muy bajo, ya que, justamente, dichas teorías no pueden explicar, de manera simple y unificada, esa evidencia (esto es, $\Pr(E|\neg T \& K) \ll 1$).³⁷ Como ya señalamos, el bayesianismo subjetivista no supone este tipo de restricciones, sino que es una condición que adopta el bayesianismo moderado para constreñir la asignación puramente subjetivista, sobre la base de criterios epistémicamente razonables. Por lo tanto, si aceptamos estas restricciones, el valor del cociente entre las *likelihoods* es muy bajo (esto es, $\frac{\Pr(E|\neg T \& K)}{\Pr(E|T \& K)} \ll 1$), por lo que, en consecuencia, la acomodación satisfactoria de la evidencia conocida, cuando esta evidencia conocida es anómala, confirma la teoría de la que se deduce. Además, y este punto es relevante, la confirmación no ocurre, solo de una manera formal e insignificante, sino que, por el contrario, según este modelo de la diferencia, la acomodación de la evidencia conocida y anómala es genuina, ya que incrementa de manera significativa el grado de confirmación de la teoría de la que se deduce y, a su vez, muestra que el incremento en ese grado será mayor, cuanto mayor sea la dificultad de las teorías disponibles para explicar dicha evidencia conocida, es decir, cuanto menor sea la probabilidad de la evidencia conocida dadas esas teorías (esto es, $\Pr(E|\neg T \& K) \ll 1$). En efecto, si este es el caso y si, además, $\Pr(E|T \& K) \cong 1$, entonces $\Pr(E|T \& K) \gg \Pr(E|\neg T \& K)$.

Wayne Myrvold (2003), por su parte, sostiene que el esquema bayesiano de la confirmación, junto a la teoría de la información, permite justificar que, si una teoría unifica, y de la forma más simple, distintas evidencias ya conocidas, e inicialmente consideradas independientes, entonces esas evidencias conocidas incrementan la probabilidad posterior de esa teoría con respecto a su probabilidad previa, por lo que, en consecuencia, el poder unificador y la simplicidad de una teoría muestran que la acomodación de la evidencia conocida también confirma la teoría. Según Myrvold (2003, p. 400), “la capacidad de una teoría para unificar fenómenos dispares consiste en su capacidad para conseguir que tales fenómenos que, en un principio, pueden parecer independientes, sean informativamente relevantes entre sí”. Como analizaremos, Myrvold interpreta el concepto de información relevante desde la teoría de la información, sostiene que esta concepción puede, a su vez, incorporarse a la teoría bayesiana de la confirmación y, por último, sostiene que el hecho de que el poder unificador de la teoría confirma la teoría, esto

³⁷ Como observamos anteriormente, lo usual es evaluar a las rivales recurriendo a la hipótesis *catchall*, por lo que tendríamos la *likelihood* de la evidencia con respecto a la teoría en cuestión $\Pr(E|T_1 \& K)$, a una teoría rival $\Pr(E|T_2 \& K)$ y a la hipótesis *catchall* $\Pr(E|H_k \& K)$. En adelante, concebiremos $\Pr(E|\neg T \& K)$ en estos términos para simplificar las expresiones.

es, que la evidencia que ha sido unificada por la teoría incrementa su grado de confirmación, “es una consecuencia del teorema de Bayes” (Myrvold 2003, p. 400).

En primer lugar, entonces, el poder unificador de una teoría puede concebirse como la capacidad de una teoría para mostrar que ciertos fenómenos que, en ausencia de esa teoría, podrían parecer independientes, están relacionados de tal manera que el conocimiento de uno permite obtener conocimientos acerca de los otros. Luego, Myrvold sostiene que los conceptos de evidencia independiente y de información relevante entre dos proposiciones cualesquiera p y q (esto es, cuanta cantidad de información ofrece la verdad de p acerca de si q es verdadera o no) pueden interpretarse en el marco de la teoría bayesiana, respectivamente, como independencia probabilística y como una probabilidad condicional que calcula el grado de relevancia informativa de p con respecto a q dado un conjunto de conocimiento previo (esto es, $\mathbf{Pr}_{\text{inf}}(p, q | K)$). Myrvold (2003, apéndice) sostiene que esta probabilidad puede expresarse, dados ciertos supuestos, como $\mathbf{Pr}_{\text{inf}}(p, q | K) = \text{Log}_2 \frac{\mathbf{Pr}(q|p \& k)}{\mathbf{Pr}(q|k)}$. Ahora bien, si p y q son proposiciones independientes, entonces $\mathbf{Pr}_{\text{inf}}(p, q | K) = 0$, ya que no hay relevancia informativa entre ellas. En este sentido, una teoría T consigue que p y q sean informativamente relevantes si $\mathbf{Pr}_{\text{inf}}(p, q | T \& K) \neq 0$, por lo que podemos tomar a este factor como la medida en la que una teoría logra que dos proposiciones tengan relevancia informativa. De esta manera, si $\mathbf{Pr}_{\text{inf}}(p, q | T \& K) \neq 0$, entonces la diferencia entre $\mathbf{Pr}_{\text{inf}}(p, q | T \& K)$ y $\mathbf{Pr}_{\text{inf}}(p, q | K)$ mide el grado en el que T logra que p proporcione información acerca de q . Por esta razón, podemos denominar al valor de esta diferencia “unicidad”, ya que expresa “el grado en el que una teoría unifica un conjunto de fenómenos $\{p, q\}$ ” y podemos formularlo como $\mathbf{Pr}_u(p, q; T | K) = \mathbf{Pr}_{\text{inf}}(p, q | T \& K) - \mathbf{Pr}_{\text{inf}}(p, q | K)$ (Myrvold 2003, p. 410).

Por último, Myrvold debe mostrar cómo el poder unificador de una teoría incrementa su grado de confirmación. Si recordamos, Myrvold sostiene que este hecho es una consecuencia misma de la aplicación del teorema de Bayes. En este punto, afirma que existen, como hemos señalado, diferentes modelos bayesianos que miden el grado de confirmación de una teoría, pero que todos ellos apoyan, igualmente, su posición. Por estas razones, en esta sección, evaluaremos su posición con respecto al modelo que hemos adoptado, esto es, el modelo de la diferencia entre las *likelihoods*. Myrvold (2003, p. 412 y 1996) sostiene que la confirmación de una teoría con respecto a dos evidencias y a un conocimiento previo puede expresarse, según el modelo de las *likelihoods*, como sigue: $\mathbf{Cf}(T, E_1, E_2 | K) = \mathbf{Cf}(T, E_1 | K) + \mathbf{Cf}(T, E_2 | K) + \mathbf{Pr}_u(E_1, E_2; T | K) - \mathbf{Pr}_u(E_1, E_2; \neg T | K)$, esto es, puede expresarse mediante cuatro factores: el grado de apoyo que E_1 le proporciona a la teoría, el grado de apoyo que E_2 le proporciona a la teoría (ambos de

manera individual), y otros dos factores que dan cuenta del grado en el que la teoría unifica las dos evidencias.

La diferencia central entre este modelo de las *likelihoods* y el modelo usual consiste en que el primero expresa la diferencia entre el grado en el que la teoría unifica la evidencia y el grado en el que las otras teorías disponibles unifican dicha evidencia. De esta manera, si las teorías disponibles tienen dificultades para unificar la evidencia, entonces, el poder unificador de la teoría en cuestión incrementa en mayor medida su grado de confirmación y, además, cuanto mayor sea esa dificultad, mayor será, a su vez, ese incremento en el grado de confirmación. En suma, lo que el modelo anterior expresa es que, si existen dos evidencias conocidas que, en principio, parecen independientes entre sí, y si incluso dichas evidencias, tomadas de manera individual, confirman, en igual medida, la teoría en cuestión y las otras teorías disponibles, entonces, si la teoría las unifica, esto es, si logra que sean informativamente relevantes entre sí; mientras que las otras teorías disponibles no lo consiguen, entonces, la evidencia acomodada incrementa en mayor medida la probabilidad de la teoría en cuestión que la probabilidad de las otras teorías disponibles, por lo que, según este modelo de la diferencia entre las *likelihoods*, confirma la teoría que las unifica.

Otro concepto útil para la evaluación del papel de la acomodación genuina de la evidencia conocida y de la verificación de las predicciones novedosas en la confirmación de una teoría es el de la *heterogeneidad* de la evidencia que se deduce de la teoría con respecto al conjunto total de la evidencia conocida disponible. La idea detrás de este concepto es representar cuán disímil, o bien cuán similar, es el contenido de la evidencia en cuestión con respecto a las consecuencias observacionales verificadas y, en consecuencia, ya conocidas en el momento de la formulación de la teoría. En el esquema bayesiano que presentamos en esta sección, este concepto puede interpretarse como sigue. Si E es la evidencia bajo la cual calcularemos la probabilidad posterior de una teoría T , y, en consecuencia, su grado de confirmación, y E' es otra evidencia, o un conjunto de evidencias, la teoría bayesiana de la confirmación sostiene que, si E y E' poseen un contenido similar, entonces $\Pr(E|E') \cong 1$. Ahora bien, si E' no solo ya se conoce, sino que, además, las otras teorías disponibles la explican satisfactoriamente, entonces, el valor de su probabilidad dado ese conjunto es igual a 1 (esto es, $\Pr(E'|\neg T \& K) = 1$), por lo que el valor de la probabilidad de la evidencia que posea un contenido similar, dado ese mismo conjunto, será, en consecuencia, aproximadamente igual a 1 (esto es, $\Pr(E|\neg T \& K) \cong 1$). Así, según este nuevo modelo bayesiano de la confirmación, $\Pr(E|T \& K) \cong \Pr(E|\neg T \& K)$, por lo que dicha evidencia no confirma significativamente la teoría.

Por estas razones, si el contenido de la evidencia en cuestión difiere del contenido de la evidencia que ya se conoce y que ha sido explicada, de manera simple y unificada, por las otras teorías disponibles, entonces, la evidencia confirma la teoría y, a su vez, incrementará en mayor medida su grado de confirmación, cuanto más heterogéneo sea el contenido de dicha evidencia. En suma, la acomodación genuina de la evidencia conocida confirma de manera significativa una teoría si esa evidencia, pese a que ya se conoce, tiene un contenido diferente del de la evidencia, o conjunto de evidencias, que ya se conoce y que ya ha sido explicada por las teorías alternativas y/o rivales disponibles. Con todo, el concepto de heterogeneidad de la evidencia apoya la tesis de un predictivismo moderado, puesto a que apoya la afirmación de que la verificación de las predicciones novedosas incrementa en mayor medida que la acomodación de la evidencia conocida el grado de confirmación de una teoría. En efecto, si la evidencia respecto de la cual se calcula la probabilidad posterior de una teoría es una predicción, su contenido es, en general, más heterogéneo en el sentido propuesto, con respecto al conocimiento previo ya disponible, que el contenido de la evidencia conocida, ya que, en general, y como ya hemos señalado, si la evidencia E es una predicción y E' pertenece al conjunto del conocimiento previo no solo no ocurre que $\Pr(E|E') \cong 1$, sino que, en cambio, sería razonable adjudicar un valor que cumpla la condición $\Pr(E|E') \ll 1$. Sin embargo, como ya hemos señalado, para el bayesiano no hay un valor único y objetivo que deban tener las *likelihoods*, o cualquier probabilidad previa. En suma, este requisito supone una moderación del bayesianismo subjetivista sobre la base de razones epistémicas.

Otro concepto útil para la evaluación del problema de la predicción *versus* la acomodación genuina de la evidencia conocida, según este nuevo esquema bayesiano de la confirmación, es el concepto de *cantidad y precisión de la información* que proporciona la evidencia, en este caso, con respecto a las teorías disponibles. Por nuestra parte, pensamos que este concepto permite defender un predictivismo moderado, debido a que, por una parte, muestra que la acomodación genuina de la evidencia conocida confirma, de una manera significativa, la teoría; pero, por otra, también muestra que el éxito de las predicciones de una teoría incrementa, en mayor medida que la acomodación, el grado de confirmación de esa teoría. En efecto, cuanto más informativo y más preciso sea el contenido de una evidencia, menor será el valor de la probabilidad de esa evidencia dado el conjunto de las otras teorías disponibles. Si recordamos el ejemplo citado en la sección 2 de este capítulo, el valor de la *likelihood* de una predicción como “existe un planeta hasta ahora desconocido en una región específica r de nuestro Sistema Solar” dado, en este caso, el conjunto de las teorías disponibles es mayor que el valor de la *likelihood* de la predicción “existe un planeta de masa m y órbita o hasta ahora desconocido en una región específica r de

nuestro Sistema Solar” dado ese mismo conjunto. Por esta razón, si llamamos E_1 a la primera predicción y E_2 a la segunda, el esquema bayesiano de la confirmación afirma que E_2 incrementa en mayor medida el valor de la probabilidad posterior de la teoría con respecto al valor de su probabilidad previa (y, por lo tanto, su grado de confirmación), ya que, por una parte, $\Pr (E_2 | T \& K) < \Pr (E_1 | T \& K)$; y, por otra, $\Pr (E_2 | \neg T \& K) < \Pr (E_1 | \neg T \& K)$, por lo que $\frac{\Pr (E_2 | \neg T \& K)}{\Pr (E_2 | T \& K)} < \frac{\Pr (E_1 | \neg T \& K)}{\Pr (E_1 | T \& K)}$. Por lo tanto, según este esquema, si las evidencias se verifican, entonces, $\Pr (T | E_2 \& K) > \Pr (T | E_1 \& K)$.

Ahora bien, en el caso de la evidencia conocida, su acomodación satisfactoria, cuando dicha evidencia tiene un contenido más informativo y preciso, dado el conjunto de las otras teorías disponibles, también incrementa el valor de la probabilidad posterior de la teoría con respecto al valor de su probabilidad previa (y, con ello, su grado de confirmación), puesto que, cuanto más preciso y más informativo sea el contenido de esa evidencia, mayor será la dificultad de las otras teorías disponibles para explicarla de una manera simple y unificada. En efecto, si E_1 es una evidencia ya conocida, por ejemplo, “el perihelio de la órbita de Mercurio precede en un valor diferente al calculado por la mecánica de Newton” y E_2 es otra evidencia también conocida, pero con un contenido más informativo y más preciso que el de E_1 , por ejemplo, “la precesión del perihelio de Mercurio es 43 segundos de arco por siglo mayor que la calculada por la mecánica de Newton”, entonces, por una parte, en principio, $\Pr (E_2 | T \& K) = \Pr (E_1 | T \& K) = 1$; y, por otra, $\Pr (E_2 | \neg T \& K) < \Pr (E_1 | \neg T \& K)$, por lo que $\frac{\Pr (E_2 | \neg T \& K)}{\Pr (E_2 | T \& K)} < \frac{\Pr (E_1 | \neg T \& K)}{\Pr (E_1 | T \& K)}$. Por lo tanto, según este esquema, si ambas evidencias conocidas son acomodadas satisfactoriamente, entonces, $\Pr (T | E_2 \& K) > \Pr (T | E_1 \& K)$. Con todo, la verificación de una predicción novedosa incrementa en mayor medida la probabilidad posterior de una teoría con respecto a su probabilidad previa (y, por lo tanto, su grado de confirmación) que la acomodación genuina de la evidencia conocida, ya que, con respecto al contenido de una predicción y de una evidencia conocida, el valor del cociente entre las *likelihoods*, cuando la evidencia es una predicción, es menor que cuando la evidencia ya se conoce (esto es, si E_1 es una evidencia conocida y E_2 es una predicción, entonces, por una parte, $\Pr (E_2 | T \& K) \leq \Pr (E_1 | T \& K)$; y, por otra, $\Pr (E_2 | \neg T \& K) < \Pr (E_1 | \neg T \& K)$, por lo que $\frac{\Pr (E_2 | \neg T \& K)}{\Pr (E_2 | T \& K)} < \frac{\Pr (E_1 | \neg T \& K)}{\Pr (E_1 | T \& K)}$. Por lo tanto, según este esquema, si E_2 es una predicción verificada y E_1 es una evidencia conocida, entonces, $\Pr (T | E_2 \& K) > \Pr (T | E_1 \& K)$.

En conclusión, hemos argumentado que el esquema bayesiano de la confirmación que se sustenta en el factor de Bayes, esto es, en el cociente entre las *likelihoods*, permite la defensa de un predictivismo moderado. En efecto, mostramos que, según ese esquema, si la evidencia conocida es anómala, si la teoría la unifica de una manera más simple que las otras teorías disponibles, si tiene un contenido heterogéneo, si tiene un contenido más informativo, entonces su acomodación incrementa el valor de la probabilidad posterior de aquella teoría con respecto al valor de su probabilidad previa, por lo que, en consecuencia, confirma esa teoría. Sin embargo, también mostramos que, según el mismo esquema, la verificación de las predicciones novedosas de una teoría incrementa en mayor medida el valor de la probabilidad posterior de la teoría con respecto a su probabilidad previa que la acomodación genuina de la evidencia conocida, por lo que, en consecuencia, la verificación de las predicciones novedosas de una teoría confirma en mayor medida la teoría que la acomodación satisfactoria de la evidencia conocida. Por último, conviene señalar que el bayesianismo, salvo el objetivista, no tiene ninguna forma de imponer un valor intersubjetivo a las probabilidades previas, entre ellas, a las *likelihoods*, que pueda justificarse exclusivamente en el contexto de la teoría de la probabilidad. La teoría bayesiana de la confirmación que presentamos resuelve los problemas planteados a condición de que se satisfagan ciertas desigualdades entre las *likelihoods* de la evidencia, desigualdades que son epistémicamente razonables, pero que no son obligatorias. En suma, la solución bayesiana al problema de la acomodación de la evidencia conocida no debe considerarse absoluta, sino *condicional*.

CAPÍTULO 5

La justificación del predictivismo: la inferencia a la mejor explicación

5. 1 La reconstrucción de la inferencia a la mejor explicación

Si bien el predictivismo, en principio, parece concordar con algunas de nuestras intuiciones acerca de la práctica científica y de la confirmación de las teorías, su justificación epistémica, tanto en el marco de las teorías deductivistas, como en el de la teoría bayesiana de la confirmación, se ha enfrentado, como hemos señalado en capítulos previos, con dificultades significativas. Por esta razón, muchos filósofos recurrieron a otras estrategias argumentativas. En este sentido, uno de los argumentos más intuitivos a favor del predictivismo se sustenta en una *inferencia a la mejor explicación* que, si bien no lo prueba concluyentemente, ya que no es un argumento deductivamente válido, ofrece una buena razón para creer en él. En general, la defensa que emplea una inferencia a la mejor explicación sostiene que "una teoría merece más crédito inductivo cuando la evidencia se predice que cuando se acomoda, con el argumento de que solo en el caso predictivo la corrección (*correctness*) de la teoría, esto es, su verosimilitud, es la mejor explicación de la adecuación entre la teoría y la evidencia" (Lipton 2004, p. 164).

En esta sección, reconstruiremos la defensa del predictivismo basada en la inferencia a la mejor explicación, señalaremos las principales diferencias entre este tipo de inferencias no deductivas y las inferencias deductivas, analizaremos la estructura del argumento, esto es, el *explanans* y el *explanandum* de la explicación y, por último, los supuestos explícitos e implícitos de esta estrategia a favor del predictivismo. Ante todo, la inferencia a la mejor explicación no es un argumento deductivo, de manera que no debemos evaluar su validez, sino su estructura, su corrección y su grado de fuerza inductiva. El punto central en la evaluación acerca de la ventaja epistémica de la explicación que ofrece el predictivismo por sobre la explicación que ofrece la acomodación de la evidencia conocida residirá en comparar el *explanandum* (aquello que se quiere explicar) y el *explanans* (aquello que explica lo que se quiere explicar) de cada una de estas explicaciones y analizar la corrección y la fuerza inductiva de cada argumento. Por otra parte, cabe señalar que, si bien pareciera que los problemas en la justificación del predictivismo conducen a una sospecha acerca de su pretendida ventaja epistémica, la justificación de una posición antipredictivista presenta las mismas dificultades normativas que la justificación de la posición predictivista, por lo que, en consecuencia, resulta igualmente difícil de sostener.

Según este argumento, habría, en principio, solo dos hipótesis rivales que serían capaces de explicar por qué la evidencia se infiere de la teoría: (1) *la hipótesis de la verdad*, esto es, la hipótesis de que la teoría es verdadera (o *aproximadamente verdadera*) y (2) *la hipótesis de la construcción*, esto es, la hipótesis de que la teoría fue construida (o puede, en principio, ser construida) específicamente para inferir la evidencia conocida.³⁸ Ahora bien, el argumento a favor del predictivismo sostiene que, si analizamos los dos casos relevantes, esto es, el caso de las predicciones exitosas y el caso de la acomodación satisfactoria de la evidencia conocida, el primero de ellos es la mejor explicación de la adecuación empírica de la teoría. En el caso del éxito de las predicciones novedosas, la única opción explicativa de esta adecuación empírica es (1) la hipótesis de que la teoría es aproximadamente verdadera, ya que, si la evidencia inferida exitosamente es una predicción, entonces, la evidencia no se conoce con anterioridad a la formulación de la teoría por lo que, en consecuencia, la teoría no puede (2) construirse específicamente para inferir la evidencia.

El punto fundamental en el caso del éxito de las predicciones novedosas es el supuesto de que el hecho de que una teoría realice predicciones novedosas exitosas constituye *una buena razón* para creer que esa teoría es aproximadamente verdadera. En efecto, los defensores del predictivismo sostienen que, si la teoría no fuese aproximadamente verdadera, entonces, sería altamente improbable que la teoría pudiese realizar predicciones novedosas exitosas de manera sistemática. Por esa razón, según el predictivismo, si la teoría tiene un éxito sistemático en sus predicciones novedosas, y no admitimos que es aproximadamente verdadera, deberíamos estar dispuestos a sostener que el éxito predictivo de una teoría es una mera coincidencia. En este sentido, Roger White (2003, p. 659), por ejemplo, considera que "el hecho de que la verdad de *T* puede explicar su éxito predictivo, lo que de otro modo sería una coincidencia sorprendente, es evidencia significativa [o una buena razón] para *T*". En efecto, si bien un conjunto de proposiciones falsas implica tanto proposiciones verdaderas como falsas, lo esperable sería que, a partir de una teoría falsa, dedujéramos unas y otras con una frecuencia más o menos

³⁸ Este tipo de argumento, usualmente llamado "argumento abductivo" o también "argumento del no milagro", es bastante antiguo y fue defendido por Smart, Putnam, Musgrave y Boyd, entre otros. Como señalaremos en el próximo capítulo, se lo considera el argumento más importante a favor del realismo respecto de las teorías, esto es, de la tesis de que las teorías predictivamente exitosas son verosímiles. En este capítulo, evaluaremos este tipo de argumentos a favor del predictivismo (seguimos, en general, la reconstrucción de Lipton 2004, Cap. 10 y White 2003).

Emplearemos el término "inferencia" en sentido general para abarcar a los argumentos deductivos y a los no deductivos, esto es, aquellos en los cuales la evidencia se deduce de la teoría y aquellos en los cuales la evidencia se infiere, por ejemplo, probabilísticamente de la teoría.

semejante; en cambio, sería una coincidencia altamente improbable que no dedujéramos ninguna proposición falsa.

Por el contrario, en el caso de la acomodación satisfactoria de la evidencia conocida, hay una opción explicativa que es suficiente para explicar la adecuación de una teoría con la evidencia que se infiere de ella. En efecto, (2) la hipótesis de la construcción, esto es, la hipótesis de que la teoría fue construida de manera específica para inferir dicha evidencia es suficiente, independientemente de la verdad (aproximada) de la teoría, para explicar por qué se infiere de la teoría. La evidencia se infiere de la teoría, simplemente, porque la teoría ha sido construida, en principio, con ese objetivo, por lo que, en consecuencia, “no necesitamos invocar la verdad de T [ni ninguna otra razón] para explicar [por qué E se infiere de T]” (White 2003, p. 659). El punto fundamental en el caso de las acomodaciones satisfactorias, según los defensores del predictivismo, es que este caso no proporciona una razón adicional, e independiente, para explicar por qué la evidencia se infiere de la teoría, puesto que la hipótesis de la construcción es, desde un principio, trivialmente correcta a la hora de explicar este hecho.

A partir del argumento antes formulado, el predictivismo concluye que la verificación de las predicciones novedosas de la teoría tiene una ventaja epistémica por sobre la acomodación satisfactoria de la evidencia conocida porque el caso del éxito de las predicciones novedosas ofrece una mejor explicación del hecho de que la evidencia se infiere de la teoría que el caso de la acomodación satisfactoria de la evidencia conocida. En definitiva, para los defensores del predictivismo, la conexión explicativa entre el éxito sistemático de las predicciones novedosas de una teoría y su verosimilitud, esto es, que el éxito predictivo de una teoría es una buena razón para creer que dicha teoría es verosímil, le proporciona mayor peso inductivo al argumento predictivista, es decir, al argumento según el cual la verificación de las predicciones novedosas de una teoría explica de manera más satisfactoria que la acomodación de la evidencia conocida por qué una teoría implica cierta evidencia.

En suma, ambos hechos, el éxito de las predicciones novedosas de una teoría y la acomodación satisfactoria de la evidencia conocida, confirman dicha teoría, puesto que, en principio, explican por qué la evidencia se infiere de la teoría. Sin embargo, la verificación de las predicciones novedosas de una teoría tiene una ventaja epistémica por sobre la acomodación de la evidencia conocida porque proporciona una mejor explicación, ya que ofrece una razón adicional, e independiente, de por qué la evidencia en cuestión se infiere de la teoría. La opción explicativa en el caso de la acomodación de la evidencia conocida, esto es, la hipótesis de la construcción, siempre corre el riesgo de ser una explicación meramente *ad hoc*, por lo que, en

consecuencia, como ya hemos señalado en el capítulo 3, siempre estará en desventaja frente a otro tipo de explicaciones independientes.

5. 2 Las críticas de Robin Collins a la inferencia a la mejor explicación

Pese a su fuerza intuitiva, este argumento a favor del predictivismo ha sido fuertemente cuestionado. Las primeras críticas se enfocaron en señalar las deficiencias de la inferencia a la mejor explicación como especie de argumento en general. Como ya señalamos, la inferencia a la mejor no es un argumento deductivamente válido, de manera que, en consecuencia, no ofrece una prueba concluyente de ésta, ni de ninguna, posición, sino que, simplemente, ofrece razones para creer en una posición, en este caso, en el predictivismo. En un sentido amplio del término, es un argumento inductivo, es decir, un argumento en el que la verdad de las premisas no garantiza la verdad de la conclusión, pero, no obstante, le confiere algún tipo de apoyo. Los argumentos no deductivos no se evalúan según su validez, sino que se analizan según su corrección y se evalúan de acuerdo con su fuerza inductiva, esto es, según el grado de apoyo que las premisas le proporcionan a la conclusión. Si, por ejemplo, concebimos a la explicación a la manera de un argumento, entonces su estructura consiste en un *explanans*, esto es, las premisas o los supuestos de la explicación, y en un *explanandum*, esto es, la conclusión de la explicación. De una manera análoga a un argumento deductivo, si la estructura de la explicación es correcta, esto es, si las premisas le otorgan un cierto grado de apoyo inductivo a la conclusión, entonces, las críticas a esta inferencia tienen que recaer sobre las premisas de la explicación.

En la sección previa, señalamos que el *explanandum* de la explicación, en ambos casos, esto es, en el caso predictivista y en el caso de la acomodación de la evidencia conocida, es el mismo: “por qué la evidencia se infiere de la teoría”. A su vez, las premisas fundamentales del *explanans* de la explicación que se ofrece en el caso predictivista son: (P_1) “la teoría que infiere la evidencia en cuestión es aproximadamente verdadera” y (P_2) “el éxito predictivo de una teoría es una buena razón para creer que la teoría es aproximadamente verdadera”; mientras que la premisa central de la explicación en el caso de la acomodación de la evidencia conocida es (P) “la teoría fue construida específicamente para inferir dicha evidencia”.³⁹ Los críticos del argumento,

³⁹ Como evaluaremos más adelante y, en especial, en el próximo capítulo, este tipo de argumentos abductivos o “del no milagro” emplean una premisa adicional implícita (P_1): “no hay otra explicación razonable del éxito predictivo”. Sin esa cláusula, la idea de “la mejor explicación” no tiene fuerza, ya que podría haber otras explicaciones mejores, o igualmente buenas, que expliquen ese hecho, aparte de las disponibles en un momento dado.

entonces, tienen como opciones posibles rechazar (P1), rechazar (P2), o bien rechazar ambas premisas. Collins (1994), por ejemplo, rechaza que la verdad (aproximada) de la teoría sea una buena explicación de por qué la teoría predice la evidencia. En efecto, la teoría T predice la evidencia E si y solo si (1) " T implica E " y (2) " T no está construida específicamente para implicar E ".

Ahora bien, (1) " T implica E " es una relación lógica, por lo que es un hecho necesariamente verdadero, de manera que, en consecuencia, seguiría siendo verdadero independientemente de que T sea aproximadamente verdadera. Por ejemplo, la teoría de la relatividad general implica que la luz se *curva* alrededor del Sol, de manera que esta relación de implicación seguiría siendo válida aun si se descubriera que el espacio-tiempo no es curvo, esto es, si se descubriera que la teoría no es (aproximadamente) verdadera. Por esta razón, la hipótesis de la verdad de T , esto es, la opción explicativa que ofrece el caso predictivista, no explica (1). Además, la hipótesis de la verdad de T tampoco explica (2), es decir, tampoco explica por qué T no fue construida para implicar E . En efecto, que una teoría sea aproximadamente verdadera no explica el hecho de que un científico construya, o no, su teoría con el objetivo de implicar determinada evidencia: las razones por las que los científicos construyen las teorías son independientes de la verdad de tales teorías. De esta manera, puesto que la hipótesis de la verdad de la teoría no puede explicar satisfactoriamente ni (1) ni (2), no constituye una buena explicación de por qué la teoría predice la evidencia, por lo que la inferencia que defiende el predictivismo no ofrece una mejor explicación de por qué la evidencia se infiere de la teoría que la inferencia que defiende el antipredictivismo.

Según Collins (1994, p. 220), "lo único que la verdad de T podría explicar es el hecho de que T predice *correctamente* (*correctly*) E ", puesto que T predice *correctamente* E si " T predice E " y " E es verdadera" (énfasis del autor). De esta manera, si queremos retener el *explanans* de la explicación en el caso predictivista, debemos clarificar sutilmente el supuesto fundamental de la explicación: la observación de una entidad, evento o fenómeno, descriptos por E , es una buena razón para creer en la verdad (aproximada) de una teoría. Sin embargo, Collins (1994) también cuestiona que aquel *explanans* pueda explicar este nuevo supuesto. En efecto, como señalamos anteriormente, T predice correctamente E si T predice E , esto es, (1) y (2), y si, además, (3) " E es verdadera". Ahora bien, puesto que, como ya señalamos, la hipótesis de que T es verdadera no puede explicar ni (1) ni (2), esta hipótesis solo podría explicar por qué T predice correctamente E si puede explicar (3) por qué E es verdadera. Favorablemente, la hipótesis de la verdad de T puede explicar (3), ya que, si T implica E y si, por hipótesis, T es

(aproximadamente) verdadera, entonces, (3) *E* es (aproximadamente) verdadera. Por lo tanto, si la hipótesis de la verdad de *T* es la mejor explicación de por qué *T* predice correctamente *E*, lo es, solamente, porque es la mejor explicación de por qué *E* es verdadera.

El punto fundamental de la crítica de Collins reside en que, si la hipótesis de que *T* es (aproximadamente) verdadera es la mejor explicación de por qué *E* es verdadera, entonces, esta hipótesis será la mejor explicación de este hecho independientemente del hecho de que *T* prediga *E* o bien acomode *E*. En efecto, *T* acomoda correctamente *E* si y solo si (1) "*T* implica *E*", (2*) "*T* está construida específicamente para implicar *E*" y (3) "*E* es verdadera". Como podemos advertir, al igual que en el caso anterior, esto es, al igual que en el caso de la explicación de las predicciones de *T*, la hipótesis de la verdad de *T* no puede explicar ni (1) ni (2*), pero puede explicar (3). En consecuencia, si la hipótesis de la verdad de *T* puede explicar por qué *T* predice correctamente *E*, porque puede explicar por qué *E* es verdadera, entonces, pareciera que esa misma hipótesis también puede explicar, y por las mismas razones, por qué *T* acomoda *E*.⁴⁰ Por ejemplo, si la teoría de la relatividad general y, en particular, el postulado acerca de la curvatura del espacio-tiempo (en este ejemplo, la teoría), es la mejor explicación de por qué la luz *se desvía* al pasar cerca del Sol (en este ejemplo, la evidencia), será la mejor explicación de este fenómeno independientemente de (2) y de (2*), esto es, independientemente de que la teoría de la relatividad general haya sido construida específicamente para implicar esa evidencia, puesto que "decir que tal curvatura [del espacio-tiempo] es la mejor explicación de la desviación de la luz es, simplemente, decir que ningún otro postulado teórico explica mejor esa desviación [esto es, la ocurrencia de un fenómeno], y que este sea el caso [esto es, que la teoría explique por qué la evidencia es verdadera] no depende, ciertamente, de cómo se construyó la teoría de la relatividad general" (Collins 1994, p. 221).

Collins (1994, p. 221) concluye que, si la hipótesis de "la verdad de *T* es la mejor explicación de por qué *T* predice correctamente *E*, también será la mejor explicación de por qué *T* acomoda *E*, ya que, en ambos casos, lo que se está explicando es por qué *E* es verdadera". En este sentido, la hipótesis de la verdad de *T* no explicaría por qué la evidencia se infiere de una teoría y, en consecuencia, no sería suficiente para sostener que la explicación predictivista es una mejor explicación que la que proporciona la acomodación de la evidencia conocida. En conclusión, creemos que la defensa del predictivismo sustentada en esta inferencia a la mejor explicación falla porque (1) no explica lo que pretende explicar (esto es, no explica por qué *E* se infiere de *T*, sino por qué *E* es verdadera) y porque (2) sus supuestos (la hipótesis de la verdad de *T* y la

⁴⁰ Véase White 2003, p. 660, quién sigue, en sus aspectos centrales, la argumentación de Collins.

conexión epistemológica no casual entre la verdad (aproximada) de T y el éxito sistemático de sus predicciones novedosas) no ofrecen una mejor explicación de por qué la evidencia se infiere de la teoría que los supuestos que se ofrecen en el caso de la acomodación de la evidencia conocida, por lo que, en consecuencia, esos supuestos tampoco son suficientes para apoyar la atribución de un valor epistémico especial a la verificación de las predicciones novedosas.

5.3 La reconstrucción de la inferencia a la mejor explicación de Eric Barnes

Barnes (2002 y 2008), por su parte, también sostiene que la defensa del predictivismo sustentada en la inferencia a la mejor explicación debe ser rechazada. En esta sección, analizaremos su reconstrucción de la inferencia a la mejor explicación que defienden los filósofos predictivistas y evaluaremos sus objeciones. Como señalaremos más adelante, Barnes (2002) sostiene que las hipótesis que supuestamente explican, según el argumento que ofrecen los predictivistas, por qué la teoría implica la evidencia (esto es, la hipótesis de que la teoría es aproximadamente verdadera o verosímil y la hipótesis de que la teoría fue construida específicamente para implicar la evidencia) no son rivales, ya que cada una de ellas intenta responder a una pregunta diferente. Para Barnes, esta confusión surge de una aplicación falaz del llamado “principio de antisuperfluidad”.

Barnes (2002, pp. 420-421) reconstruye el argumento a favor del predictivismo de la siguiente manera:

Sea F el hecho de que una teoría T implica un enunciado observacional verdadero E :

- 1) F necesita una explicación.
- 2) Hay solo dos explicaciones posibles de F que son razonables: (a) “ T fue construida específicamente para *ajustar* E ” y (b) “ T es verdadera”. En efecto, uno de los supuestos fundamentales de los predictivistas es que si ni (a) ni (b) son verdaderas, entonces, la verdad de F sería una coincidencia altamente improbable, casi un *milagro*, de manera que, en consecuencia, no tendría una explicación razonable.
- 3) Ahora bien, si sabemos que (a) es verdadera, entonces ya tenemos una explicación adecuada de F y no necesitamos recurrir a (b) para explicar este hecho.
- 4) Solo en el caso de que sepamos que (a) es falsa deberíamos recurrir a (b), debido a que, descartada (a), (b) es la única explicación razonable de F que está disponible.

- 5) Por lo tanto, si T no fue construida específicamente para ajustar E , esto es, si (a) es falsa, entonces, deberíamos considerar que T es probablemente verdadera.
- 6) *T está mejor confirmada cuando no ha sido construida específicamente para ajustar E que cuando ha sido específicamente construida para implicar E .*

Como podemos advertir, uno de los supuestos fundamentales del argumento predictivista es el que se halla en la premisa (2), ya que, según Barnes (2002, p. 421), mediante dicho supuesto el argumento “sostiene que solamente la imputación de verdad a una teoría predictivamente exitosa bloquea la consecuencia indeseable de que el éxito sea milagroso”. Ahora bien, como señalamos previamente, Barnes sostiene que las hipótesis (a) y (b) no son rivales, por lo que su objeción central apunta a las premisas (2) y, en especial, (3) del argumento. Barnes argumenta que esta premisa (3) contiene un supuesto implícito que no debería aceptarse, puesto que consiste en una aplicación falaz de una variante de la conocida “navaja de Ockham” que Barnes llama “principio de antisuperfluidad”. Según Barnes, este principio afirma que no se debe recurrir a una explicación cuando es superflua, esto es, cuando, por ejemplo, ofrece una causa sobredeterminante del hecho que pretende explicar.⁴¹ Barnes (2000, p. 357) sostiene que “un componente es superfluo, por supuesto, si no es necesario para cumplir con el propósito de hacer lo que se supone que una teoría tiene que hacer; y, de acuerdo con los propósitos presentes, lo principal que se supone que una teoría tiene que hacer es ofrecer una explicación de ciertos fenómenos”.

En este sentido, aplicamos este principio cuando afirmamos que no hay razón para sostener una hipótesis H_2 (la cual supone una causa sobredeterminante de cierta evidencia E), cuando ya sabemos que otra hipótesis H_1 (la cual supone una causa suficiente de la misma evidencia E) es verdadera; incluso pese al hecho de que H_1 y la conjunción ($H_1 \& H_2$) explican la evidencia igualmente bien, por lo que, en consecuencia, podríamos pensar que ambas hipótesis están en igualdad de condiciones. En el caso de que H_1 y H_2 sean explicaciones alternativas compatibles de E (que no se encuentran correlacionadas ni comparten supuestos fundamentales) y de que H_1 sea, por sí misma, una causa suficiente de la verdad de E , entonces, la verdad de E no ofrece, incluso dado el conocimiento independiente de la verdad de H_1 , evidencia para sostener H_2 . De

⁴¹ Barnes defiende una concepción causal, en sentido amplio, de la explicación. Según esta concepción, una explicación de un cierto fenómeno es una descripción de la historia causal relevante de ese fenómeno. De esta manera, si decimos que un componente de la explicación es superfluo, entonces, estamos diciendo algo acerca de la relación entre ese componente y la historia causal relevante del fenómeno (véase Barnes 2000).

esta manera, el principio de antisuperfluidad afirma que H_2 no debe sostenerse sobre la base de la verdad de E (aunque, por supuesto, puede sostenerse sobre la base de otras razones).⁴² Con todo, Barnes (2002, p. 419), aclara “un hecho terriblemente obvio” acerca del principio de antisuperfluidad: si queremos aplicar el principio contra una hipótesis, por ejemplo, contra H_2 , debemos disponer de una hipótesis que ya sepamos verdadera, por ejemplo, H_1 , y, además, se debe cumplir otra condición, según la cual esta hipótesis H_1 tiene que ser una explicación adecuada de la *misma* evidencia E que intenta explicar la hipótesis H_2 . Barnes (2002, p. 420) denomina a este requisito para la aplicación del principio de antisuperfluidad como “condición de mismidad” (*sameness condition*).

Como señalamos anteriormente, Barnes (2002, p. 421) afirma que aquella reconstrucción del argumento a favor del predictivismo presupone, de manera implícita, la aplicación del principio de antisuperfluidad, el cual les permite a los predictivistas, en principio, rechazar “la conjunción [(a) & (b) supuesta en la premisa (3) del argumento] entre [la hipótesis (a)] ' T fue construida para ajustar E ' y [la hipótesis (b)] ' T es verdadera', cuando la hipótesis de que T fue construida para ajustar E es tanto verdadera como suficiente para explicar el hecho de que T implica la verdad de E ". En ese sentido, por ejemplo, la hipótesis (b) de la verdad (aproximada) de la teoría desempeña el papel de la hipótesis H_2 y la hipótesis (a) de que la teoría fue construida específicamente para ajustar la evidencia desempeña el papel de la hipótesis H_1 , por lo que, en consecuencia, la hipótesis (b) debería rechazarse, ya que la hipótesis (a) es, en principio, verdadera y suficiente para explicar el hecho (F) de que la teoría implica un enunciado observacional verdadero.

Barnes sostiene, sin embargo, que la aplicación del principio de antisuperfluidad en este caso en particular es errónea, ya que, como señalaremos, no cumple los requisitos de aplicación, por lo que la conclusión a favor del predictivismo debe rechazarse. El punto fundamental de su objeción es mostrar que la hipótesis (a) “ T fue construida específicamente para ajustar E ” no explica el hecho (F), esto es, no explica por qué la teoría implica un enunciado observacional verdadero. Por esta razón, la premisa (2) del argumento a favor del predictivismo debe rechazarse, puesto que la hipótesis (a) no es una explicación adecuada de F . Las razones que proporciona Barnes acerca de por qué la hipótesis (a) no puede explicar las *implicaciones verdaderas* (*truth-entailment*) son semejantes a las que, como señalamos, ofrece Collins (1994). En efecto, Barnes (2002, p. 423) sostiene que “la afirmación de que una teoría fue construida

⁴² La situación es trivial en el caso de que H_1 y H_2 sean mutuamente excluyentes, ya que, en este caso, el conocimiento de la verdad de H_1 implica la falsedad de H_2 , por lo que, si H_1 es una causa suficiente de la verdad de E , entonces, la verdad de E implica la falsedad de H_2 .

para ajustar una consecuencia observacional es una afirmación acerca de un evento contingente [...] Sin embargo, las implicaciones son verdades lógicas o están compuestas por verdades lógicas ¡Pero las verdades lógicas no pueden explicarse mediante eventos contingentes!".

Ahora bien, la hipótesis (b) "T es verdadera", por el contrario, explica (F), esto es, puede explicar por qué la teoría implica un enunciado observacional verdadero, puesto que la verosimilitud de una teoría garantiza (1) que todas sus consecuencias observacionales (y, en particular, todas sus predicciones) son aproximadamente verdaderas, o (2) que la mayoría de ellas son verdaderas, o bien otras opciones más débiles. La verosimilitud de una teoría no garantiza, a diferencia de la verdad de la teoría, que todas sus consecuencias observacionales sean necesariamente verdaderas. De esta manera, Barnes sostiene que la hipótesis (a) "T fue construida para ajustar E" y la hipótesis (b) "T es verdadera" no son rivales porque explican hechos diferentes. En efecto, la hipótesis (a) explica un hecho contingente (por qué la teoría explica un fenómeno) y la hipótesis (b) explica un hecho necesario (por qué la teoría implica un enunciado observacional verdadero). Por ello, la aplicación del principio de antisuperfluidad contra la hipótesis (b) "T es verdadera" es errónea, ya que no cumple la condición de *mismidad*. La hipótesis (a) es verdadera, pero no es una explicación adecuada de la *misma* evidencia que intenta explicar la hipótesis (b), esto es, de por qué la teoría implica un enunciado observacional verdadero. Por ello, Barnes (2002 y 2008) concluye que el argumento a favor del predictivismo que se sustenta en la inferencia a la mejor explicación tiene que rechazarse.

5. 4 La versión revisada de la inferencia a la mejor explicación de Peter Lipton

Lipton (2004, p. 198), por su parte, sostiene que el argumento a favor del predictivismo que se sustenta en esta inferencia a la mejor explicación "tiene una fuerza intuitiva considerable, pero también una serie de debilidades". Al igual que Barnes, Lipton sostiene, por ejemplo, que las dos hipótesis explicativas presentes en el argumento predictivista, esto es, la hipótesis de la verdad aproximada de la teoría y la hipótesis de que la teoría fue construida específicamente para implicar la evidencia, no son rivales. Con todo, el objetivo de Lipton no es rechazar el predictivismo ni la inferencia a la mejor explicación, sino, por el contrario, revisar la versión usual de la inferencia y presentar una versión mejorada que apoye el predictivismo. Como ya señalamos, Lipton sostiene, en líneas generales, que no es claro que la explicación mediante la hipótesis de la verdad de la teoría compita realmente con la explicación mediante la hipótesis de que la teoría fue construida para implicar la evidencia.

Según Lipton (1990 y 2004), las dos hipótesis podrían ser igualmente adecuadas, esto es, podrían ser una explicación de por qué la teoría implica la evidencia, por lo que admitir que la explicación que ofrece el caso de la acomodación de la evidencia conocida, esto es, mediante la hipótesis de que la teoría fue construida específicamente para implicar la evidencia, hace menos probable (o bien, algo *milagroso*) que la teoría implique consecuencias observacionales que sean verdaderas (o bien que la teoría sea aproximadamente verdadera), supone plantear el problema, desde el principio, en contra de la posición a favor de la acomodación de la evidencia. Para Lipton (2004), el problema (esto es, aquello que hay que elucidar) es, justamente, si el hecho de que una teoría fue construida de manera específica para implicar, o para ajustar, la evidencia conocida debilita la conclusión de que la teoría es aproximadamente verdadera o verosímil (Lipton toma esta crítica de Horwich 1982, pp. 111-116).

El argumento de Lipton (2004) a favor de la ventaja epistémica del éxito de las predicciones novedosas por sobre la acomodación satisfactoria de la evidencia conocida se apoya, en última instancia, en el concepto de “explicación *artificiosa*” (*fudging explanation*). Según Lipton (2004, p. 170), la ventaja de las predicciones no depende “tanto de una virtud especial de la predicción, sino de una responsabilidad, [de una deficiencia], especial de la acomodación” de la evidencia. Lipton argumenta de la siguiente manera. En el caso en el que se acomoda la evidencia conocida, el científico, puesto que ya conoce la evidencia, puede hacer todo lo que esté a su alcance para que la teoría que está construyendo implique esa evidencia. En este sentido, puede modificar, o elegir, su teoría y las hipótesis auxiliares de una manera *artificial* solo para inferir la evidencia que quiera. De esta manera, la explicación de por qué la teoría implica la evidencia mediante la hipótesis de que la teoría fue construida específicamente para implicar la evidencia puede ser una explicación artificiosa. El punto central de su argumento es que la elección o la modificación de la teoría solo puede realizarse si el científico conoce la evidencia.

En efecto, en el caso en el que se predice la evidencia, el científico, puesto que no conoce la evidencia, no tiene ninguna razón para elegir o modificar la teoría o las hipótesis auxiliares para inferir esa evidencia. Según Lipton, en este caso, el científico solo puede predecir la evidencia a partir de la teoría y de las hipótesis auxiliares que considere *más simples y naturales*. Además, Lipton sostiene que, si la predicción de la teoría se verifica, entonces, el científico cuenta con una buena razón para creer en su teoría. En este sentido, la explicación de por qué la teoría implica la evidencia mediante la hipótesis de que la teoría es verdadera pareciera una mejor explicación. De esta manera, Lipton (2004) concluye que solo en el caso en el que se acomoda la evidencia el éxito de la teoría puede resultar sospechoso, puesto que solo en ese caso, y no

en el caso en el que la teoría predice la evidencia, existe el riesgo de una explicación artificiosa. En conclusión, el riesgo de una explicación artificiosa es una deficiencia posible, y una responsabilidad, propia de los casos en los que existe una acomodación de la evidencia conocida que, en consecuencia, pone a la acomodación de la evidencia en una desventaja epistémica con respecto a la verificación de las predicciones de una teoría. Con todo, el desafío de Lipton es mostrar por qué una explicación artificiosa es inaceptable.

Ante todo, Lipton enfatiza que su posición no implica el predictivismo fuerte, puesto que su posición no implica que en todos los casos en los que se ha acomodado la evidencia conocida exista una explicación artificiosa de dicha evidencia, por lo que, en consecuencia, su posición no implica que, en todos los casos, la acomodación satisfactoria de la evidencia conocida no confirma una teoría, ni que dicha acomodación confirme en un menor grado una teoría que la verificación de cualquier predicción novedosa de esa teoría. La posición de Lipton solo señala que el riesgo de una explicación artificiosa es una desventaja epistémica de la acomodación de la evidencia conocida, ya que solo se da en estos casos y no en los casos en los que ha ocurrido una predicción exitosa. Ahora bien, ¿Por qué el riesgo de una explicación artificiosa es inaceptable? Claramente, este problema se conecta con el debate acerca de las estrategias *ad hoc* que analizamos en el capítulo 3. Para Lipton (2004, p. 171), cuando una teoría se elige o se modifica de manera artificiosa para implicar la evidencia, ofreciendo, en consecuencia, una posible explicación artificiosa de esa evidencia, “se convierte en algo más parecido a una conjunción arbitraria [de hipótesis] que a una explicación unificada” de la evidencia. En este sentido, Lipton conecta el concepto de explicación artificiosa con otras virtudes de una teoría que ya hemos analizado: la simplicidad y el poder unificador de una teoría.

Lange (2001), por su parte, sostiene una posición predictivista semejante. Según Lange (2001, p. 580), “la carencia de confirmación [de una evidencia con respecto a una teoría en los casos en los que la teoría acomoda una evidencia conocida] no tiene que ver, *directamente*, con el hecho de que la teoría haya acomodado la evidencia, sino que, más bien, es una consecuencia del hecho de que consideramos que la teoría acomoda las evidencias conocidas formando una *secuencia arbitraria*” (énfasis nuestro). En este sentido, Lange (2001, p. 581) sostiene que “es más probable que una hipótesis que se propuso para acomodar cierta evidencia sea juzgada como una conjunción arbitraria que una hipótesis que se propuso antes del conocimiento de esa evidencia”. Para Lange, este juicio proviene del hecho de que a medida que una teoría se modifica para acomodar la evidencia conocida, las hipótesis que se introducen pierden, cada vez

en mayor medida, la conexión entre sí. Así, el sistema teórico pierde poder unificador y se convierte en una conjunción arbitraria de hipótesis.

Ahora bien, según Lipton (2004), el grado de confirmación de una teoría, entendida como una conjunción arbitraria de hipótesis, disminuye y es menor que el grado de confirmación de una teoría que da una explicación unificada de la evidencia. El grado de confirmación de una conjunción arbitraria de hipótesis es menor que el de una teoría que ofrece una explicación unificada de la evidencia porque (1) la evidencia que apoya a un elemento determinado de esa conjunción puede, y, en efecto, es lo más probable, apoyar a uno y no a otros, o bien, apoyar en mayor medida a unos que a otros; y porque (2) ese apoyo confirmatorio que recibe un elemento de la conjunción no se transfiere a los otros elementos de la conjunción. En una conjunción arbitraria no hay ningún mecanismo causal que relacione las hipótesis. Por otra parte, la modificación artificial de una teoría también repercute en su relación con el conocimiento previamente disponible, por lo que, en consecuencia, este hecho también puede modificar su grado de confirmación. En efecto, para que la teoría no disminuya su grado de confirmación, producto de un cambio en su relación con el conocimiento previo, las modificaciones de la teoría deben, por lo menos, mantener el mismo valor de probabilidad que la teoría tenía dado el conocimiento previo, antes de que se realizaran las modificaciones. El punto fundamental es que es muy poco probable que una modificación artificial de una teoría pueda mantener ese mismo valor de probabilidad. En definitiva, Lipton sostiene que la acomodación artificial de una teoría consigue explicar, de una manera exitosa, por qué la teoría implica la evidencia solo a costa de la pérdida de ciertas virtudes epistémicas relevantes de una teoría.

Por último, Lipton (2004) sostiene que esta revisión del argumento predictivista mediante la introducción del concepto de explicación artificial mejora la estrategia basada en la inferencia a la mejor explicación, ya que, mediante esta revisión, se supera la objeción de que las hipótesis explicativas no son rivales. En efecto, Lipton sostiene que en su reformulación es claro que la hipótesis de que la teoría es verosímil (que defienden los predictivistas) compite con la hipótesis de que la teoría ha sido construida específicamente para implicar la evidencia, ya que dicha hipótesis corre el riesgo de ofrecer una explicación artificial de ese hecho. Si en el caso de la acomodación de la evidencia conocida podemos inferir de manera razonable que la explicación de por qué la teoría implica la evidencia se debe a una modificación artificial, entonces, este hecho disminuye de manera significativa nuestra confianza en la hipótesis de que la teoría es verosímil.

Cuando una teoría acomoda la evidencia conocida, la explicación de por qué la teoría implica una evidencia mediante la hipótesis de que la teoría es verosímil puede ser bloqueada si recurrimos a una explicación mediante la hipótesis de que el sistema teórico es *ad hoc* en un sentido epistémicamente negativo, esto es, si la teoría ha sido modificada con el único objetivo de implicar la evidencia. En suma, según Lipton (2004), debido a que, en su reformulación del argumento, las dos hipótesis compiten entre sí, el argumento a favor del predictivismo escapa de las objeciones y puede retenerse. El predictivismo posee una ventaja epistémica con respecto a la acomodación de la evidencia conocida que no proviene de una virtud de las predicciones exitosas, sino de un defecto que siempre se encuentra latente en la acomodación de la evidencia. Por estas razones, el predictivismo es una mejor explicación de por qué la teoría implica la evidencia porque en este caso, y a diferencia de los casos en los que la teoría acomoda la evidencia conocida, no hay ningún riesgo de que la teoría haya sido elegida o que haya sido modificada de una manera *ad hoc* con el único propósito de implicar la evidencia, por lo que no existe ningún riesgo de una explicación artificiosa de por qué la teoría implica la evidencia. En suma, la relación entre la teoría y la evidencia sigue siendo, como en las críticas de Collins y Barnes, lógica, es decir, sigue siendo independiente de los aspectos contingentes involucrados en la construcción de la teoría. Sin embargo, el punto es que, solo en el caso de la acomodación de la evidencia, el sistema teórico puede sufrir una modificación *ad hoc* con el único propósito de implicar dicha evidencia, de manera que las críticas a la acomodación no recaen en la relación lógica entre esa evidencia y la teoría, sino en el sistema teórico mismo.

5.5 Las críticas de David Harker a la versión de Peter Lipton

En esta sección, analizaremos y evaluaremos una objeción de Harker al argumento a favor del predictivismo de Lipton. Ante todo, Harker (2008, p. 439) distingue entre las inferencias no deductivas y sostiene que el argumento de Lipton no se apoya en una inferencia a la mejor explicación, sino en una inferencia al mejor método, ya que, en última instancia, el argumento sostiene que “el éxito predictivo [a diferencia de la acomodación de la evidencia conocida] es más probable que sea el resultado de un método más confiable de construcción de teorías”. La explicación de por qué la teoría implica la evidencia dependería del hecho de que, en el caso en el que la teoría acomoda la evidencia conocida, se ha seguido un método de construcción de teorías menos confiable que en el caso en el que la teoría predice la evidencia, ya que en el primero la teoría se ha construido con el único propósito de implicar la evidencia, modificando

de una manera, en principio sospechosa, el conjunto de las hipótesis auxiliares del sistema teórico.

Por esta razón, Harker (2006 y 2008) sostiene que Lipton defiende un tipo de *predictivismo indirecto*, puesto que la acomodación satisfactoria de la evidencia conocida, esto es, la elección o la modificación artificiosa de la teoría es *un síntoma* (o bien, en otras palabras, es evidencia indirecta) de que la teoría ha perdido ciertas virtudes epistémicas relevantes; en el argumento de Lipton, como ya hemos señalado, la teoría ha perdido poder unificadorio. El predictivismo indirecto, en general, destaca la ventaja epistémica del éxito de las predicciones novedosas de una teoría por sobre la acomodación satisfactoria de la evidencia conocida, pero considera que esta ventaja no proviene del éxito predictivo *en sí mismo*, sino que es una consecuencia de otra virtud epistémica más básica que produce esos *síntomas* y que, en general, es más compleja, de manera que es más difícil de analizar de forma directa. Lange (2001), White (2003), Hitchcock y Sober (2004) y, recientemente, Schindler (2014) también defienden esta clase de predictivismo indirecto. Schindler (2014), por ejemplo, lo llama “predictivismo sintomático”, ya que el éxito de las predicciones de la teoría tiene mayor peso confirmatorio que la acomodación de la evidencia conocida solo en la medida en que revela, esto es, solamente en la medida en la que es evidencia indirecta, como ya analizamos en la sección 7 del capítulo 3, de la existencia de una relación de coherencia entre la teoría y la evidencia.

Ahora bien, según Harker (2006), el desafío de los predictivismos indirectos es mostrar que el desplazamiento conceptual está justificado y que no se está evadiendo un problema complejo con otro aún más complejo. En otras palabras, aquellos que defienden el predictivismo no solo tienen que mostrar que existe una relación adecuada entre el éxito predictivo de una teoría y la supuesta virtud epistémica más básica responsable de dicho éxito, sino que, además, tienen que mostrar que esa virtud, por ejemplo, el poder unificadorio de la teoría, es una virtud epistémica especial de las teorías. En este sentido, con respecto al predictivismo indirecto que, de acuerdo con Harker, defiende Lipton, Harker sostiene que la distinción epistémica entre las predicciones y la acomodación de la evidencia conocida, es decir, la ventaja epistémica del éxito predictivo de una teoría no proporciona una elucidación suficiente del poder unificadorio de la teoría, esto es, el éxito predictivo no muestra, *por sí solo*, por qué la teoría no es una conjunción arbitraria de hipótesis, sino un sistema unificado que proporciona, por ejemplo, una explicación no artificiosa de por qué una teoría implica cierta evidencia.

Harker (2008, p. 448) duda de la estrategia predictivista de Lipton porque no halla en ella “ninguna razón para pensar que la distinción [epistémica] entre la predicción y la acomodación

[de la evidencia] sea una señal más confiable del poder unificador [de una teoría] que los indicadores sociológicos”. De esta manera, en la estrategia de Lipton, no hay una inferencia al mejor método, ya que el éxito predictivo no constituye una evidencia suficiente para sostener el poder unificador de una teoría. En efecto, Harker (2008) sostiene que también existen otros factores, incluso extra epistémicos, como, por ejemplo, los indicadores sociológicos e históricos (tales como la publicación de la teoría en revistas científicas de primer nivel, el apoyo de científicos reconocidos por la comunidad científica, etc.), que también ofrecen evidencia indirecta a favor del poder unificador de una teoría. Harker (2008, p. 448) afirma que, “en el mejor de los casos, apelar al éxito predictivo, en lugar de a la reputación del autor, resulta arbitrario”.

Douglas y Magnus (2013, p. 586), por su parte, afirman que, “si bien el poder de explicación y de unificación de la teoría es una virtud teórica importante, [...] el éxito predictivo no se reduce a ella”. En este sentido, si bien el éxito predictivo de una teoría muchas veces está acompañado de estas virtudes, existen muchos casos históricos en los cuales una teoría fue predictivamente exitosa y no contaba con una o más de esas virtudes. Además, Douglas y Magnus (2013, p. 586) sostienen, como ya hemos señalado anteriormente, que la estrategia de los predictivismos indirectos, esto es, “reducir el éxito predictivo [de una teoría] a una virtud teórica, intercambia un indicador que es relativamente claro por un indicador que es problemáticamente más vago”. En efecto, las virtudes teóricas siempre han sido un tema de discusión en la filosofía de la ciencia. El problema empieza por definir con cierta precisión las propias virtudes teóricas; y sigue, luego, por la búsqueda de un criterio para identificarlas y comparar sus diferentes grados. En cambio, el éxito predictivo ha sido menos cuestionado: “la presencia de una predicción novedosa exitosa se evalúa con mayor claridad que el poder explicativo o unificador, incluso, si hay desacuerdo acerca de qué tan fuerte es el apoyo que proporciona la predicción” (Douglas y Magnus 2013, pp. 586-587). En suma, la posición de Lipton presenta los mismos problemas que tienen todas las posiciones que recurren al concepto de *ad hoc*, esto es, tiene que precisar bajo qué criterios la modificación del conjunto de las hipótesis auxiliares, o el cambio de una teoría, del sistema teórico, es *ad hoc*.

5. 6 Las críticas bayesianas a la inferencia a la mejor explicación

En esta sección, presentaremos y evaluaremos dos críticas bayesianas a la inferencia a la mejor explicación y sostendremos que la defensa bayesiana de un predictivismo moderado no

solo supera estas dificultades epistemológicas del argumento a favor del predictivismo basado en esta forma de inferencia, sino que, además, también ofrece, en su estructura general, un argumento comparativamente superior al que ofrece la inferencia a la mejor explicación.

Para muchos filósofos (entre ellos, van Fraassen y, como señalaremos más adelante, Salmon), existe un tipo de tensión entre la teoría bayesiana de la confirmación y la inferencia a la mejor explicación. Una de las posiciones extremas es la de van Fraassen (1989), que sostiene que la teoría bayesiana y la inferencia a la mejor explicación son incompatibles. En efecto, según van Fraassen, si adoptamos la teoría bayesiana, entonces inferir de acuerdo a la mejor explicación nos conduce a un comportamiento probabilísticamente incoherente. Ahora bien, según la interpretación de van Fraassen (1989, p. 146), la inferencia a la mejor explicación no consiste en “inferir la verdad a partir de la mejor explicación disponible. Esto solo es un código para la regla verdadera, la cual consiste en asignar un valor a nuestras probabilidades personales con el *debido respeto* a la explicación. El poder explicativo es una señal de verdad, no infalible, pero un síntoma característico” de ella (énfasis nuestro). En esta dirección, van Fraassen analiza dos formas en las que la verdad se *reduce* al poder explicativo.

La primera de estas formas da cuenta de la noción de “*explicabilidad*”, *en sí misma*, esto es, independientemente de la evidencia que pretende explicar. Sostiene que la explicación posee ciertas características especiales propias que hace que una teoría no refutada que explica cierta evidencia sea más probable que sea verdadera que otras teorías igualmente no refutadas que no la explican. La segunda forma de reducción da cuenta del éxito explicativo de la teoría, esto es, da cuenta de la noción de explicación cuando ya se dispone de la evidencia. Sostiene que la noción misma de racionalidad requiere que aquellas características propias de la explicación funcionen como factores relevantes a la hora de una respuesta racional a la evidencia. En esta sección, solamente evaluaremos esta segunda forma, ya que se conecta más directamente con la teoría de la confirmación y con la crítica bayesiana a la inferencia a la mejor explicación. Según esta última forma de reducción, la inferencia a la mejor explicación puede interpretarse como una regla para ajustar el valor de nuestras probabilidades subjetivas teniendo en cuenta el éxito explicativo de las teorías.

Sin embargo, como señalamos, para van Fraassen (1989), la teoría bayesiana ortodoxa y la inferencia a la mejor explicación son incompatibles: si adoptamos la teoría bayesiana de la confirmación y aplicamos la interpretación de la regla de la inferencia a la mejor explicación de van Fraassen, llegaremos a una posición probabilísticamente incoherente. En efecto, como ya hemos analizado, la teoría bayesiana ortodoxa ajusta el valor de una probabilidad dada la

adquisición de una nueva evidencia exclusivamente de acuerdo con el principio bayesiano de condicionalización (en principio, la teoría bayesiana solamente incorpora el principio de condicionalización simple, pero también hay bayesianos que argumentan que la función de probabilidad puede condicionalizarse mediante otra regla como, por ejemplo, la regla de Jeffrey). En consecuencia, van Fraassen sostiene que cualquier otro ajuste en el valor de la probabilidad que, por ejemplo, exprese, o que dé cuenta, de las virtudes explicativas de una teoría, o incluso que las mismas probabilidades subjetivas den cuenta de estas virtudes explicativas, esto es, que las probabilidades bayesianas *respeten* el éxito explicativo de una teoría, conduce, irremediablemente, a una incoherencia probabilística.

La estrategia argumentativa de van Fraassen (1984 y 1989, pp. 160-169) recurre a la validez de los llamados “*Dutch books arguments*”. Como señalamos en el capítulo 4, los bayesianos emplean este tipo de argumento para justificar la coherencia probabilística de la interpretación subjetiva de la probabilidad y el principio de condicionalización simple. En este caso, van Fraassen recurre a este argumento para mostrar que, si un agente calcula el valor de sus probabilidades posteriores teniendo en cuenta, en algún sentido, el éxito explicativo de una teoría, esto es, siguiendo algún tipo de regla que se sustente en una inferencia a la mejor explicación, se comportará de una manera probabilísticamente incoherente, esto es, estará dispuesto a aceptar apuestas que, evaluadas en su conjunto, siempre le otorgarán una ganancia neta negativa. En su estructura general, el argumento de van Fraassen es el siguiente.⁴³

Como señalamos en el capítulo 4, la teoría bayesiana proporciona un principio, el principio de condicionalización simple, mediante el cual se actualiza la función de probabilidad de un agente ante la adquisición de una nueva evidencia. Además, la teoría bayesiana sostiene que la probabilidad posterior de una teoría se calcula exclusivamente a partir de las probabilidades previas (entre ellas, la esperabilidad de la evidencia y la *likelihood* de la evidencia), mediante el teorema de Bayes, de manera que “nada de esto tiene que ver con algo especial acerca de la explicación- es solo una cuestión de *ajustar* nuestras opiniones iniciales en respuesta a qué tan bien nuestras hipótesis *se ajustan* empíricamente a los datos” (van Fraassen 1989, p. 164, énfasis nuestro). Incluso, van Fraassen (1989, p. 165), asegura que los libros de estadística y de probabilidad enseñan que la probabilidad posterior de una proposición se calcula mediante un

⁴³ Hemos simplificado el argumento de van Fraassen en función de los objetivos centrales de esta sección. Para un análisis más detallado de los aspectos técnicos del argumento, véase van Fraassen (1989, pp. 160-169).

proceso de “actualización simple y lógico”, de manera que, en ellos, no encontraremos “en absoluto ningún indicio del papel especial en la confirmación de la explicación de tipo legal”.

Ahora bien, para van Fraassen, la incompatibilidad entre el bayesianismo y la inferencia a la mejor explicación se revela cuando queremos calcular el valor de aquellas probabilidades adoptando una regla que tenga en cuenta la inferencia a la mejor explicación, esto es, cuando sostenemos que el valor de estas probabilidades tiene que tener en cuenta las virtudes explicativas de las teorías. En este sentido, el valor de la probabilidad posterior de una teoría no solo se calcula en función de las probabilidades previas, sino que, además, también debe calcularse en función del éxito explicativo de la teoría, esto es, en función de si la teoría ofrece una buena explicación de por qué ha ocurrido lo que se ha observado. El punto fundamental de quienes defienden el argumento a favor del predictivismo sustentado en la inferencia a la mejor explicación, según van Fraassen (1989, p. 166), es que un agente “de acuerdo con el éxito explicativo, debería incrementar su credibilidad en las hipótesis más explicativas”. De esta manera, esta conjunción entre la teoría bayesiana y la inferencia a la mejor explicación conduce a emplear una regla según la cual, la probabilidad posterior de una teoría se calcula no solo mediante las probabilidades previas, sino también mediante una característica especial propia de ciertas teorías: el éxito explicativo. El punto fundamental de la crítica de van Fraassen es que, si un agente individual aplica la nueva regla, su comportamiento, por ejemplo, en un juego de apuestas justo será probabilísticamente incoherente, esto es, el agente actuará, a sabiendas, de tal manera que siempre obtendrá, en su conjunto, una ganancia neta negativa.

La situación que plantea van Fraassen es la siguiente. Llamémosle Juan “el bayesiano” a un hipotético agente que condicionaliza su función de probabilidad y que calcula sus probabilidades posteriores según los principios de la teoría bayesiana ortodoxa. En cierto momento, Juan “el bayesiano” se encuentra con Carlos, otro hipotético agente que, en su caso, infiere de acuerdo a la mejor explicación. Luego de una breve conversación acerca de la teoría de la probabilidad, Carlos convence a Juan para que incorpore la regla de la inferencia a la mejor explicación a la hora de condicionalizar y calcular sus probabilidades. A Juan se le presenta una primera situación problemática. En efecto, Juan tiene la siguiente hipótesis: “este dado está cargado de tal manera que, en la mayoría de los casos, muestra un 6”. Con esta hipótesis en mente, Juan arroja el dado una cantidad de veces, por ejemplo, cuatro veces, y obtiene, en todas ellas, un 6. En consecuencia, Juan incrementa su grado de probabilidad en la hipótesis dada la evidencia obtenida. Luego de esta situación, a Juan se le ocurre un juego de apuestas. El juego consiste en predecir el valor de la probabilidad de que este dado muestre, en la siguiente tirada, un 6. Si el

dado no muestra un 6, entonces, hay que pagar como penalidad p^2 unidades monetarias (esto es, hay que pagar el cuadrado de la probabilidad que se predice). Por el contrario, si el dado muestra un 6, hay que pagar $(1 - p)^2$ unidades monetarias. Dada la situación, Juan se pregunta “¿Qué valor de probabilidad me conviene predecir?”

Recordemos, Juan ya había arrojado el dado cuatro veces y el dado, en todas las ocasiones, había mostrado un 6. Juan se hace una pregunta aún más precisa: luego de esta evidencia, ¿Cuál es mi probabilidad de que el dado muestre, en la próxima tirada, un 6? Juan, como todo bayesiano, cuenta con un modelo de cálculo de probabilidades que le dice, por ejemplo, que la probabilidad de que el dado muestre un 6 en la próxima tirada dado que ya ha mostrado un 6 en las anteriores cuatro tiradas es 0.87. Sin embargo, Juan “el bayesiano” fue convencido por Carlos de adoptar la regla de la inferencia a la mejor explicación, por lo que, su probabilidad en la hipótesis debería incrementarse un poco más, ya que, según esa regla, la hipótesis ofrecería una buena explicación de por qué ocurre lo que se ha observado que ocurre, esto es, de por qué el dado muestra, en la mayoría de los casos, un 6. De esta manera, según esta regla, su probabilidad en la hipótesis es mayor que antes, por ejemplo, 0.9. Ahora bien, antes de tomar una decisión, Juan, precavidamente, calcula el valor de la penalidad que tendría que pagar si realiza una u otra predicción. Juan se encuentra en una posición privilegiada, ya que cuenta con el valor de las probabilidades previas y con la evidencia recolectada en cuatro tiradas del dado, por lo que puede calcular el resultado de las penalidades esperadas:

si predice una probabilidad de 0.9, el valor esperado de la penalidad es 0. 114;

si predice una probabilidad de 0.87, el valor esperado de la penalidad es 0. 1131.

En consecuencia, dadas las expectativas, a Juan le conviene mentir, puesto que, según estos valores, si actúa según la regla de la inferencia a la mejor explicación obtendrá un peor resultado que si no lo hace. De esta manera, si Juan se guía por la regla de la inferencia a la mejor explicación, actuará de una manera probabilísticamente incoherente.

Con todo, a Juan se le presenta una segunda situación problemática aún más compleja. Juan le cuenta a Carlos lo que ocurrió y Carlos, por supuesto, le replica que esto le ha pasado porque no ha comprendido correctamente la regla de la inferencia a la mejor explicación, puesto que, si lo hubiese hecho, se habría dado cuenta de que 0.87 es una probabilidad irrelevante en el ejemplo, y que la probabilidad de 0.9 (esto es, la que tiene en cuenta las virtudes explicativas de la hipótesis) es suficiente para evaluar sus probabilidades. Juan le cree nuevamente a Carlos. En

cierto momento, quizás aprovechando la ocasión, se acerca a Juan un viejo amigo bayesiano, Raúl, y le propone las siguientes apuestas.

Sea E “el dado muestra un 6 en las primeras cuatro tiradas” y H “el dado muestra un 6 en la quinta tirada”,

la apuesta 1 paga \$10 000 si E es verdadera y H es falsa;

la apuesta 2 paga \$1 300 si E es falsa;

la apuesta 3 paga \$300 si E es verdadera;

en los demás casos, las apuestas pagan \$0.

Los dos amigos evalúan las apuestas según las probabilidades previas que ambos comparten y concuerdan en lo siguiente:⁴⁴

la probabilidad previa de que E sea verdadera es 0.25333;

la probabilidad previa de que E sea falsa es 0.74667;

la probabilidad previa de que E sea verdadera y de que H sea falsa es 0.032505.

En consecuencia, los costos justos de las apuestas son los siguientes:⁴⁵

el costo justo de la apuesta 1 es \$325.05;

el costo justo de la apuesta 2 es \$970.67;

el costo justo de la apuesta 3 es \$76.00.

Los dos amigos están de acuerdo con estos costos y Juan le compra a Raúl las tres apuestas. De esta manera, Juan le paga a Raúl \$1 371.72, esto es, el costo total de las tres apuestas. Ahora bien, la situación problemática de Juan es la siguiente. En primer lugar, supongamos que el dado no muestra un 6 en todas las primeras cuatro tiradas, por lo que E es falsa. En consecuencia, Juan pierde las apuestas 1 y 3, pero gana la apuesta 2, de manera que Raúl le tiene que pagar el valor de la apuesta 2, esto es, \$1 300. Como podemos advertir, hasta este momento, Juan ha

⁴⁴ Juan y Raúl, ambos bayesianos, calculan estas probabilidades previas según un modelo bayesiano.

⁴⁵ El costo justo de una apuesta se calcula de la siguiente manera: el valor de la probabilidad previa (en este caso, de la hipótesis) se multiplica por el valor que paga la apuesta.

obtenido una ganancia neta negativa de \$72.71, ya que le ha dado a Raúl \$1 372.71 y solo ha cobrado, hasta aquí, \$1 300 de la apuesta 2. Ahora bien, supongamos que, por el contrario, el dado muestra un 6 en todas las primeras cuatro tiradas, de modo que E es verdadera y, en consecuencia, Juan pierde la apuesta 2, pero gana la apuesta 3 y, además, todavía tiene chances en la apuesta 1. De esta manera, Raúl le paga el valor de la apuesta 3, esto es, \$300 y quedan a la expectativa de la apuesta 1. En ese momento, la apuesta 1 puede convertirse, ya que aún no se ha arrojado la quinta tirada, en la siguiente apuesta:

la apuesta 4 paga \$10 000 si H es falsa

Dada esta nueva situación, Raúl le propone a Juan recomprarle la apuesta 1 ¿Qué le conviene a Juan? Como señalamos anteriormente, Juan le creyó nuevamente a Carlos, por lo que sigue la regla de la inferencia a la mejor explicación. Según esta regla, el valor de la probabilidad de Juan de que el dado muestre un 6 en la quinta tirada es, como ya señalamos, 0.9, por lo que, el valor de su probabilidad de que H sea falsa es solo 0.1. De esta manera, si Juan sigue estas reglas, estaría perfectamente de acuerdo en revenderle la apuesta 4 (antes, la apuesta 1) a Raúl por \$1 000 (puesto que ese es el costo justo de la apuesta, esto es, la probabilidad previa de que H sea falsa (0.1) multiplicada por el valor que paga la apuesta (\$10 000)). Desafortunadamente, Juan sigue, como podemos advertir, obteniendo una ganancia neta negativa de 72.71, ya que inicialmente pagó las primeras tres apuestas a \$1 372.71 y solamente ha obtenido \$300 de la ganancia de la apuesta 3 y \$1 000 de la reventa de la apuesta 4 (anteriormente, la apuesta 1), esto es, solo ha cobrado \$1 300 y ha pagado \$1 372.71 (esto es, una ganancia neta de -72.71) y no puede cobrar más, debido a que la apuesta 4 ya no está en su poder.

El punto fundamental del argumento de van Fraassen es que el propio Juan, si no hubiera seguido la regla de la inferencia a la mejor explicación, sino solamente lo que le indica la teoría bayesiana, esto es, sus probabilidades previas, habría sabido, de antemano, lo que le ocurriría. En efecto, si hubiese negociado las apuestas de acuerdo con sus probabilidades previas, habría sabido, en ese mismo momento, que, pase lo que pase, perdería \$72.71. “Por lo tanto, al adoptar la regla de [Carlos], [Juan] se ha vuelto [probabilísticamente] *incoherente* -porque, incluso según sus propias luces, se está sabotando a sí mismo” (van Fraassen 1989, p. 169, énfasis del autor). En suma, según van Fraassen, si adoptamos cualquier regla probabilística que se sustente en la inferencia a la mejor explicación, cualesquiera sean sus detalles, nos llevará a una incoherencia probabilística. Siempre que sea posible, debemos actualizar las probabilidades según el principio

de condicionalización y debemos calcular las probabilidades posteriores por medio del teorema de Bayes, esto es, exclusivamente en función de las probabilidades previas.

Algunos filósofos, como Salmon (2001) y Roche y Sober (2013), no consideran que la teoría bayesiana y la inferencia a la mejor explicación sean incompatibles, sino que argumentan que, si adoptamos la teoría bayesiana ortodoxa, entonces, la incorporación de una regla sustentada en la inferencia a la mejor explicación es *evidencialmente irrelevante*, esto es, las virtudes explicativas de una teoría no incrementan ni disminuyen el grado de confirmación, porque no influyen en la función de probabilidad. En términos bayesianos, $\Pr(T|X \& E) = \Pr(T|E)$; donde T expresa la teoría; E la evidencia verificada y X expresa la proposición: “si T y E son verdaderas, entonces T explica E ”. Esta ecuación afirma que la probabilidad de una teoría dada la verdad de la evidencia y la capacidad explicativa de la teoría es igual a la probabilidad de la teoría dada, solamente, la verdad de la evidencia. Por ello, “si ya sabemos que la evidencia es verdadera, y si ya hemos calculado $\Pr(T|E)$, entonces conocer X no cambia la credibilidad que debemos tener en T ” (Roche y Sober 2013, p. 660).

La posición de Salmon (2001, pp. 86-87) es más fuerte, puesto que “su objetivo es desafiar la perspectiva de que el éxito explicativo de la teoría es una parte indispensable de la confirmación -una perspectiva que se encapsula en el eslogan ‘la inferencia a la mejor explicación’”. Según Salmon, las virtudes explicativas de una teoría no afectan la verosimilitud o la probabilidad de la teoría. En efecto, Salmon (2001, p. 83) sostiene que “cuando, [en el contexto de la inferencia a la mejor explicación], se nos pregunta cuál de estos serios candidatos es la mejor explicación, se nos pregunta cuál *tiene más posibilidades (is most likely)* de ser cierto” (énfasis nuestro). En este sentido, para Salmon, el bayesianismo ofrece una teoría de la confirmación más adecuada que la inferencia a la mejor explicación, ya que proporciona un cálculo objetivo y bien definido, que es una aplicación de la teoría matemática de la probabilidad, para obtener dichas posibilidades. Por el contrario, la inferencia a la mejor explicación ofrecería un análisis más vago, puesto que recurre a conceptos tales como la simplicidad y la modificación no *ad hoc* de una teoría para los cuales, como sostuvimos en el capítulo 3, todavía no contamos con una definición consensuada y para los cuales, incluso, el bayesianismo ofrece una mejor interpretación.

Por ejemplo, si queremos evaluar las posibilidades de una hipótesis (por ejemplo, mañana habrá una temperatura de 18°C) dadas ciertas condiciones climáticas específicas, Salmon (2001, p. 87) sostiene que realizamos una inferencia “en la cual no nos preocupamos en absoluto por explicar nada”, sino que, principalmente, nos atenemos a la evidencia. La capacidad explicativa de una hipótesis, por ejemplo, por qué una temperatura de 18°C es una buena explicación de

ciertas condiciones climáticas, no altera las posibilidades de la hipótesis. Según Salmon (2001, 88), “si comprendemos correctamente el papel de las probabilidades previas, encontraremos que la confirmación bayesiana da cuenta de las características atractivas de la inferencia a la mejor explicación sin depender de las virtudes explicativas de los enunciados confirmados”. Según el esquema bayesiano, la hipótesis de que mañana habrá una temperatura de 18°C dadas ciertas condiciones climáticas incrementará o disminuirá sus posibilidades exclusivamente en función de las probabilidades previas, las cuales, de acuerdo con Salmon (2001, p. 88), “no se refieren a virtudes explicativas, sino epistémicas”, esto es, a la probabilidad de que una proposición sea verdadera (por ejemplo, la hipótesis de que mañana habrá 18°C) dado que otra proposición es verdadera (por ejemplo, que hay tales condiciones climáticas específicas).

Por todas estas razones, consideramos que la teoría bayesiana de la confirmación no solo supera las desventajas epistémicas del argumento a favor del predictivismo que proporciona la inferencia a la mejor explicación, sino que, además, también proporciona, en general, una perspectiva de las inferencias no deductivas que es comparativamente superior a la que ofrece la inferencia a la mejor explicación. En conclusión, sostenemos que la teoría bayesiana de la confirmación proporciona un esquema normativo y conceptual más adecuado para la defensa de un predictivismo moderado y, en general, para la evaluación del problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida que el argumento sustentado en la inferencia a la mejor explicación.

CAPÍTULO 6

El éxito predictivo y el debate acerca del realismo científico

6.1 El realismo se dice de muchas maneras: el debate acerca del realismo científico

El predictivismo está estrechamente entrelazado con el debate, de larga tradición en la filosofía de la ciencia, acerca del realismo científico. En efecto, si bien ambos debates son independientes, esto es, si bien la verdad, o la falsedad, del predictivismo no implica la verdad, o la falsedad, del realismo científico (y viceversa), el éxito predictivo de una teoría ha sido empleado como una premisa fundamental del argumento más usual a favor del realismo científico. En el presente capítulo, evaluaremos la conexión entre el predictivismo y el realismo científico e intentaremos mostrar que el conocido “argumento definitivo a favor del realismo científico” se sustenta en una inferencia a la mejor explicación que presenta algunos problemas epistemológicos, entre ellos, cae en algún tipo de circularidad. Argumentaremos que la teoría bayesiana proporciona una defensa de un realismo moderado que, si bien tampoco está exenta de problemas, es comparativamente superior a la que ofrece el argumento que se sustenta en la inferencia a la mejor explicación.

Como se sabe, el debate acerca del realismo científico atraviesa una diversidad de disciplinas filosóficas y supone la defensa de varias tesis que, si bien son independientes unas de las otras, muchas veces se encuentran interrelacionadas. En este sentido, podemos encontrar posiciones realistas (y antirrealistas) en ontología, en semántica, en epistemología, en axiología, en metodología y en ética de la ciencia que, si bien son independientes entre sí, muchas ocasiones comparten ciertos supuestos.⁴⁶ Sin embargo, analizaremos exclusivamente aquellos aspectos del debate acerca del realismo científico que se relacionan directamente con el predictivismo, ya que una evaluación general del realismo científico está fuera de los objetivos esta tesis.

Como punto de partida, utilizaremos la caracterización del realismo científico que propone Richard Boyd. El realismo científico que defiende Boyd (1980 y 1983) se compromete con dos tesis que, si bien son independientes una de otra, están estrechamente interconectadas: (1) *la verosimilitud de las teorías maduras* y (2) *la existencia de las entidades* referidas por los términos

⁴⁶ Para una caracterización global del realismo científico y para un análisis con mayor detalle de los debates que atraviesa en las diversas disciplinas filosóficas, véanse Devitt 1991 y Niiniluoto 1999.

teóricos típicos de las teorías. Ahora bien, ante todo, conviene señalar que, de acuerdo con Boyd (1983), la verificación de cualquier consecuencia observacional de una teoría, por ejemplo, de una predicción novedosa, supone la aplicación de un método científico que está *cargado de teoría (theory-laden)*, esto es, la verificación de una predicción depende de la aceptación de una gran cantidad de teorías y de hipótesis auxiliares presupuestas que se emplean, por ejemplo, en el diseño del experimento de contrastación, en la recolección e interpretación de los datos, en la elección de las hipótesis, etc. Por esta razón, para Boyd (1983, p. 64), el éxito predictivo de una teoría depende de “la confiabilidad instrumental de la metodología científica”.

Ahora bien, el punto central de Boyd es que la única explicación científicamente plausible de esta confiabilidad es una explicación que tenga como uno de sus supuestos fundamentales una posición realista acerca de las teorías científicas. En efecto, Boyd (1983, p. 63) se pregunta “¿Por qué una metodología tan dependiente de la teoría (*theory dependent*) debería ser confiable a la hora de producir conocimiento acerca de fenómenos observables (en gran parte independientes de la teoría) (*theory independent*)? La respuesta de Boyd es la tesis (1) señalada anteriormente. Los enunciados teóricos de las teorías que son utilizadas en la metodología científica exitosa son, en algún sentido relevante a elucidar, *aproximadamente* verdaderos. De esta manera, el éxito predictivo de una teoría es el producto de la aplicación de un método confiable, cuya única explicación plausible es que las teorías de la cual depende son verosímiles.

La segunda tesis del realismo científico que propone Boyd está directamente conectada con la primera y se apoya en la defensa de una teoría causal, o naturalista, de la referencia (véase, además, Boyd 1973). La tesis (2) sostiene que los términos teóricos típicos de las teorías tienen referencia, de manera que, en consecuencia, las entidades referidas por estos términos existen realmente. Por esta razón, esta clase de realismo científico no se compromete con la existencia de todas las entidades teóricas postuladas por una teoría, sino solamente con aquellas que son referidas por los términos teóricos típicos. El realismo científico de Boyd no sostiene que todos los enunciados teóricos de las teorías son verdaderos, sino que solamente alguno de ellos lo son, por lo que, en consecuencia, las teorías son aproximadamente verdaderas o verosímiles. Boyd (1983, p. 68) argumenta que la teoría naturalista de la referencia es un enfoque “especialmente apropiado para comprender el papel de las consideraciones teóricas en la ciencia”.

Según esta teoría causal y naturalista de la referencia, la referencia de un término teórico se define en función de relaciones de *acceso epistémico*. En sus características fundamentales, la teoría sostiene que “un término teórico (típico) refiere a una entidad existente solo en el caso de que las interacciones causales complejas entre las prácticas sociales humanas y los aspectos

del mundo *provoquen* que lo que se diga acerca de [ese término] sea, en general y a lo largo del tiempo, regulado de una forma confiable por las *propiedades reales* de la propia entidad” (Boyd 1983, p. 68, énfasis nuestro). Sin embargo, esta regulación por parte de las propiedades reales del mundo depende, como señalamos anteriormente, de la verosimilitud de las teorías utilizadas en el diseño experimental de contrastación, por ejemplo, de la confiabilidad de los métodos de medición y detección y, en general, de la confiabilidad de la metodología científica, de manera que, en consecuencia, la teoría causal de la referencia en términos de acceso epistémico puede explicar por qué aquellos componentes teóricos de las teorías son verosímiles. En este sentido, el éxito predictivo de una teoría también depende de la existencia de ciertas propiedades reales de las entidades referidas por los términos teóricos típicos de las teorías.

En las próximas secciones de este capítulo, evaluaremos los argumentos a favor y en contra del realismo solo en función de estas dos tesis realistas: (1) las teorías presupuestas en la confirmación de las predicciones novedosas de una teoría son verosímiles, y (2) las entidades referidas por los términos teóricos típicos de una teoría predictivamente exitosa existen. Por esta razón, el debate entre el realismo y antirrealismo puede formularse, en general, de la siguiente manera: ¿El éxito predictivo de una teoría garantiza (en algún sentido a elucidar) la creencia en la verosimilitud de la teoría y en la existencia de las entidades teóricas postuladas por dicha teoría? Por otra parte, la defensa de este tipo de realismo científico también está estrechamente conectada con el predictivismo porque, como señalaremos en las próximas secciones, los dos argumentos se sustentan en la inferencia a la mejor explicación. Por ello, las críticas que analizamos en el capítulo anterior a la inferencia a la mejor explicación como clase de argumento en general también se aplican a este argumento a favor del realismo en particular. En este capítulo, además, también analizaremos otras críticas generales a la inferencia a la mejor explicación que, por las mismas razones, también pueden aplicarse al argumento a favor del predictivismo. En definitiva, sostenemos que las objeciones estructurales a la inferencia a la mejor explicación socavan, en igual medida, la plausibilidad del predictivismo y del realismo.

6. 2 El éxito predictivo y “el argumento definitivo a favor del realismo científico”

Hilary Putnam (1975, p. 73) proclamó enfáticamente que “el realismo es la única filosofía que no hace del éxito de la ciencia un milagro”. En esta sección, reconstruiremos y evaluaremos el argumento más usual a favor del realismo, esto es, el llamado “argumento definitivo a favor del realismo científico” (van Fraassen 1980, p. 39), cuyo eslogan es, justamente, aquella proclama

de Putnam. Ahora bien, como señala pertinentemente Musgrave (1988, p. 229), “los eslóganes no son argumentos”, de manera que, en consecuencia, tenemos que reconstruir el argumento que le da contenido a dicho eslogan. A su vez, Musgrave (1988, p. 229) también sostiene que “la elucidación del argumento determinará, simultáneamente, cuál es el realismo para el cual es un argumento”. En este sentido, la reconstrucción del argumento nos permitirá identificar cuáles son los compromisos realistas que adopta esta estrategia (por ejemplo, si sostiene (1) que las teorías son verosímiles y (2) que las entidades referidas por los términos teóricos típicos existen) y cuáles son las disciplinas de la filosofía que compromete (esto es, si es un realismo ontológico, semántico, epistemológico, etc.).

El argumento a favor del realismo sostiene, en líneas generales, que la hipótesis realista (esto es, una hipótesis que afirma (1) y (2)) (a) explica el hecho de que la ciencia es predictivamente exitosa; (b) explica satisfactoriamente este hecho; y (c) que no hay ninguna hipótesis no realista que explique mejor este hecho. En consecuencia, como señalamos en la sección anterior, este argumento se sustenta en una inferencia a la mejor explicación. En efecto, el argumento parte del supuesto de que el éxito de la ciencia es un hecho y de que este hecho tiene que ser explicado (seguimos, en general, las reconstrucciones de Leplin 1997 y 2004 y de Psillos 1999):

Sea *F* el hecho de que la ciencia es exitosa,

1) *F* necesita una explicación.

De esta manera, hay que aceptar el supuesto de que la ciencia es exitosa. No todos los filósofos aceptan este supuesto. Por ejemplo, los filósofos escépticos y los relativistas suspenden el juicio acerca del éxito de la ciencia porque, entre otras razones, sostienen “que hasta que la noción de éxito no se defina con cierto cuidado, el concepto es demasiado ambiguo para ser digno de una explicación; y porque, además, también sospechan que el término ‘éxito’ es más evaluativo que descriptivo, de manera que no debería desempeñar ningún papel en la epistemología” (Laudan 1984a, p. 141). Con todo, este supuesto es compartido por casi todos los filósofos realistas y antirrealistas. Asimismo, la mayoría de los filósofos que han argumentado a favor o en contra del realismo aceptan la premisa (1), esto es, aceptan que el hecho de que la ciencia sea exitosa necesita una explicación, pero discrepan con respecto a cuál es la explicación adecuada (los científicistas más dogmáticos, por ejemplo, sostienen que el éxito de la ciencia es un hecho tan evidente que no requiere ninguna explicación) (véase Laudan 1996).

Respecto de esta premisa, conviene realizar dos aclaraciones. En primer lugar, el realismo no concibe al éxito de la ciencia como cualquier tipo de éxito, sino como un tipo especial: el éxito *sistemático* de las predicciones novedosas, esto es, el hecho de que algunas teorías de las ciencias maduras (como la mecánica newtoniana, la teoría de la relatividad especial o la teoría cuántica, entre otras) implican consecuencias verdaderas cuya verdad se desconocía en el momento en el que la teoría se formuló; y el hecho de que esto no ocurre de una manera aislada ni arbitraria, sino que responde a ciertas características de la relación entre una teoría y la evidencia. Musgrave (1988, p. 234), por ejemplo, sostiene que los defensores de este argumento distinguen entre dos tipos de predicciones: las predicciones que refieren a evidencia conocida (según nuestra posición, esta práctica es una acomodación de la evidencia) y aquellas predicciones que refieren a evidencia desconocida (según nuestra posición, esta práctica es una predicción novedosa genuina) y que lo que, para aquellos filósofos, “necesita, verdaderamente, una explicación no es el éxito predictivo *simpliciter* [el éxito empírico en general, esto es, según nuestra posición, la acomodación de la evidencia conocida y las predicciones novedosas], sino el éxito predictivo novedoso” (énfasis del autor).

La segunda aclaración es que este realismo no se compromete con la tesis de que todas las teorías científicas son predictivamente exitosas, sino solamente aquellas teorías propias de las *ciencias maduras* que están mejor confirmadas. En definitiva, si adoptamos estas aclaraciones, el hecho *F* en el *explanandum* del argumento es el siguiente: “una teoría de una ‘ciencia madura’ *T* implica consecuencias observacionales verdaderas *E*, cuya verdad se desconocía en el momento en el que se formuló la teoría”.

La segunda premisa de este argumento a favor del realismo es la siguiente:

- 2) La hipótesis realista *R*: (a) explica *F*; (b) explica satisfactoriamente *F*; y (c) no hay ninguna hipótesis rival disponible que explique *F* mejor que *R*.

Como señalamos previamente, la hipótesis que defiende el realismo sostiene que las teorías propias de una ciencia madura, que son utilizadas en la contrastación exitosa de una predicción novedosa, son verosímiles o aproximadamente verdaderas. Por esta razón, la hipótesis realista *R* cumple (a), esto es, explica *F*. En efecto, si una teoría es aproximadamente verdadera, todas sus consecuencias observacionales, entre ellas, todas sus consecuencias observacionales cuya verdad se desconoce en el momento en el que se formula la teoría, esto es, las predicciones novedosas, son verosímiles. Además, como también señalamos, la hipótesis realista *R* también sostiene que los términos teóricos típicos de aquellas teorías de una ciencia madura refieren a

entidades que existen efectivamente. Según este realismo, no solo los términos observacionales de aquellas teorías refieren a entidades existentes, sino que, además, hay ciertos términos teóricos típicos que refieren a entidades existentes. Por esta razón, el éxito de las predicciones novedosas se explica porque los términos teóricos típicos, que componen los enunciados de las predicciones novedosas exitosas, refieren a entidades existentes.

En este sentido, la hipótesis realista *R* supone una teoría de la referencia (por ejemplo, como señalamos en la sección previa, la teoría causal y naturalista de la referencia) que sea compatible con un realismo semántico. Como señalamos, los términos teóricos típicos de las teorías de una ciencia madura refieren a entidades existentes porque, en líneas generales, lo que se dice acerca de esa entidad depende, o *está regulado*, por las propiedades *reales* de dicha entidad. Por estas razones, la hipótesis realista *R* también cumple (b), esto es, explica *satisfactoriamente F*. Ahora bien, con respecto a la tesis (c), esto es, que no hay ninguna hipótesis rival disponible que explique *F* mejor que *R*, el realismo sostiene que, efectivamente, esta condición también se cumple, puesto que las hipótesis que ofrecen las posiciones antirrealistas no son capaces de explicar satisfactoriamente por qué una teoría de una ciencia madura implica, de una manera sistemática, predicciones novedosas verdaderas.

La hipótesis que ofrece la posición positivista, por ejemplo, sostiene que los términos teóricos de aquellas teorías son abreviaturas, construcciones hipotéticas, dispositivos auxiliares, o bien, incluso, *formas de hablar*, que solamente ordenan las relaciones complejas que existen entre las entidades observables, de manera que, en última instancia, son reducibles o, por lo menos, traducibles, a sus correspondientes términos observacionales. En consecuencia, de acuerdo con las posiciones positivistas, en general, solo los términos observacionales de las teorías refieren a entidades existentes. Ahora bien, si las teorías no son aproximadamente verdaderas y si, fundamentalmente, los términos teóricos típicos de dichas teorías no refieren a ninguna entidad, entonces, ¿Por qué son predictivamente exitosas las teorías que contienen esos componentes teóricos? ¿Por qué tienen un significativo éxito predictivo aquellas teorías que contienen un término teórico típico como, por ejemplo, “electrón”? Para el realismo, el positivismo solo cuenta con explicaciones que recurren, en última instancia, a un *milagro*, o bien a coincidencias altamente improbables. Como señalamos en el capítulo anterior, conviene enfatizar el problema de la improbabilidad de que una teoría falsa implique, de manera sistemática, predicciones verdaderas. Un conjunto de enunciados falsos implica tanto enunciados falsos como verdaderos, de manera que, si deducimos algunas consecuencias de ese conjunto, podrían resultar, por mera coincidencia, todas verdaderas. El punto es que es

altamente improbable que, de manera sistemática y para un gran número de predicciones, todas resultasen verdaderas. Lo esperable, para grandes números, sería deducir predicciones verdaderas y falsas con una frecuencia más o menos igual. Esta situación se puede comparar con las tiradas de una moneda. En una secuencia larga de tiradas, no es imposible, pero sí muy improbable, que todas sean caras o que todas sean cecas.

Por su parte, la hipótesis que ofrecen las posiciones instrumentalistas, por ejemplo, sostiene que los enunciados de una teoría científica no tienen que evaluarse con respecto a su referencia, sino simplemente como medios eficaces para *salvar las apariencias*. De esta manera, según las posiciones instrumentalistas, los términos (independientemente de que sean términos teóricos u observacionales) de una teoría científica son herramientas simbólicas, esto es, son términos que no tienen interpretación, de manera que tampoco tienen función referencial. Según el realismo, la respuesta del instrumentalismo a la pregunta acerca del éxito predictivo de aquellas teorías que contienen términos teóricos típicos debería ser, incluso, más sorprendente que la del positivismo. Según Smart (1963, p. 39), las posiciones instrumentalistas que sostienen que los enunciados de las teorías que tienen términos teóricos típicos (por ejemplo, “electrón”) son solamente herramientas simbólicas útiles para extraer consecuencias observacionales (por ejemplo, los fenómenos que se producen en una cámara de niebla o en un galvanómetro, esto es, en aparatos que miden las propiedades que se les atribuyen a entidades teóricas típicas como el electrón) “deben creer en coincidencias cósmicas” cuando se verifican las predicciones novedosas que contienen especialmente esos términos teóricos. En suma, para el realismo, sería francamente sorprendente predecir un resultado experimental en un aparato de medición como una cámara de niebla, o un galvanómetro, si no creyésemos en la existencia de los electrones.

En conclusión, el realismo sostiene que también se cumple (c), esto es, que no hay ninguna hipótesis rival (ya sea la hipótesis ofrecida por el positivismo, por el instrumentalismo o por el antirrealismo epistémico de van Fraassen) que explique *F* mejor que *R*.

3) En consecuencia, hay razones para creer que la hipótesis realista *R* es verdadera.

El argumento a favor del realismo concluye que el éxito sistemático de las predicciones novedosas de una teoría ofrece una buena razón (sin embargo, una razón no concluyente) para creer en la verosimilitud de las teorías de una ciencia madura utilizadas en la contrastación exitosa de esas predicciones y en la existencia de las entidades referidas por los términos teóricos típicos de aquellas teorías. Con todo, el punto central de este argumento es que para

aceptar la conclusión (3) pareciera que, además, también debemos aceptar una premisa implícita, esto es, la conclusión del argumento supone la siguiente premisa implícita:

- 4) Si una hipótesis ofrece una explicación satisfactoria de un hecho y si, además, también proporciona la mejor explicación disponible de ese hecho, entonces *es razonable* creer en esa hipótesis.

Como señalamos previamente, la corrección de este argumento supone la aceptación de esta premisa implícita. Sin embargo, hay filósofos que no la aceptan. Como analizaremos con mayor detalle en las próximas secciones de este capítulo, algunas de las posiciones antirrealistas sostienen que, si aceptamos esta premisa, el argumento es circular. El realismo presupondría (esto es, la capacidad explicativa de una hipótesis es una buena razón para creer en ella) lo que, justamente, hay que explicar (esto es, que hay que creer en la hipótesis realista porque es la mejor explicación del éxito predictivo de una teoría). Para el antirrealismo, en líneas generales, la capacidad explicativa de una teoría no es una virtud epistémica, sino, solo una virtud pragmática, esto es, un tipo de virtud que no ofrece razones para creer en la verdad o la verosimilitud de la teoría.

6. 3 El antirrealismo epistémico de Bas van Fraassen

Van Fraassen (1980) presenta una posición antirrealista que combina algunas de las tesis de la tradición empirista clásica con algunas de la posición instrumentalista. En esta sección, evaluaremos el “empirismo constructivo” de van Fraassen, una clase de antirrealismo que no se compromete con un antirrealismo semántico, esto es, es una posición que sostiene, a diferencia del instrumentalismo, que los enunciados de las teorías tienen valor de verdad, sino con un antirrealismo epistémico según el cual no contamos con buenas razones (esto es, razones concluyentes) para creer en la existencia (ni en la inexistencia) de las entidades inobservables postuladas por una teoría. Según el empirismo constructivo, el objetivo de la ciencia no es la verdad, por lo que, en consecuencia, los enunciados de las teorías no deben evaluarse en función de la verdad, sino de su adecuación empírica. Este antirrealismo epistémico conserva el *dictum* instrumentalista acerca de *salvar los fenómenos*, ya que para van Fraassen (1980, Cap. 2), una teoría es empíricamente adecuada si todas sus *consecuencias observacionales* son verdaderas.

En consecuencia, van Fraassen sostiene que los términos observacionales de las teorías científicas empíricamente exitosas, y solo ellos, refieren a entidades existentes. Por ello, el éxito

sistemático de las predicciones novedosas de una teoría solo garantiza la creencia en la existencia de las entidades observables. La garantía, en cambio, no se extiende a la existencia de las entidades teóricas. Por esta razón, la hipótesis realista *R*, si bien podría ofrecer una buena razón para creer en la existencia de las entidades observables, no proporciona, como sostiene el realismo, una buena razón para creer en la existencia de las entidades teóricas postuladas por una teoría empíricamente exitosa. Con todo, van Fraassen no reprime el empleo de los términos teóricos ni, como señalamos, tampoco tiene razones concluyentes para negar la existencia de las entidades teóricas referidas por estos términos, sino que, simplemente, mantiene una posición *agnóstica* respecto de su existencia. Para van Fraassen no contamos con garantías epistémicas para creer en la existencia de las entidades inobservables postuladas por una teoría.

En lo que sigue, argumentaremos que las críticas de van Fraassen al argumento a favor del realismo no son adecuadas, debido a que, por una parte, creemos que esas críticas suponen una demarcación entre entidades observables e inobservables suficientemente cuestionable y que, por otra parte, y fundamentalmente, es una posición que no ofrece una hipótesis plausible acerca del éxito sistemático de las predicciones novedosas de las teorías que postulan entidades inobservables. Ante todo, el empirismo constructivo supone una demarcación entre entidades observables e inobservables que, al menos, desde los trabajos de Norwood Hanson (1958), Thomas Kuhn (1962) y Paul Feyerabend (1962), entre otros, acerca de la carga teórica de la observación, ha sido ampliamente cuestionada. Creemos que no hay un criterio epistémico claro y suficiente que permita una demarcación precisa entre entidades observables e inobservables, ya que son las propias teorías las que permiten determinar cuáles son los observables. En otras palabras, los fenómenos no nos son dados de manera preteórica.⁴⁷ Van Fraassen, en cambio, recurre a la demarcación entre entidades observables e inobservables, justamente, para distinguir los objetivos que, según él, tiene la ciencia.

Si disponemos de un criterio claro que demarque entre las entidades observables y las inobservables, podremos distinguir cuándo una teoría es empíricamente adecuada y cuándo es verdadera y, en consecuencia, podremos sostener, con van Fraassen, que el objetivo de la ciencia no es obtener teorías verdaderas, sino solo teorías empíricamente adecuadas. Si una teoría es empíricamente adecuada, todas sus consecuencias observacionales serán verdaderas, de manera que ello garantiza que todas sus entidades observacionales existen. En cambio, si una teoría es verdadera, todas sus consecuencias, no solo las observacionales, serán verdaderas, de manera que ello implica aceptar que todas las entidades inobservables postuladas por dicha

⁴⁷ Para mayores detalles véase, además, Maxwell 1962.

teoría existen *realmente*. Por estas razones, van Fraassen puede sostener que solo la creencia en la existencia de las entidades observables está epistémicamente garantizada. En cambio, si no tenemos razones suficientes para sostener la demarcación entre las entidades observables y las inobservables, entonces, las objeciones de van Fraassen a este argumento a favor del realismo se debilitan significativamente.

La explicación que ofrece el empirismo constructivo acerca del éxito sistemático de las predicciones novedosas de una teoría es que, si una teoría es empíricamente adecuada y realiza ciertas predicciones novedosas, esas predicciones tienen que ser verdaderas. Sin embargo, esto no explica el éxito de las predicciones que refieren a entidades inobservables. El problema de la explicación del antirrealismo epistémico es exclusivamente de alcance: la garantía epistémica no se extiende más allá de las entidades observables, por lo que el juicio acerca de lo inobservable debe suspenderse. Por estas razones, los realistas consideran que el antirrealismo epistémico de van Fraassen tampoco ofrece una hipótesis rival de la del realismo que explique mejor el éxito sistemático de las predicciones novedosas de una teoría. En conclusión, el realismo afirma que su hipótesis también cumple (c), esto es, que no hay ninguna hipótesis rival disponible que explique mejor el hecho *F* que la hipótesis *R*. Según la perspectiva realista, “el *ateísmo* positivista acerca de las teorías y sus entidades teóricas hace del éxito predictivo de una teoría un misterio; y también lo hace el *agnosticismo* recomendado por el antirrealismo epistemológico” (Musgrave 1988, p. 244, énfasis del autor).

6. 4 Tres estrategias antirrealistas en contra del argumento a favor del realismo

Todas las posiciones antirrealistas sostienen que el éxito sistemático de las predicciones novedosas de una teoría no ofrece una garantía epistémica de la creencia en la existencia de las entidades inobservables postuladas por esa teoría, puesto que defienden como principio filosófico (en especial, los antirrealismos de la tradición empirista) que ninguna razón puede extender esa garantía más allá de las entidades observables. En esta sección, presentaremos, en sus aspectos estructurales, las tres estrategias antirrealistas más usuales, en contra del argumento a favor del realismo basado en la inferencia a la mejor explicación (véanse Kukla 1998, Cap. 2 y Kukla y Walmsley 2004).

La primera estrategia general en contra de esta inferencia a la mejor explicación consiste en sostener, justamente, que la hipótesis que ofrece el realismo no es una explicación satisfactoria del éxito sistemático de las predicciones novedosas de una teoría. En la sección siguiente,

evaluaremos uno de los argumentos más fuertes que sigue esta estrategia, que consiste en una reducción al absurdo de la hipótesis que ofrece el realismo mediante la llamada “metainducción pesimista sobre la historia de la ciencia”. Por medio de esta metainducción pesimista, el antirrealismo infiere que es probable (puesto que la inferencia no es deductiva) que las entidades teóricas referidas por los términos teóricos de las teorías exitosas actuales no existan. De esta manera, el antirrealismo desconecta la relación entre el éxito predictivo de la teoría y la referencia de sus términos teóricos. La segunda de las estrategias generales consiste en sostener que, aun si la hipótesis que ofrece el realismo es una explicación satisfactoria del éxito de una teoría, no es *la mejor explicación*, esto es, hay hipótesis que ofrece el antirrealismo que son mejores o, al menos, igualmente buenas.

En la sección 7, presentaremos, sucintamente, algunas de las hipótesis rivales más usuales que han ofrecido las principales posiciones antirrealistas, ya que consideramos que un análisis más detallado de estas hipótesis y de su relación con el realismo se aleja de nuestros objetivos centrales. Por esta razón, solamente presentaremos las siguientes posiciones: (a) la hipótesis de Laudan (1984a), según la cual el éxito predictivo de las teorías se explica por su capacidad para resolver problemas empíricos, (b) la hipótesis *evolucionista* de van Fraassen (1980), según la cual el éxito de determinadas teorías se explica porque esas son las teorías que sobreviven en una especie de competencia *darwiniana* y (c) el análisis de la hipótesis *surrealista* de Leplin (1987), la cual, según su perspectiva, colapsa en el realismo.

Por último, la tercera de las estrategias antirrealistas consiste en sostener que, incluso si la hipótesis que ofrece el realismo es la única y la mejor explicación del éxito predictivo de una teoría, la inferencia debe rechazarse porque supone una circularidad. En la sección 8, evaluaremos con mayor detalle este argumento que ya hemos adelantado. En efecto, como señalamos, la conclusión de que la hipótesis que proporciona el realismo es la mejor explicación solo se sigue si aceptamos que las virtudes explicativas de una hipótesis ofrecen una buena razón para creer en esas hipótesis, una tesis que muchos filósofos antirrealistas han rechazado.

6.5 La metainducción pesimista sobre la historia de la ciencia

Como señalamos en la sección previa, uno de los argumentos antirrealistas más fuertes que sigue la primera estrategia general, esto es, la que cuestiona que la hipótesis que ofrece el realismo sea una explicación satisfactoria del éxito sistemático de las predicciones novedosas de una teoría, consiste en una reducción al absurdo de la inferencia a la mejor explicación que

defiende el realismo por medio de lo que en la bibliografía se conoce como “metainducción pesimista sobre la historia de la ciencia”. La metainducción pesimista parte del supuesto de que la hipótesis que ofrece el realismo es una hipótesis empírica, de manera que, si encontramos casos desfavorables, la hipótesis podría refutarse o, al menos, debilitarse significativamente.

El argumento sostiene, en líneas generales, que la historia de la ciencia proporciona, en diferentes periodos, una gran cantidad de teorías que fueron consideradas empíricamente exitosas y que, sin embargo, fueron abandonadas y actualmente se considera que sus términos teóricos típicos no tienen referencia. En consecuencia, mediante una simple metainducción sobre la historia de las teorías científicas, el antirrealismo infiere que es probable (ya que, como señalaremos, esta inferencia no es deductiva) que los términos teóricos de las teorías empíricamente exitosas actuales no refieran a ninguna entidad inobservable (o bien, que es más probable que no refieran a entidades existentes). En efecto, esta metainducción pesimista supone que no hay una continuidad de las entidades teóricas en la historia de la ciencia. Reconstruiremos el argumento en contra del realismo como sigue (véanse Laudan 1981, pp. 32-33; 1984a, pp. 91-92 y 1984b, p. 121):

- 1) Los términos teóricos de las teorías *empíricamente* exitosas *actuales* refieren a entidades inobservables existentes.

Como ya señalamos, el argumento intenta mostrar que, si partimos de la hipótesis que ofrece el realismo, entonces llegaremos a un absurdo. El objetivo central del argumento es mostrar que no hay ningún tipo de relación explicativa entre el éxito empírico de una teoría y la referencia de sus términos teóricos. En efecto, esta es la clave del argumento: si el antirrealismo logra mostrar que, según los parámetros actuales, las teorías abandonadas fueron exitosas y hoy consideramos que sus términos teóricos no refieren a ninguna entidad efectivamente existente, entonces, desconecta cualquier relación entre el éxito empírico de la teoría y la referencia de sus términos teóricos. Si el antirrealismo consigue esta desconexión, entonces, “la afirmación de que el realismo científico es la mejor explicación del éxito de la ciencia parece insostenible” (Sankey 2001, p. 45). Ahora sí, el supuesto del argumento de los antirrealistas es el siguiente:

- 2) Si los términos teóricos de las teorías empíricamente exitosas actuales refieren, entonces, los términos teóricos de las teorías abandonadas no pueden haberlo hecho.

Como señalamos, este argumento en contra del realismo supone que no hay una continuidad en la historia de la ciencia de las entidades teóricas. Para el antirrealismo, los términos teóricos de las teorías abandonadas no pudieron haber referido a ninguna entidad existente porque esas entidades no se conservan en las teorías empíricamente exitosas actuales, en otras palabras, porque no forman parte del lenguaje teórico de la ciencia contemporánea.

3) Sin embargo, esas teorías abandonadas fueron, en su momento, empíricamente exitosas.

En este punto se concentra la llamada “estrategia histórica” de Laudan. En efecto, Laudan (1981, p. 20) tiene que ofrecer “evidencia histórica” de sus dos tesis, esto es, tiene que mostrar que las teorías pasadas (es decir, las teorías científicas que, en la actualidad, se han abandonado, ya sea porque han sido refutadas, porque tenemos teorías rivales mejor confirmadas, con mayor capacidad de explicación, etc.) eran, en su momento, empíricamente exitosas; y si, en efecto, la mayoría de los términos teóricos de esas teorías, en especial, los términos teóricos típicos, no se conservan en las teorías exitosas actuales. Como señalamos, si Laudan puede probar esas dos tesis, entonces, el realismo ya no puede explicar el éxito empírico de una teoría en función de la referencia de sus términos teóricos centrales, esto es, en función de una especie de regulación establecida por las propiedades reales de ciertas entidades teóricas existentes.

Laudan (1981, p. 33) sostiene que “la historia de la ciencia nos ofrece una plétora de teorías que fueron, hasta donde podemos juzgar, exitosas y no referenciales con respecto a muchos de sus conceptos explicativos centrales”. Entre ellas, Laudan menciona, por ejemplo, a dos teorías que, en su momento e históricamente, son consideradas como el paradigma de teorías exitosas y mejor confirmadas por la evidencia disponible: la teoría del éter electromagnético y la teoría química del flogisto. Con todo, Laudan (1981, p. 33) afirma que “esta lista podría extenderse *ad nauseam*”. En efecto, ambas teorías pertenecieron a lo que los defensores del realismo llaman una “ciencia madura”, en especial, la teoría del éter electromagnético que fue una de las teorías físicas más dominantes en la ciencia del siglo XIX. Por ejemplo, Putnam (1978, p. 21), defensor, en esos tiempos, del realismo, sostiene que “la física cuenta, si alguna ciencia lo hace, como una ciencia madura”.

Por otra parte, la teoría del flogisto, si bien se desarrolla en una etapa histórica en la cual la química aún no se establecía sólidamente como una ciencia madura, fue la teoría más exitosa en ese ámbito del conocimiento. En consecuencia, ambas teorías fueron, si consideramos los parámetros actuales, significativamente exitosas y, sin embargo, ninguna de las teorías físicas ni químicas actuales (esto es, ni las teorías más exitosas ni sus teorías rivales) contienen entre sus

términos teóricos centrales a términos como “éter” y “flogisto”. En otras palabras, las teorías físicas y químicas actuales no intentan referirse a ninguna entidad como el éter y el flogisto. Como señalaremos en la próxima sección, la respuesta más inmediata de los realistas es que, justamente, la evaluación del éxito empírico de una teoría científica depende de los recursos experimentales y de los criterios metodológicos de cada etapa histórica (véase McAllister 1993).

Asimismo, con el objetivo de desconectar completamente la relación entre la referencia de los términos teóricos de una teoría y la explicación de su éxito empírico, Laudan (1981) también ofrece evidencia histórica de teorías científicas que, en su momento, no fueron empíricamente exitosas y que, sin embargo, la comunidad científica, actualmente, considera que sus términos teóricos centrales refieren a entidades existentes. Entre estas teorías, Laudan (1981) menciona, por ejemplo, a la teoría atómica de William Prout y a la teoría de la deriva continental de Alfred Wegener. En efecto, ambas teorías, que pertenecieron a ciencias maduras (a la fisicoquímica y a la geología, respectivamente), fueron, en su época y de acuerdo con los parámetros actuales, teorías empíricamente fallidas, que enfrentaron una gran cantidad de evidencia refutatoria. Sin embargo, pese a que fueron teorías empíricamente fallidas, las dos teorías contenían términos teóricos centrales, por ejemplo, “hidrógeno” y “masas continentales”, que pretendían referirse a entidades teóricas que hoy se conservan, respectivamente, en las teorías fisicoquímicas y geológicas actuales más exitosas.

Por todas estas razones, el antirrealismo concluye que, si partimos de la hipótesis que ofrece el realismo, llegamos al absurdo de tener que aceptar que los términos teóricos centrales de las teorías empíricamente exitosas que ya han sido abandonadas refieren y no refieren a entidades existentes. En efecto, por una parte, estas teorías deberían referir, porque, según los parámetros actuales, son teorías que, en su momento, fueron empíricamente exitosas (y, por (1), las teorías empíricamente exitosas deberían referir). Sin embargo, por otra parte, estas teorías no refieren, debido a que aquellos términos no se conservan en las teorías empíricamente exitosas actuales, de manera que se acepta que no hay ninguna entidad existente referida por ellos. En conclusión, el argumento en contra del realismo infiere que es probable que los términos teóricos centrales de las teorías empíricamente exitosas actuales no refieran a entidades teóricas o inobservables existentes (o bien, que es más probable que no refieran a que refieran) porque, como muestra la historia de la ciencia, es muy probable que las teorías empíricamente exitosas de la ciencia actual sean, en el futuro, abandonadas y que la referencia de sus términos teóricos no se conserve en las teorías futuras empíricamente exitosas.

6. 6 La contraofensiva realista contra la metainducción pesimista

El argumento que ofrece el antirrealismo sustentado en la metainducción pesimista sobre la historia de la ciencia también ha sido, desde su formulación, ampliamente cuestionado. En esta sección, evaluaremos solo dos contraofensivas que emprendió el realismo (véase Psillos 1999) en contra de este argumento. La primera de estas contraofensivas generales consiste en mostrar que, a diferencia de lo que sostiene el antirrealismo, no ha habido una discontinuidad tan radical ni tan extendida de los términos teóricos centrales de las teorías científicas en la historia de las ciencias maduras, esto es, la historia de las ciencias maduras no muestra que haya habido un descarte tan radical de entidades inobservables. Para el realismo, por el contrario, la historia de estas ciencias muestra que se ha conformado una red suficientemente estable, con cada vez más apoyo empírico, de enunciados teóricos que nos ofrecen la mejor aproximación, esto es, la mejor descripción posible, de cómo es el mundo.

En definitiva, el realismo sostiene que el lenguaje teórico fundamental de la ciencia madura contemporánea se desarrolló de manera más o menos continua, sin que se produjeran cambios radicales. La segunda de las contraofensivas generales del realismo, estrechamente relacionada con la anterior, consiste en mostrar que los términos teóricos *legítimamente fundamentales* de las teorías empíricamente exitosas del pasado que se han abandonado son referenciales, en su momento y en la actualidad, esto es, son términos teóricos centrales que refieren a entidades teóricas que pertenecen a la ontología de las ciencias maduras actuales. En esta sección, no realizaremos un análisis exhaustivo de esos argumentos, sino que solo evaluaremos sus aspectos generales, debido a que el objetivo de esta sección es mostrar los problemas epistemológicos principales de la metainducción pesimista.

La primera objeción del realismo consiste en rechazar la tercera premisa del argumento, ya que, si rechazamos esta premisa, bloqueamos la consecuencia absurda a la que nos conduce el argumento de Laudan. La estrategia consiste en reducir la base metainductiva de la inferencia, cuestionando que las teorías que se señalan como casos desfavorables de la hipótesis que ofrece el realismo hayan sido, de hecho, en su momento, empíricamente exitosas y/o que hayan sido teorías de una ciencia que ya había alcanzado el estado de una ciencia madura. Como señalamos en la sección anterior, el argumento de Laudan tiene la siguiente forma general. Todas las teorías T_1, T_2, \dots, T_n , de las más diversas disciplinas de las ciencias maduras que han sido abandonadas fueron, en su momento, empíricamente exitosas y, sin embargo, en la actualidad, se considera que sus términos teóricos centrales no refieren a ninguna entidad existente, de manera que, en

consecuencia, es probable que cualquier teoría empíricamente exitosa T_{n+1} que aún no se haya abandonado contenga términos teóricos centrales que no refieran a ninguna entidad existente, ya que, es muy probable que dicha teoría sea abandonada en el futuro.

Devitt (1991) y McMullin (1984), por ejemplo, sostienen que la base metainductiva del argumento, esto es, las teorías T_1, T_2, \dots, T_n que menciona Laudan, no es representativa ni lo suficientemente amplia como para garantizar la conclusión pesimista. Psillos (1999, p. 100), por su parte, sostiene que esta base metainductiva “puede erosionarse si cuestionamos [(a)] que todas las teorías enumeradas fueron empíricamente exitosas y [(b)] que todas fueran representativas de sus disciplinas en un estado de desarrollo lo suficientemente avanzado para que sean consideradas teóricamente maduras”. Así, según Psillos (1999), podemos cuestionar adecuadamente (a) si rechazamos el criterio de éxito que emplea Laudan, esto es, el éxito empírico en general, y lo reemplazamos por el criterio de éxito sistemático de las predicciones novedosas. Si adoptamos ese criterio más estricto ya no resulta evidente que las teorías que menciona Laudan sean exitosas, o bien, al menos, esta lista de teorías se reduce de una manera tan significativa que afecta la fuerza inductiva del argumento.

Por otra parte, para Psillos (1999), también podemos cuestionar razonablemente (b), ya que, tal como adelantamos en la sección anterior respecto de la teoría del flogisto, no es claro que todas las teorías científicas que menciona Laudan sean representativas de una ciencia madura, al contrario, la mayoría de esas teorías no había pasado el *punto de despegue (take-off point)* en una disciplina específica. El punto de despegue puede caracterizarse, en sus aspectos centrales, como aquel momento en el que una disciplina científica alcanza un conjunto estable y sólido de creencias compartidas que son consensuadas y aceptadas por la comunidad de los científicos que se dedican a ella. En este sentido, ese conjunto de creencias aceptadas no solo es parte de las teorías vigentes más exitosas, sino también de las teorías rivales, por lo que este conjunto delimita un dominio de investigación y, en consecuencia, restringe las teorías y las hipótesis admisibles, ofreciéndole a la disciplina una identidad estrictamente reconocible.⁴⁸

Una segunda objeción del realismo consiste en rechazar la segunda premisa del argumento, esto es, que todos los términos teóricos, en especial, los centrales, de las teorías pasadas que han sido abandonadas no se consideran referenciales en la actualidad. Según Psillos (1999), esta es la premisa fundamental del argumento, ya que, sin ella, la conclusión pesimista no se sigue. La estrategia del realismo, que Psillos (1999) llama “divide y vencerás” (*divide et impera move*),

⁴⁸ Para un análisis con mayor detalle del concepto de teoría madura y de *punto de despegue (take-off point)*, véase Boyd 1980.

consiste, justamente, en sostener que los términos teóricos de una teoría abandonada no deben rechazarse *en bloque*. En efecto, debemos *dividir* a los términos teóricos de una teoría entre aquellos términos que son incompatibles con las teorías vigentes y los términos que, por el contrario, han sido conservados como elementos fundamentales de las teorías posteriores. Para el realismo, solo los primeros términos teóricos deben rechazarse. El punto fundamental de esta réplica es que sugiere que los términos teóricos centrales de las teorías abandonadas que se conservaron en las teorías posteriores fueron, convenientemente, los responsables del éxito predictivo que, en su momento, tuvieron las teorías abandonadas que los contenían y, además, también sugiere que es muy probable que dichos términos también sean los responsables del éxito predictivo de las teorías actuales. Además, también podría sostenerse una “metainducción optimista”, como corolario de este argumento, esto es, podría argumentarse que es probable que esos términos se conserven en las teorías futuras que reemplacen a las actuales. De esta manera, también se explicaría por qué dichas teorías tienen un éxito sistemático en sus predicciones novedosas. En definitiva, para el realismo, estas réplicas pueden volver a reconectar la relación entre la referencia de los términos teóricos centrales de una teoría y la explicación del éxito sistemático de sus predicciones novedosas.

6.7 Las hipótesis antirrealistas son una mejor explicación del éxito predictivo

En la sección 4, señalamos que una de las estrategias antirrealistas generales más usuales en contra del argumento que ofrece el realismo es sostener que, aun si consideramos que la hipótesis realista explica satisfactoriamente el hecho de que una teoría sea predictivamente exitosa, esto no implica creer en ella, ya que pueden existir otras hipótesis rivales antirrealistas que expliquen ese hecho mejor o, al menos, igualmente bien (véanse Kukla 1998, Cap. 2 y Kukla y Walmsley 2004). Aquí no analizaremos con detalle esta estrategia antirrealista, ya que creemos que la cuestión del antirrealismo, en sus diferentes variedades, es un tema que se aleja significativamente de nuestros objetivos. En efecto, esta estrategia supone que existen hipótesis antirrealistas rivales a la que ofrece el realismo que explican igualmente bien el éxito predictivo de una teoría, de manera que analizar en profundidad cada una de estas alternativas no afecta la estructura general de esta estrategia en contra del realismo: simplemente alcanza con saber que hay hipótesis rivales a la que ofrece el realismo que son igualmente plausibles.

Por estas razones, en esta sección, solo presentaremos, de manera sucinta, tres de estas hipótesis antirrealistas rivales a la que ofrece el realismo. La primera de ellas es la hipótesis que

proporciona Laudan. Para Laudan (1984a, p. 156), “las teorías son predictivamente exitosas porque son el resultado de un *proceso de selección (winnowing process)*, el cual, posiblemente, sea más robusto y discriminativo que cualquiera de las otras técnicas que hemos desarrollado para comprobar nuestras conjeturas empíricas acerca del mundo físico”. Según Laudan, si analizamos las teorías caso por caso, podemos indicar, en general, por qué este procedimiento tiene más probabilidades de producir resultados más confiables que cualquier otro método. Con todo, este procedimiento no produce teorías verdaderas (claramente, ya que es una hipótesis antirrealista), sino teorías que son más confiables que las teorías que son el producto de otros métodos de “formación de creencias”. En suma, debido a que podemos explicar con detalle por qué este procedimiento funciona mejor que sus rivales existentes, podemos explicar el éxito predictivo de una teoría sin hacer de él, “el misterio que algunos filósofos y sociólogos han hecho que sea” (Laudan 1984a, p. 157).

La segunda hipótesis antirrealista que consideraremos es la hipótesis *evolucionista* que ofrece van Fraassen (1980, Cap. 2). Para esta hipótesis, el éxito sistemático de las predicciones novedosas de una teoría se explica porque la teoría sobrevivió en una especie de competencia *darwiniana* entre teorías rivales. En efecto, según van Fraassen (1980, p. 39), “la ciencia es un fenómeno biológico, una actividad de una clase de organismo que facilita su interacción con el medioambiente”, de manera que la explicación *científica* del éxito predictivo de una teoría debe concordar con este hecho. Para van Fraassen (1980, p. 40), el problema tiene que abordarse desde otra perspectiva, esto es, no debemos preguntarnos por qué, o en función de qué, una teoría es exitosa, sino por qué *existen* teorías exitosas; y este hecho, para un científico darwiniano, no es ningún milagro, ya que “todas las teorías nacen en una vida de feroz competencia [...] en la que solo sobreviven aquellas teorías que son exitosas, esto es, las que, de hecho, se aferraron a las regularidades de la naturaleza”. En otras palabras, las teorías que son empíricamente adecuadas.

La tercera de las hipótesis antirrealistas que mencionaremos es la hipótesis *surrealista* formulada por Leplin (1987), la cual sostiene que todas las hipótesis que intentan explicar el éxito de la ciencia, incluso la que ofrece el realismo, adoptan compromisos metafísicos. Desde este punto de vista, la mejor explicación es la que ofrece la menor cantidad de estos compromisos y eso, justamente, es lo que, según sus defensores, ofrece la hipótesis surrealista. En efecto, esta hipótesis apela al operador “como si”, por lo que, “en vez de suponer que las teorías son aproximadamente verdaderas o que existen las entidades a las que supuestamente se refieren, solo tenemos que suponer que el mundo se comporta *como si* ese fuera el caso”

(Leplin 1987, p. 520, énfasis del autor). En otras palabras, debemos suponer, como un principio epistémicamente irreductible acerca del mundo, que el ámbito de lo observable (el de los fenómenos) sucede tal como sucede si consideramos que “la estructura profunda” del mundo esta descripta por las teorías. De esta manera, el surrealismo no se compromete con la estructura profunda del mundo, es decir, supone que el mundo tiene una estructura profunda, pero se “niega a representarla” (Leplin 1987, p. 520). La verdad corresponde solo al ámbito de lo observable, de lo fenoménico.

Con todo, para Leplin (1987), la hipótesis surrealista colapsa en el realismo. En efecto, el problema del surrealismo es que implica todas las consecuencias de las teorías, pero no a las teorías en sí mismas. Ahora bien, ¿Es lógicamente posible excluir a las teorías, en sí mismas, de todas sus consecuencias? ¿Podemos comprometernos, de una manera consistente, con todo lo que una teoría implica, además de sus consecuencias observacionales, sin comprometernos con ella? El propio Leplin (1987, p. 522) admite que “el surrealismo está en peligro de colapsar en una reafirmación de su *explanandum* o en el realismo al que, supuestamente, se opone”. En efecto, si creemos que el surrealismo explica el éxito de una teoría, lo hacemos porque creemos que el ámbito de lo observable (por ejemplo, la verificación de una predicción), se comporta *como si* la teoría fuese verdadera. Ahora bien, para aceptar este supuesto, debemos, además, suponer que la verdad de la teoría se manifiesta en el ámbito de lo observable, de manera que, en última instancia, estamos presuponiendo la explicación del éxito predictivo de una teoría que ofrece el realismo en lugar de ofrecer una alternativa rival antirrealista más débil.

6. 8 La circularidad de la inferencia a la mejor explicación

En la sección 4, también señalamos que una de las estrategias antirrealistas generales más fuertes en contra de este argumento a favor del realismo consiste en sostener que, incluso si la hipótesis que ofrece el realismo es una explicación satisfactoria del éxito sistemático de las predicciones novedosas de una teoría, si, además, incluso es la única y la mejor explicación disponible de ese hecho, el argumento debe rechazarse, ya que la inferencia a la mejor explicación, como clase de argumento en general, presupone alguna forma de circularidad. En esta sección, evaluaremos con mayor detalle esta estrategia antirrealista, ya que creemos que, a diferencia de la estrategia que evaluamos en la sección anterior, afecta significativamente la estructura y la fuerza intuitiva de este argumento a favor del realismo y, en general, a todos los argumentos que se sustenten en una inferencia a la mejor explicación.

En la sección 2, señalamos que la conclusión a favor del realismo (esto es, que las teorías predictivamente exitosas son aproximadamente verdaderas y que los términos teóricos típicos de esas teorías refieren a entidades inobservables existentes) solo se sigue si aceptamos una premisa implícita (esto es, la premisa (4)) que se oculta en el argumento, según la cual si una hipótesis explica satisfactoriamente un hecho y si, además, es la mejor explicación disponible de ese hecho, entonces *es razonable* creer en ella. En otras palabras, el argumento presupone, como criterio de razonabilidad, que las virtudes explicativas de una teoría son una buena razón para creer en ellas. Ahora bien, esta relación es, justamente, lo que está en el centro del debate entre el realismo y el antirrealismo. Como señalan Kukla y Walmsley (2004, p. 146), "esta es una premisa que los antirrealistas no necesitan aceptar y que, de hecho, generalmente no aceptan".

Para el antirrealismo, en general, el hecho de que una hipótesis explique satisfactoriamente un fenómeno y que, además, sea la mejor, e incluso, la única, explicación disponible de ese fenómeno no implica que debamos creer en ella. En este sentido, el antirrealismo desconecta la relación, que supone el realismo, entre la capacidad explicativa de una teoría y la credibilidad. Van Fraassen (1980, Cap. 5), por ejemplo, distingue entre las virtudes pragmáticas de una teoría, entre ellas, su capacidad explicativa, y las virtudes epistémicas, esto es, la adecuación empírica de la teoría (es decir, que la teoría implique consecuencias observacionales verdaderas); y sostiene que, si bien ambas virtudes son deseables, solo las virtudes epistémicas influyen en la credibilidad de una teoría. Como ya hemos señalado, para el empirismo constructivo de van Fraassen, el objetivo *fundamental* de las teorías científicas es la adecuación empírica, esto es, una teoría sobrevive en la lucha por la existencia, si todas sus consecuencias observacionales contrastadas en un momento dado son verdaderas.⁴⁹

En este sentido, las virtudes pragmáticas, entre ellas, la capacidad explicativa de la teoría, no desempeñan ningún papel a la hora de implicar este tipo de consecuencias. En efecto, "las virtudes pragmáticas de una teoría se relacionan, específicamente, con preocupaciones que tenemos los humanos" (por ejemplo, dar una explicación de un fenómeno), pero no "conciernen a la relación de la teoría con el mundo" (van Fraassen 1980, p. 57). En suma, para van Fraassen (1980, p. 87), "estas virtudes ofrecen razones para utilizar una teoría, o para contemplarla, en lugar de otra, independientemente de que sea verdadera o falsa, pero no pueden guiar, de manera racional, nuestras actitudes y decisiones epistémicas". Por ejemplo, si nuestro interés como humanos es la explicación de un determinado fenómeno, esta preocupación especial no

⁴⁹ La noción de teoría de van Fraassen no es enunciativa, sino semanticista. No obstante, en virtud de la argumentación, se puede traducir de una a la otra.

constituye una razón para pensar que una teoría que explica ese fenómeno tiene más probabilidades de ser verdadera: solamente constituye una razón para *preferir* esa teoría relativamente a esa preocupación específica.

Como hemos señalado, la objeción de circularidad no es una crítica solamente dirigida a este argumento a favor del realismo, sino que es una objeción general que alcanza a todos los argumentos que se sustentan en una inferencia a la mejor explicación. En efecto, la crítica no cuestiona las premisas del argumento, esto es, las premisas podrían ser todas verdaderas y, sin embargo, la conclusión a favor del realismo no se sigue si no aceptamos la premisa oculta. En conclusión, el argumento a favor del realismo es circular porque presupone (esto es, que la capacidad de una teoría para explicar un fenómeno satisfactoriamente, para explicarlo mejor que otras teorías e, incluso, el hecho de que sea la única explicación disponible de ese fenómeno, ofrece una buena razón para creer en ella) lo que hay que justificar (esto es, que las teorías que se utilizan para confirmar una predicción novedosa son verosímiles y que los términos teóricos típicos de esas teorías refieren a entidades inobservables existentes porque ofrecen la mejor e, incluso, la única explicación disponible del éxito predictivo de esa teoría).

Por último, conviene realizar una aclaración respecto de esta objeción. Boyd (1983), afirma que esta objeción es infundada porque, de hecho, el antirrealismo también emplea este tipo de inferencias a la mejor explicación (o, al menos, argumentos abductivos) en sus argumentaciones. Ahora bien, para Kukla y Walmsley (2004, p. 147), la respuesta de Boyd se ubica dentro de “un patrón recurrente de argumentos realistas diseñados para mostrar una inconsistencia interna en la posición antirrealista”. En efecto, la réplica sostiene que la posición antirrealista es inconsistente porque se niega a concederle valor epistémico a las virtudes pragmáticas cuando se trata de enunciados teóricos, pero considera que tienen un valor epistémico cuando se trata de enunciados observacionales. Ahora bien, en esta consideración epistémica no existe ninguna inconsistencia lógica: concederle algún valor epistémico a las virtudes pragmáticas cuando se trata de hipótesis observacionales no nos compromete lógicamente con la aplicación de los mismos principios a hipótesis teóricas. Por estas razones, si el antirrealismo quisiera bloquear esta réplica de Boyd, solo necesita restringir el uso de la inferencia a la mejor explicación a hipótesis observacionales. De esta manera, el argumento es circular solamente si se trata de hipótesis no empíricas, como, por ejemplo, la hipótesis que ofrece el realismo.

En efecto, pese a que la inferencia a la mejor explicación a favor del realismo (o, en general, este tipo de argumento abductivo) se apoya en algunas premisas que pueden considerarse hipótesis de carácter empírico (por ejemplo, hipótesis que recurren a casos de la historia de la

ciencia), su conclusión no es una hipótesis empírica, sino metateórica: es una tesis acerca de las teorías científicas, esto es, afirma que las teorías científicas son verosímiles, una afirmación cuya verdad no depende de cuestiones fácticas, sino de razones epistemológicas. Así, la controversia entre el realismo y el antirrealismo científicos, incluso si se limita al argumento abductivo, está lejos de haber concluido. Los argumentos que ofrecen ambas posiciones no son demostrativos, sino inductivos en un sentido amplio, por lo que no es probable que haya una conclusión definitiva para ese debate. Cada posición opone un contraargumento inductivo, en principio, igualmente plausible, a cada argumento, de manera que no pareciera probable que haya un final para esa dialéctica argumentativa. Por otra parte, no es esperable que se encuentre un argumento demostrativo a favor de cualquiera de las posiciones, debido a que ese argumento inevitablemente tendría que basarse en premisas de carácter metateórico que deberían aceptarse sin prueba y que, sin embargo, pueden cuestionarse lícitamente ofreciendo otras razones. Además, tampoco parece que los argumentos a favor del realismo y a favor del antirrealismo sean internamente inconsistentes, de manera que fuera posible rechazarlos por razones puramente lógicas.

6. 9 Un argumento bayesiano a favor del realismo

En la sección 6 del capítulo 5, sostuvimos que la teoría bayesiana de la confirmación y la inferencia a la mejor explicación se encuentran en una especie de tensión, esto es, que, si adoptamos la teoría bayesiana, entonces si inferimos de acuerdo con la mejor explicación, actuaremos de una manera probabilísticamente incoherente; o bien, si adoptamos la teoría bayesiana, entonces, la adopción de una regla sustentada en una inferencia a la mejor explicación es evidencialmente irrelevante, es decir, no influye en el cambio de la función de probabilidad de los agentes. En esta sección, evaluaremos una defensa bayesiana de un realismo moderado que, a diferencia del argumento que se sustenta en la inferencia a la mejor explicación, no recurre a las virtudes pragmáticas de las teorías, por ejemplo, a la capacidad explicativa de una hipótesis, sino a las virtudes estrictamente epistémicas que, según la teoría bayesiana, están expresadas, de manera exclusiva, en las probabilidades previas de la teoría y en las *likelihoods*.

Howson (2000, p. 199) afirma que la intuición de los realistas, esto es, que si contamos con razones empíricas para sostener que una teoría (la cual, claramente, contiene afirmaciones estrictamente teóricas que trascienden el dominio de lo observable), es empíricamente

adecuada, entonces esas mismas razones deberían apoyar, en alguna medida, las afirmaciones realistas realizadas por la teoría, “es una consecuencia casi trivial del modelo bayesiano”. En efecto, el bayesianismo sostiene que es una consecuencia de su esquema de la confirmación que, si se verifica una predicción novedosa de una teoría, este hecho confirma la hipótesis que ofrece el realismo en mayor medida que la hipótesis que ofrece el antirrealismo. En este sentido, el bayesianismo sostiene que el éxito predictivo de una teoría hace, por una parte, más probable que la hipótesis realista sea verdadera a que no lo sea; y, por otra parte, más probable que la hipótesis realista sea verdadera a que lo sea la hipótesis antirrealista.

Podemos reconstruir el argumento como sigue (seguimos, en sus aspectos fundamentales, la formulación de Dorling 1992 y la interpretación de Howson 2000 y de Nola 2002). Ante todo, tenemos que realizar una serie de distinciones terminológicas y teóricas y señalar las relaciones lógicas y probabilísticas que existen entre ellas. Sea T una teoría empírica general, T_R es una interpretación realista de esa teoría, T_P es el conjunto de todas sus consecuencias observacionales, R expresa los compromisos ontológicos fundamentales del realismo y, por último, P expresa el rechazo de R , es decir, representa la posición antirrealista. A su vez, T_P también puede concebirse como una interpretación antirrealista de la teoría, ya que expresa, exclusivamente, la adecuación empírica de esa teoría. Sin embargo, T_P y P no son lógicamente equivalentes. En efecto, los defensores de T_R y los antirrealistas están de acuerdo con respecto a T_P , esto es, ambos coinciden en la identificación de las consecuencias observacionales de T . Por otra parte, como podemos advertir, T_R implica T_P , pero no se da la inversa, por lo que, según el cálculo de probabilidades, $\Pr(T_R)$ será mayor o igual que $\Pr(T_P)$. Con todo, de dicho cálculo no se sigue ninguna relación determinada entre $\Pr(P)$ y $\Pr(R)$ o entre $\Pr(P)$ y $\Pr(T_R)$, esto es, no hay ninguna relación lógica o probabilística que conecte los compromisos de los realistas, o la interpretación realista de la teoría, con la negación de esas afirmaciones. De hecho, $\Pr(T_R)$ puede ser mayor que $\Pr(\neg T_R)$ y, en consecuencia, $\Pr(R)$ puede ser mayor que $\Pr(P)$.

Además, T_R también implica R , por lo que, según los teoremas del cálculo de probabilidades, $\Pr(T_R)$ es mayor o igual que $\Pr(R)$. Por último, como señalamos, P es la negación de R , de manera que $\Pr(P) = \Pr(\neg R) = 1 - \Pr(R)$. Ahora bien, P , si bien implica la negación de R , no es lógicamente equivalente a T_P , esto es, no implica ni está implicado por T_P ni por $\neg T_P$. En efecto, si rechazamos los compromisos realistas o la interpretación realista de una teoría, esto no implica aceptar ni rechazar las consecuencias observacionales de la teoría. El valor de verdad de las consecuencias observacionales de una teoría es, en principio, compatible con el realismo y con el antirrealismo. Este hecho es muy relevante a la hora de evaluar este argumento a favor del realismo. Según la

teoría bayesiana, $\Pr(P)$ puede ser menor, mayor o igual que $\Pr(T_P)$. Para Dorling (1992, p. 363), “la asimilación filosófica entre P y T_P y, por lo tanto, entre $\Pr(P)$ y $\Pr(T_P)$, ha constituido, de hecho, el mayor obstáculo para la comprensión de lo que realmente está sucediendo en la disputa entre los realistas y antirrealistas”. Como señalaremos más adelante, la misma evidencia puede, y, de hecho, es lo más frecuente, incrementar $\Pr(P)$ y disminuir $\Pr(T_P)$; o bien disminuir $\Pr(P)$ e incrementar $\Pr(T_P)$.

Realizadas estas aclaraciones, podemos evaluar cómo la evidencia, esto es, el éxito predictivo de una teoría, actualiza las probabilidades previas, tanto de un realista, como de un antirrealista, en T_R y en T_P , esto es, en la interpretación realista de la teoría y en la interpretación antirrealista de la teoría. La estrategia consiste en distinguir dos situaciones: la situación de un agente comprometido con el realismo y la de un agente comprometido con el antirrealismo y luego comparar las probabilidades posteriores de cada uno de estos agentes bayesianos. En este sentido, la situación del agente que adopta una posición realista es la siguiente. En primer lugar, el realista asigna un valor de probabilidad a la probabilidad previa de que la interpretación realista de la teoría sea verdadera dado el conjunto de su conocimiento previo de, por ejemplo, 0.6 (formalmente, $\Pr_R(T_R|K) = 0.6$). En otras palabras, el realista cree que es más probable que la teoría sea verosímil y que los términos teóricos típicos de esas teorías refieran a entidades inobservables a que no lo sean. Por lo tanto, la creencia de este agente en la verdad de las consecuencias observacionales de la teoría está expresada por la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \Pr_R(T_P|K) &= [\Pr_R(T_P|T_R \& K) \times \Pr_R(T_R|K)] + [\Pr_R(T_P|\neg T_R \& K) \times \Pr_R(\neg T_R|K)] \\ &= (1 \times 0.6) + (\Pr_R(T_P|\neg T_R \& K) \times 0.4). \end{aligned}$$

Como podemos advertir, para calcular el valor de la probabilidad previa de T_P , el realista tiene que asignar un valor a $\Pr_R(T_P|\neg T_R \& K)$. En otras palabras, el agente tiene que estimar la probabilidad de que una consecuencia observacional de la teoría sea verdadera dado que no cuenta con la hipótesis realista, esto es, con T_R , sino, solamente, con las observaciones disponibles en ese momento histórico. Plausiblemente, un científico asignaría un valor bastante bajo a esta probabilidad, por ejemplo, de 0.2, sobre todo, si esa consecuencia es una predicción novedosa. Con estos valores, $\Pr_R(T_P|K) = 0.6 + (0.2 \times 0.4) = 0.68$ (como señalamos anteriormente, se cumple $\Pr_R(T_P|K) \geq \Pr_R(T_R|K)$). En este punto conviene recordar que no hay que confundir T_P con P . En efecto, como podemos advertir, $0.68 > 0.6$, de manera que el realista asigna un valor de probabilidad mayor a T_P que a T_R , pero esto no significa que adopta P , esto es, una posición antirrealista. Esto solamente significa, en principio, que el realista, dado solamente el conjunto

del conocimiento previo, cree levemente más probable que dicha teoría implique consecuencias observacionales verdaderas. Con todo, para el realista $\Pr_R (T_R|K) > \Pr_R (\neg T_R|K)$, por lo que $\Pr_R (R|K) > \Pr_R (\neg R|K)$ y, en consecuencia, $\Pr_R (R|K) > \Pr_R (P|K)$, lo que expresa, justamente, que el realista no adopta un compromiso antirrealista.

Ahora bien, ¿Cuál es la situación del antirrealista? Supongamos que el antirrealista asigna, coherentemente con sus compromisos, un valor muy bajo a $\Pr_A (T_R|K)$, por ejemplo, de 0.2. Según la teoría bayesiana, el antirrealista, pese a que está en abierto desacuerdo con ella, tiene que asignarle a esta probabilidad un valor que no sea dogmático, esto es, que sea distinto de 0. El bayesianismo ofrece varias razones a favor de este supuesto. Primeramente, una razón de carácter técnico. En efecto, si para el antirrealista, $\Pr (T_R|K) = 0$ o $\Pr (R|K) = 0$, entonces, según su teoría semántica, R no tiene significado. Por lo tanto, debería asignarle 1 a la probabilidad de aquello que cree que tiene significado, lo cual no es racionalmente muy plausible, ya que este valor no le permitiría, en un futuro hipotético, abandonar esa posición.

Por su parte, Howson (2000, p. 199), sostiene que “en la teoría bayesiana, asignar un valor distinto de 0 a las probabilidades previas tiene como objetivo modelizar un estado de creencias que puede cambiar frente a la adquisición de una nueva información”. Si, por el contrario, la probabilidad previa de un conjunto de creencias es 0 (o 1), entonces, según los teoremas del cálculo de probabilidades, esa probabilidad nunca podrá incrementarse (o disminuirse). En otras palabras, ese estado de creencias no podrá modificarse. En este sentido, “el modelo bayesiano supone que las teorías científicas tienen que tomarse, mínimamente, en serio. Si esto no fuera así, lo que se estaría modelando no sería una teoría científica, sino una fe dogmática” (Howson 2000, p. 199). Como ya señalamos en el capítulo 4, esta posición no es la del bayesianismo ortodoxo, sino del “bayesianismo moderado”. En efecto, la condición de que las probabilidades previas no sean 0 ni 1 (excepto para las falsedades y verdades lógicas, respectivamente) no puede justificarse mediante la coherencia probabilística, de manera que hay que recurrir a razones epistémicas como, por ejemplo, las que ya señalamos: la de no ser dogmático o la de mantener un razonable escepticismo sobre lo que es incierto o contingente.

Retomemos la situación del agente bayesiano que se compromete con el antirrealismo. Si el antirrealista, como señalamos, le asigna el valor 0.2 a $\Pr_A (T_R)$, entonces, debería asignarle el valor 0.36 a $\Pr_A (T_P)$, esto es, a la probabilidad de que las consecuencias observacionales de la teoría sean verdaderas. En efecto, del mismo modo que para el realista, para el antirrealista también ocurre que:

$$\begin{aligned} \Pr_A (T_P | K) &= [\Pr_A (T_P | T_R \& K) \times \Pr_A (T_R | K)] + [\Pr_A (T_P | \neg T_R \& K) \times \Pr_A (\neg T_R | K)], \text{ por lo que,} \\ &= (1 \times 0.2) + (0.2 \times 0.8) = 0.36. \end{aligned}$$

Por lo tanto, según estas probabilidades previas, el antirrealista “no solo está menos seguro que el realista acerca de las consecuencias observacionales de la teoría, sino que, además, con estos valores específicos, cree que es más probable que sean falsas” (Dorling 1992, p. 368). Por ejemplo, el antirrealista podría creer que, en un futuro cercano, es probable que obtengamos nueva evidencia que sea incompatible con las observaciones actuales.

Ahora bien, ¿Qué ocurre, en ambas situaciones, si se obtiene nueva evidencia a favor de la verdad de T_P , por ejemplo, si se verifica una predicción novedosa de la teoría? O bien, en otras palabras, ¿Cómo calculan, tanto el realista, como el antirrealista, la probabilidad de que la interpretación realista de la teoría sea verdadera dados el conocimiento previo K y T_P , esto es, dado que, al menos, en este momento dado las consecuencias observacionales de la teoría son verdaderas? Desde un punto de vista bayesiano, ambas situaciones pueden expresarse según las siguientes probabilidades posteriores:

$$\Pr_R (T_R | T_P \& K) = [\Pr_R (T_R | K) \times \Pr_R (T_P | T_R \& K)] / \Pr_R (T_P | K) = (0.6 \times 1) / 0.68 = 0.89$$

$$\Pr_A (T_R | T_P \& K) = [\Pr_A (T_R | K) \times \Pr_A (T_P | T_R \& K)] / \Pr_A (T_P | K) = (0.2 \times 1) / 0.36 = 0.6$$

Como podemos advertir, simplemente aplicamos el teorema de Bayes. Como ya señalamos, $\Pr_R (T_R | K)$ y $\Pr_A (T_R | K)$ son las probabilidades previas de la interpretación realista de la teoría, para el agente realista y para el antirrealista, respectivamente; $\Pr_R (T_P | K)$ y $\Pr_A (T_P | K)$ son las probabilidades que calculamos anteriormente, esto es, la probabilidad de que las consecuencias observacionales sean verdaderas dado solo el conjunto de las evidencias ya disponibles; y, por último, $\Pr_R (T_P | T_R \& K)$ y $\Pr_A (T_P | T_R \& K)$ son las *likelihoods*, esto es, la probabilidad de que las consecuencias observacionales sean verdaderas dados el conjunto del conocimiento previo y la interpretación realista de la teoría. El valor de estas dos probabilidades es 1, puesto que, como ya señalamos, T_R implica T_P .

La conclusión de este argumento a favor del realismo consiste en que, según el valor de estas dos probabilidades posteriores, el éxito predictivo de una teoría, esto es, la verificación de una predicción novedosa, fortalece la creencia del agente realista. En otras palabras, el agente realista confirma su hipótesis, es decir, confirma la interpretación realista de la teoría, ya que obtiene una diferencia positiva de 0.3 puntos entre su probabilidad previa (que era 0.6) y su

probabilidad posterior (que es 0.89). El agente antirrealista, por el contrario, tendría que adoptar, dado el valor de su probabilidad posterior, la interpretación realista de la teoría. En efecto, el antirrealista no solo confirmó la interpretación realista de la teoría, ya que su probabilidad previa en T_R era de 0.2 y su probabilidad posterior es de 0.6, sino que, incluso, cree que esta interpretación es más probable que sea verdadera que falsa, por lo que, en consecuencia, debería adoptarla.

Este ejemplo muestra el caso más extremo en el que el agente antirrealista tendría que cambiar su posición y adoptar una interpretación realista de la teoría. Sin embargo, esta situación no es necesaria. Si el antirrealista le asigna un valor mucho más bajo a $\text{Pr}_A(T_R|K)$, por ejemplo, de 0.1, no se encontrará en esa situación, esto es, si bien se acerca al valor de 0.5, no lo supera. Con todo, este otro ejemplo no afecta la conclusión del argumento a favor del realismo, ya que la nueva evidencia, en todos los casos, siempre incrementará, en mayor medida, la probabilidad de la hipótesis realista que la de la hipótesis antirrealista (se pueden comprobar estos resultados asignando diferentes valores en las ecuaciones ofrecidas).

Por último, conviene señalar que este argumento bayesiano no muestra que “la dirección de conversión siempre es, eventualmente, del antirrealismo al realismo. Esto, por supuesto, no es cierto” (Dorling 1992, p. 370). Lo que el argumento muestra es que, si se verifica una predicción novedosa de una teoría, esto es, si las teorías científicas son predictivamente exitosas (en efecto, este era el hecho que había que explicar en los argumentos que se sustentan en una inferencia a la mejor explicación), este hecho incrementa, incluso si partimos de una posición antirrealista, la creencia en la hipótesis que ofrece el realismo. En otras palabras, el hecho de que una teoría sea predictivamente exitosa incrementa la probabilidad de que las teorías que se emplean en la verificación de esa predicción sean verosímiles. Por estas razones, creemos que este argumento bayesiano a favor del realismo, si bien no está exento de las dificultades que presenta la asignación de probabilidades previas, evita los problemas epistemológicos del argumento sustentado en una inferencia a la mejor explicación señalados, por lo que consideramos que la teoría bayesiana ofrece un argumento comparativamente superior.⁵⁰

⁵⁰ Para analizar algunos de los problemas del bayesianismo, entre ellos, la asignación de un valor a las probabilidades previas, véase Maxwell 1970.

PARTE II: Estudio de casos

CAPÍTULO 7

La tabla periódica de los elementos de Mendeléiev

7. 1 La teoría periódica de Mendeléiev: predicciones y evidencia conocida

En la primera parte de esta tesis, nos concentramos en los aspectos normativos del problema epistemológico de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia, esto es, analizamos y evaluamos los principales argumentos a favor, y en contra, de un predictivismo y un realismo moderados. En esta segunda parte, abordaremos el problema epistemológico desde un enfoque descriptivo, esto es, analizaremos y evaluaremos en dos casos de estudio concretos de la práctica científica, por una parte, si la verificación de una predicción novedosa de una teoría confirma, en mayor medida, esa teoría que la acomodación satisfactoria de la evidencia conocida; y, por otra parte, si el éxito predictivo de una teoría incrementa el grado de creencia en la existencia de las entidades referidas por los términos teóricos típicos de esa teoría. En este capítulo, estudiaremos un caso de la historia de la química: la invención de la tabla periódica de Mendeléiev y, en el próximo capítulo, un caso de la historia de la física: el origen y los desarrollos iniciales de la teoría cuántica de la luz (entre los años 1905 y 1927).

El caso de la tabla periódica de los elementos de Mendeléiev es el ejemplo más citado, y más estudiado, por los filósofos predictivistas y realistas. En efecto, según el predictivismo, el sistema periódico desarrollado por Mendeléiev es el modelo paradigmático del éxito sistemático de las predicciones novedosas de una teoría y, en consecuencia, de la ventaja epistémica de las predicciones novedosas por sobre la acomodación de la evidencia conocida. Por su parte, para el realismo, el sorprendente éxito de las predicciones novedosas realizadas por Mendeléiev ofrece una buena razón o incrementa el grado de creencia (identificado como un incremento en la probabilidad) en la existencia *real* de las entidades teóricas referidas por los términos teóricos típicos de la teoría, en especial, de los átomos.

El objetivo central de esta sección es determinar, de acuerdo con el criterio que defendimos en la primera parte, cuáles son las predicciones novedosas que realizó Mendeléiev y cuál es la evidencia conocida que consiguió acomodar de manera satisfactoria por medio de su sistema periódico. Previamente, ofreceremos una breve introducción a la teoría de Mendeléiev y a sus conceptos fundamentales, entre ellos, los conceptos de sistematicidad y de periodicidad, de peso atómico y de propiedades fisicoquímicas fundamentales de los elementos químicos. En

consecuencia, en este capítulo, no ofreceremos un análisis exhaustivo del sistema periódico de Mendeléiev, ni del desarrollo de la química de la época, sino que solamente nos ocuparemos de los conceptos fundamentales necesarios para comprender el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida.⁵¹

En 1869, Dimitri Mendeléiev marcó uno de los hitos fundamentales de la historia de la química al publicar un artículo en el que conseguía *sistematizar* todos los elementos químicos conocidos hasta ese momento. En ese artículo, Mendeléiev logró ordenar satisfactoriamente los 62 elementos químicos conocidos en una sucesión ordinal periódica según el incremento en el peso atómico de cada uno de los elementos que componen la sucesión. De esta manera, la ley periódica o, en un sentido más restringido, la periodicidad, es una hipótesis según la cual existen ciertas regularidades aproximadas de las propiedades fisicoquímicas fundamentales de los elementos químicos a medida que se incrementa el valor de otra de las propiedades que se considera esencial. Para Mendeléiev, esta propiedad esencial, ya que proporciona el criterio de identidad de un elemento químico, es el *peso atómico*. Esta es una propiedad observable, cuyo valor se determina a partir de diversas técnicas experimentales, no compartida por dos, o más, elementos: si dos átomos tienen el mismo peso atómico, son dos átomos del mismo elemento químico. El concepto de peso atómico y, en especial, los métodos experimentales para calcularlo, fue central en el desarrollo del sistema periódico y de su representación en la tabla periódica de los elementos. El éxito del sistema periódico de Mendeléiev por sobre los trabajos de sus antecesores se debe, en gran medida, a que Mendeléiev adoptó un método correcto de medición (el método de Cannizzaro) y a que empleó valores más adecuados y precisos (véanse Rawson 1974 y Scerri 2007).

En la actualidad se considera que la propiedad esencial que identifica a un elemento químico no es el peso atómico, sino el número atómico. El número atómico, una propiedad teórica bien definida, resolvió los problemas teóricos y prácticos que, en la época de Mendeléiev, existían para calcular el peso atómico de un elemento. Hoy en día, el peso atómico (o masa atómica relativa) de un elemento, tomado de una fuente específica, se define como la razón de la masa media por átomo del elemento (esto es, el promedio ponderado de cada uno de los isótopos de ese elemento) con respecto a 1/12 de la masa de un átomo de ¹²C (esto es, con respecto al peso de un isótopo patrón) (para un análisis con más detalle, véanse Cohen y otros 2007 y Holden

⁵¹ Para un análisis más exhaustivo y con mayores detalles del sistema periódico de Mendeléiev y, en general, del desarrollo del sistema periódico contemporáneo, véanse Cassembaum y Kauffman 1971; Puddephatt y Monaghan 1986 y van Spronsen 1969.

1979). Por estas razones, el peso atómico de un elemento depende de la abundancia terrestre de todos los isótopos de ese elemento, por lo que, “los químicos [de la época de Mendeléiev] midieron, sin saberlo, el peso promedio de una mezcla de isótopos” (Scerri 2007, p. 58).

La periodicidad del sistema consiste en que, cada cierta cantidad de peso atómico, esto es, cada determinado intervalo en el peso atómico de los elementos, algunas de las propiedades fisicoquímicas fundamentales de los elementos se repiten. La regularidad de la repetición de las propiedades es aproximada, ya que, por una parte, la longitud de los periodos no es constante, sino que, por el contrario, varía entre los diferentes periodos, en otras palabras, los periodos no tienen la misma cantidad de elementos; mientras que, por otra, la regularidad de la repetición no es exacta, esto es, los elementos que repiten propiedades no lo hacen con respecto a todas las propiedades, sino solo a las que se consideran fundamentales (véase Scerri 1991). En otras palabras, la periodicidad muestra que “existe un patrón de repetición en las propiedades de los elementos después de ciertos intervalos regulares” (Scerri 2007, p. 76). Por estas razones, las propiedades fisicoquímicas fundamentales de los elementos pueden representarse mediante una función periódica de sus pesos atómicos. Como podemos advertir, los periodos, esto es, cada uno de los intervalos aproximadamente regulares de peso atómico, da lugar, inmediatamente, a un orden que actualmente se llama “clasificación secundaria” de los elementos. Según esta clasificación, los elementos se ordenan en grupos según la semejanza de sus propiedades fisicoquímicas. Por ejemplo, Mendeléiev, en los primeros desarrollos de su sistema periódico, intentó agrupar a los elementos según la valencia, esto es, según la capacidad de los elementos para combinarse con el hidrógeno.⁵² Sin embargo, Mendeléiev encontró que, si ordenaba todos los elementos según el peso atómico, cada grupo de elementos compartía muchas más propiedades fisicoquímicas que solo el número de valencia.

Mendeléiev contaba con un gran conocimiento de las propiedades químicas de los elementos y siempre intentó explicar por qué determinados elementos presentan propiedades semejantes. En efecto, las propiedades químicas macroscópicas de los elementos, por ejemplo, la reacción de un elemento con el hidrógeno o con el oxígeno, la reacción de precipitación, la formación de sales y la combinación ácido-base, constituían, debido a las capacidades técnicas de la época, la mayor evidencia disponible, por lo que Mendeléiev las consideraba fundamentales a la hora de agrupar los elementos. Sin embargo, la repetición de algunas propiedades físicas, por ejemplo,

⁵² Si suponemos que el hidrógeno tiene un número de valencia igual a 1, el oxígeno, por ejemplo, tiene un número de valencia igual a 2, ya que se necesitan dos átomos de oxígeno para formar un compuesto con el hidrógeno.

el volumen atómico, la densidad y, principalmente, el punto de fusión, también desempeñó un papel relevante a la hora de explicar el orden de los elementos en diferentes grupos. Muchos filósofos e historiadores de la ciencia han sostenido que Mendeléiev empleó exclusivamente el criterio del peso atómico para justificar, de una manera cuantitativa, el orden de los elementos en el sistema periódico. Sin embargo, creemos que “Mendeléiev fue, de hecho, el primero en reconocer el significado *pleno* del concepto de peso atómico”, esto es, fue uno de los primeros en advertir la conexión esencial entre el incremento del peso atómico de los elementos químicos y la regularidad en la repetición de las propiedades fisicoquímicas fundamentales (Scerri 2007, p. 105, énfasis del autor).

Si bien actualmente reconocemos a Mendeléiev como el *descubridor* del sistema periódico de los elementos, hay, al menos, otros cinco químicos que, aunque no tuvieron el mismo éxito de Mendeléiev, aportaron grandes avances para su descubrimiento. Por ejemplo, Béguyer de Chancourtois, en 1862, aportó una idea preliminar de la relación entre el peso atómico y la repetición de las propiedades. John Newlands, en 1863, presentó la primera clasificación de los elementos según su peso atómico. John Odling, por su parte, en 1864, reconoció la existencia de una periodicidad en las propiedades semejante a una serie aritmética. Gustavus Hinrichs desarrolló, en 1864, una clasificación según la cual los elementos ocupaban un *único lugar* en la tabla. Y, por último, Julius Lothar Meyers es considerado por muchos filósofos y científicos como codescubridor del sistema periódico, pese a que, como señalaremos más adelante, no tuvo el mismo éxito de Mendeléiev (véanse Scerri 2007, Cap. 3 y van Spronsen 1969).

Consideramos que, debido a que Mendeléiev descubrió el significado pleno del concepto de peso atómico, su sistema periódico (o teoría periódica) consiguió acomodar exitosamente, a diferencia de sus predecesores, toda la evidencia fisicoquímica fundamental conocida, esto es, logró explicar, mediante un criterio simple y *cuantitativamente elegante*, por qué hay una repetición regular de las propiedades fisicoquímicas fundamentales de los elementos. En la primera parte, sostuvimos que, si una teoría explica la evidencia que ya se conoce en el momento en el que esa teoría se formula, entonces, esa teoría acomoda la evidencia. Por consiguiente, el peso atómico de los elementos y la semejanza que los elementos comparten, por ejemplo, cuando reaccionan con el hidrógeno o con el oxígeno, o en sus reacciones de precipitación, o cuando forman sales, en suma, el *parecido de familia* entre ciertos elementos, puesto que era toda la evidencia química que ya se conocía en el momento en el que Mendeléiev formuló su sistema periódico, constituyen un caso de acomodación de la evidencia. En este sentido, Mendeléiev quería explicar por qué elementos como, por ejemplo, el litio, el sodio y el

potasio, que tienen pesos atómicos significativamente diferentes (7, 23 y 39, respectivamente), presentan propiedades químicas semejantes. Por ejemplo, estos tres elementos son extremadamente reactivos, de manera que se encuentran naturalmente solo en sales; y los tres reaccionan fuertemente con el hidrógeno, con el oxígeno y, también, con el agua, de manera que producen solución altamente básica. Además, sus propiedades físicas también son semejantes, por ejemplo, sus puntos de fusión son, respectivamente, 98°C, 98°C y 63°C.

Mendeléiev también fue el primero que, a diferencia de sus antecesores, también predijo la existencia de nuevos elementos químicos aún no descubiertos. En efecto, muchos de los químicos que desarrollaron la idea de periodicidad realizaron numerosas sugerencias acerca de la necesidad de la existencia de más elementos de los que se conocían, pero fue Mendeléiev quien describió precisamente y con gran detalle cuantitativo las propiedades fisicoquímicas fundamentales que debían tener esos elementos. Su visión sistémica de la tabla periódica, esto es, de la representación visual del sistema periódico, junto con la idea de que el peso atómico es una propiedad esencial de los elementos que subyace y que no se pierde en los diferentes compuestos químicos, y con la idea de que la tabla periódica está dividida en compartimientos individuales que pueden ser ocupados por uno y solo un elemento, le permitieron predecir la existencia de nuevos elementos solo en función del orden general de la tabla periódica. En este sentido, sostuvo que, si su teoría periódica era adecuada, deberían existir más elementos de los que se ya conocían, a los que representó mediante un *compartimiento vacío* (o con un signo “?”) en su tabla periódica. Por consiguiente, estos elementos son predicciones novedosas de la teoría periódica de Mendeléiev, ya que no se conocían en el momento en el que formuló la teoría. Con todo, Mendeléiev no solo predijo la existencia de nuevos elementos, sino que, además, también realizó otro tipo de predicciones novedosas.

Entre este tipo diferente de predicción novedosa, se encuentran las correcciones en el valor del peso atómico de algunos elementos como, por ejemplo, del berilio y del uranio. En efecto, si bien estos elementos ya contaban con un valor conocido de su peso atómico, Mendeléiev les asignó un nuevo valor, el cual se diferenciaba significativamente del que se conocía, pero que, luego de su estimación, se verificó. Por ejemplo, no había consenso acerca de si el peso atómico del berilio era 9 o 14. Mendeléiev sostuvo que, debido a su valencia y, en consecuencia, a su comportamiento químico, el berilio debía tener un peso atómico de 9. En 1885, se verificó que el peso atómico del berilio era 9, de acuerdo con la predicción de Mendeléiev. Sin embargo, la corrección más significativa fue la del uranio. En efecto, según las estimaciones disponibles en la época de Mendeléiev, el peso atómico del uranio era 120. Mendeléiev no estaba muy seguro

de ese valor, ya que, si ese era su peso atómico, el uranio debía ubicarse en un grupo junto con otros elementos que no compartían un comportamiento químico semejante. Por esa razón, en sus primeros trabajos, decidió no ubicarlo en ningún grupo. Después de nuevos experimentos, en especial, luego de determinar su densidad, Mendeléiev sugirió que el peso atómico del uranio debía ser el doble de lo que se conocía, esto es, 240. En 1874, Henry Roscoe presentó una prueba experimental que verificó la predicción de Mendeléiev (véanse Brush 2015 Cap. 5 y Scerri 2007, Cap. 5). En conclusión, estas correcciones de Mendeléiev son predicciones novedosas porque los valores que estimó, en especial, el del uranio, no se conocían en el momento en el que formuló su teoría y fueron verificados posteriormente.

Ahora bien, predecir el valor de una propiedad conocida de un elemento conocido parece un hecho diferente de predecir la existencia de un nuevo elemento desconocido e, incluso, aún más diferente de predecir un valor sorprendentemente preciso de una propiedad desconocida de un elemento aún no descubierto. En las próximas secciones, evaluaremos la diferencia entre estas predicciones novedosas y el valor confirmatorio que cada una de ellas, supuestamente, le otorgó a la teoría periódica de Mendeléiev. En esta sección, solo adelantaremos que, efectivamente, Mendeléiev predijo la existencia de tres nuevos elementos, entre ellos, el *eka*-aluminio (luego, conocido como galio), el *eka*-silicio (luego, germanio) y el *eka*-boro (luego, escandio) (*eka*, que significa “uno”, se utilizaba para designar al elemento inmediatamente subsiguiente); y, además, predijo, con gran precisión, algunas de sus propiedades fundamentales. En su artículo de 1869, Mendeléiev (p. 406) sostuvo que “debemos esperar el descubrimiento de nuevos elementos aún no conocidos, por ejemplo, elementos análogos al aluminio y al silicio, con pesos atómicos 65-75”. En 1870, predijo la existencia de un nuevo elemento análogo al boro (el escandio) y sostuvo que el peso atómico de estos tres elementos debía ser 72, 68 y 44, respectivamente.

En 1871, Mendeléiev fue un paso más allá, puesto que no solo predijo la existencia de aquellos elementos, los cuales debían ocupar los espacios que habían quedado vacíos en su tabla, sino que, incluso, predijo algunas de sus propiedades fisicoquímicas más relevantes. Para realizar estas predicciones, Mendeléiev empleó un método de comparación y de interpolación. Una vez ubicado el espacio que el elemento debía ocupar, analizó cada una de las propiedades fisicoquímicas de los elementos del mismo grupo, en especial, de los elementos inmediatamente anteriores y posteriores, y predijo que el valor de la propiedad del elemento desconocido, por ejemplo, su volumen atómico, densidad y punto de fusión, que se ubicaba *en el medio* entre aquellos dos, debía ser, justamente, *un valor intermedio* respecto del valor de la propiedad de esos dos elementos ya conocidos. En otros casos, también analizó las propiedades de los cuatro

elementos conocidos que *rodeaban* al elemento desconocido y predijo que el valor de esas propiedades del nuevo elemento debía tener un valor que sea *el promedio* de los valores de la propiedad de esos elementos ya conocidos (véase Scerri 2007, Cap. 5).

En suma, la evidencia química conocida, la idea de un *parecido de familia* entre los elementos químicos de un mismo grupo y el peso atómico como criterio que ordena a todos los elementos en un sistema, posibilitaron la predicción de las propiedades desconocidas de elementos aún desconocidos. Por ejemplo, respecto del galio, Mendeléiev predijo la fórmula del óxido de galio, esto es, su combinación con el oxígeno ($\text{Ga (o Ea)}_2\text{O}_3$), predijo también que ese elemento reacciona con el hidrógeno formando el hidróxido gálico ($\text{Ga}_2(\text{OH})_3$) y predijo, además, que este hidróxido se disuelve en una solución de hidróxido de potasio (KOH). Por último, predijo las propiedades físicas fundamentales del galio: su volumen atómico (11.5), su densidad (6 gr/cm^3) y un punto de fusión bajo de aproximadamente 30°C . En conclusión, el caso de la tabla periódica de Mendeléiev es un ejemplo muy claro para evaluar el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida, ya que, como hemos señalado, la teoría periódica de Mendeléiev acomodó satisfactoriamente la gran mayoría de la evidencia química conocida y, además, también realizó una gran cantidad de predicciones novedosas.

7. 2 El predictivismo de Peter Lipton y de Patrick Maher

El predictivismo sostiene que la verificación de estas predicciones novedosas (esto es, el descubrimiento del galio, del escandio y del germanio; la determinación, dentro del margen del error experimental, de sus propiedades fundamentales; y la verificación de la corrección de los pesos atómicos de los elementos) incrementó, en mayor medida, el grado de confirmación de la teoría de Mendeléiev que la acomodación satisfactoria de los 62 elementos y de la evidencia química fundamental conocida. En cambio, las posiciones no predictivistas sostienen que la acomodación exitosa de todos los elementos conocidos y la explicación de la regularidad en la repetición de algunas de sus propiedades fisicoquímicas, entre ellas, la valencia, por medio de un criterio unívoco y claramente operacionalizable como el peso atómico, incrementó, en mayor medida, o, al menos, en igual medida, el grado de confirmación de la teoría que la verificación de las predicciones novedosas. En efecto, como señalaremos en las próximas secciones, ninguna de las teorías periódicas rivales había conseguido explicar las relaciones entre estas propiedades fundamentales de los elementos con el éxito con el que lo hizo la teoría de Mendeléiev.

En 1875, Emile Lecoq de Boisbaudran, de manera independiente (es decir, su objetivo no era contrastar la predicción de Mendeléiev), descubrió el *eka*-aluminio (o, como él lo llamó, el galio). En efecto, mediante técnicas espectroscópicas, Lecoq de Boisbaudran observó unas pocas líneas espectrales que nunca habían sido observadas con anterioridad. Luego, en ese mismo año y con mayores recursos, consiguió aislar el galio a partir de alrededor de 100 kg de esfalerita (un mineral del sulfuro de zinc). Lecoq de Boisbaudran estimó que el peso atómico del galio era de 69.2, que su densidad era de 5.93 gr/cm³ y que su volumen atómico era de 11.8 aproximadamente, lo cual verificaba las predicciones novedosas que, como señalamos, había realizado Mendeléiev. Además, logró aislar el nuevo elemento mediante la electrólisis de una solución de hidróxido de galio en hidróxido de potasio, lo cual también verificaba una de las predicciones de Mendeléiev respecto de las propiedades químicas de este nuevo elemento.

En 1879, diez años después de las primeras predicciones de Mendeléiev, Lars Frederick Nilson descubrió el *eka*-boro (o, el escandio). Sin embargo, fue Per Teodor Cleve quien consiguió aislar una cantidad suficiente del nuevo elemento y estimó su peso atómico en 45, lo cual verificaba la predicción de Mendeléiev. Cleve, y luego el mismo Nilson, confirmaron que las propiedades de este nuevo elemento, entre ellas, que se combina con el oxígeno para formar el óxido de escandio (Sc₂O₃), que la densidad de este óxido es de 3.86 gr/cm³ y que sus sales son incoloras y reaccionan con el hidróxido de potasio y con el carbonato de sodio produciendo un precipitado gelatinoso, eran semejantes a las propiedades del *eka*-boro predichas por Mendeléiev.⁵³

Por último, en 1886, bastantes años después de las predicciones realizadas por Mendeléiev, Clemens Winkler descubrió un nuevo elemento (que llamó “germanio”), el cual, sin embargo, no fue inmediatamente identificado con el *eka*-silicio. En efecto, a pesar de que su peso atómico y sus propiedades físicas eran muy semejantes a las de ese elemento, Mendeléiev creía que algunas de sus propiedades químicas más fundamentales eran más semejantes a las de otro de los elementos que había predicho. Victor von Richter fue quien sugirió que, de hecho, este nuevo elemento debía identificarse con el *eka*-silicio. Mendeléiev analizó el caso y reconoció que este elemento era el *eka*-silicio. En efecto, la predicción del peso atómico de este elemento (72) y de sus propiedades fundamentales (entre ellas, volumen atómico de 13 cm³, densidad de 5.5 gr/cm³, densidad del dióxido de germanio de 4.7 gr/cm³) que realizó Mendeléiev en 1871 se aproximaban notablemente a las verificadas en 1886: peso atómico de 72.32, volumen atómico de 13.22 cm³, densidad de 5.47 gr/cm³, densidad del dióxido de germanio de 4.703 cm³.⁵⁴

⁵³ Véanse Brush 1996 y 2015, Cap. 5 y Scerri 2007, Cap. 5.

⁵⁴ Véanse Brush 1996 y 2015, Cap. 5 y Scerri 2007, Cap. 5.

Patrick Maher (1988) y Peter Lipton (1990) sostienen que la entrega de la medalla Davy de la *Royal Society* a Mendeléiev en 1882, trece años después de la publicación del artículo en el cual formuló su teoría periódica que acomodó satisfactoriamente la evidencia conocida y solo tres años después del descubrimiento del segundo de los elementos predichos y de la determinación experimental de algunas de sus propiedades, apoya la ventaja epistémica del predictivismo. Todos los predictivistas consideran que el descubrimiento de los dos primeros elementos predichos, esto es, del galio y del escandio, que convertía a Mendeléiev en la “primera persona en la historia [de la ciencia] en predecir correctamente la existencia y las propiedades de un elemento todavía no descubierto”, condujo invariablemente a un consenso general en la comunidad de los químicos, en un principio escéptica y reticente, a favor de la teoría periódica de Mendeléiev (Maher 1988, p. 274). Para van Spronsen (1969, p. 221), la verificación de estas dos predicciones “puede, sin dudas, considerarse el punto culminante en la historia del sistema periódico”. Según Maher, tal es así que la *Royal Society* ni siquiera esperó que se produjera el descubrimiento del germanio para reconocer a Mendeléiev. En suma, “si los científicos no les otorgan un valor confirmatorio especial a las predicciones, resulta bastante inexplicable por qué su confianza en las predicciones de Mendeléiev se incrementó sustancialmente luego de que una o dos de esas predicciones hayan sido verificadas” (Maher 1988, p. 275).

Sin embargo, el reconocimiento de la *Royal Society* a Mendeléiev no es incompatible con una posición antipredictivista. El antipredictivismo sostiene que este hecho no implica, ni ofrece una razón fuera de toda duda, la ventaja epistémica de la predicción respecto de la acomodación de la evidencia conocida. En efecto, si analizamos, de forma exclusiva, la letra de la mención que acompañó la entrega de la medalla, no encontraremos ninguna referencia explícita al éxito de las predicciones novedosas, esto es, la mención no hace referencia al descubrimiento de los dos nuevos elementos, ni a la determinación experimental de algunas de las propiedades de estos elementos, ni a la corrección exitosa del peso atómico del uranio, por ejemplo, sino que, por el contrario, la mención reconoce la acomodación satisfactoria de la evidencia conocida, esto es, la sistematización de los 62 elementos conocidos y de sus propiedades fisicoquímicas (véase Spottiswode 1883). La mención afirma que

[...] los trabajos de Mendeléiev y de Lothar Meyer han generalizado y extendido nuestro conocimiento acerca de las relaciones [entre el peso atómico de los elementos y sus respectivas propiedades físicas y químicas] [...] nadie que esté familiarizado con estas propiedades fundamentales puede dejar de reconocer la *maravillosa regularidad* con la que las diferencias de propiedad [se repiten]. (Spottiswode 1883, p. 392, énfasis nuestro)

Además, la mención concluye con una metáfora que apoya aún más la hipótesis de que la acomodación de la evidencia desempeñó un papel más relevante que la verificación de las predicciones a la hora de evaluar los méritos de Mendeléiev para recibir la medalla: “[esta serie periódica] nos permite ver claramente mucho que antes no podíamos ver” (Spottiswode 1883, p. 392). En suma, la *Royal Society* consideró que la teoría de Mendeléiev acomodaba la evidencia conocida de una manera más satisfactoria que las teorías rivales disponibles.

Scerri y Worrall (2001, p. 417) también señalan que la mención no hace ninguna referencia explícita al éxito predictivo de la teoría de Mendeléiev y sostienen que “el único comentario que alude, inequívocamente, a cuestiones no consideradas, [al menos, hasta ese momento,] no habla de las predicciones exitosas, sino de ‘nuevas dificultades ... y problemas que necesitan investigación’” (énfasis de los autores). Del mismo modo, Howson y Franklin (1991, p. 579), sostienen que Mendeléiev fue reconocido “por ser el agente de un descubrimiento profundo (porque así se la consideraba, y aún se lo sigue haciendo, a la tabla periódica) que es digno de elogio”. Por último, podemos señalar una razón adicional en contra de la hipótesis predictivista de Maher y Lipton. La medalla Davy de 1882 no se entregó solamente a Mendeléiev, sino que fue un premio compartido con Lothar Meyer. La mención no se refiere a los logros de los científicos en solitario, sino que, por el contrario, se refiere a ellos de manera conjunta. Como ya hemos señalado, Lothar Meyer fue uno de los precursores de la teoría periódica, pero sus trabajos no incluyen, con especial relevancia y de una manera decisiva, ninguna predicción novedosa de elementos aún no conocidos ni, mucho menos, respecto de las propiedades de esos elementos. El objetivo central de los trabajos de Lothar Meyer (al menos en esos años) era formular una teoría periódica que acomodara satisfactoriamente la evidencia química conocida. En conclusión, la *Royal Society* pareciera no apoyar, al menos, el predictivismo más fuerte.

El esquema más usual de la confirmación bayesiana muestra que, en el ejemplo de la tabla periódica de Mendeléiev, la verificación de las predicciones respecto de la existencia de los nuevos elementos incrementa el grado de confirmación de la teoría, que la verificación de las predicciones respecto de algunas de las propiedades de estos elementos incrementa, incluso, en mayor medida, el grado de confirmación de la teoría y que la corrección de los pesos atómicos de un elemento conocido también incrementa, aunque en menor medida que las anteriores, el grado de confirmación de la teoría periódica de Mendeléiev. En cualquier caso, *todas* estas verificaciones incrementan el grado de confirmación de la teoría, en mayor medida, que el éxito en la acomodación de la evidencia ya conocida. Sea TM , la teoría de Mendeléiev; E , el descubrimiento de un nuevo elemento, por ejemplo, el galio; P , la determinación experimental

de una propiedad de un nuevo elemento, por ejemplo, que el hidróxido de galio se disuelve en una solución de hidróxido de potasio; *C*, la verificación de una corrección en el peso atómico de un elemento conocido, por ejemplo, el peso atómico del uranio es 240; *Ac*, la acomodación de la evidencia conocida, por ejemplo, que el litio y el potasio, elementos con pesos atómicos significativamente diferentes, tienen propiedades químicas semejantes porque pertenecen a un mismo grupo del sistema periódico; según el esquema bayesiano, ocurre que:

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{Cf} (TM|P \ \& \ K) > \mathbf{Cf} (TM|E \ \& \ K) > \mathbf{Cf} (TM|C \ \& \ K) > \mathbf{Cf} (TM|Ac \ \& \ K) \\
 & = \mathbf{Pr} (TM|P \ \& \ K) > \mathbf{Pr} (TM|E \ \& \ K) > \mathbf{Pr} (TM|C \ \& \ K) > \mathbf{Pr} (TM|Ac \ \& \ K) \\
 & = [\mathbf{Pr} (TM|K) \times \mathbf{Pr} (P|TM \ \& \ K)] / [\mathbf{Pr} (P|K)] > [\mathbf{Pr} (TM|K) \times \mathbf{Pr} (E|TM \ \& \ K)] / [\mathbf{Pr} (E|K)] > [\mathbf{Pr} (TM|K) \\
 & \quad \times \mathbf{Pr} (C|TM \ \& \ K)] / [\mathbf{Pr} (C|K)] > [\mathbf{Pr} (TM|K) \times \mathbf{Pr} (Ac|TM \ \& \ K)] / [\mathbf{Pr} (Ac|K)] \\
 & = \mathbf{Pr} (Ac|K) > \mathbf{Pr} (C|K) > \mathbf{Pr} (E|K) > \mathbf{Pr} (P|K)
 \end{aligned}$$

En efecto, es sumamente plausible, e históricamente adecuado, que la probabilidad de que la acomodación de la evidencia conocida dado el conjunto del conocimiento previo sea mayor que las demás *esperabilidades*. Como ya hemos señalado, Mendeléiev no fue el único científico que formuló una teoría periódica que acomodara la evidencia conocida, de manera que, aun si consideramos que el éxito de su teoría fue muy sorprendente, su probabilidad era mayor que en los casos de predicción novedosa. Igualmente, si bien la verificación de la corrección del peso atómico del uranio, por ejemplo, fue un hecho relevante, la probabilidad de esa corrección dado que ya se contaba con un método suficientemente confiable de medición y con recursos técnicos más avanzados, era mayor que en los dos casos restantes de predicción novedosa.

Por último, es claro que, dado el mismo conjunto del conocimiento previo, la probabilidad del descubrimiento de un nuevo elemento aún desconocido es mayor que la probabilidad de determinar experimentalmente, y con gran precisión, sus propiedades fisicoquímicas. Lipton (2004, p. 165), por ejemplo, sostiene, de manera simplificada e, incluso, exagerando el análisis, que “60 acomodaciones [en realidad, fueron 62] se debilitaron frente a esas dos predicciones”. Maher (1990 y 1993) también sostiene, casi en los mismos términos, esta afirmación. El análisis que hemos realizado se corresponde con el esquema bayesiano más básico y usual de la confirmación. En las próximas secciones de este capítulo, presentaremos una defensa bayesiana de un predictivismo moderado, en la cual incluiremos algunos de los conceptos que analizamos en el capítulo 4, entre ellos, los de anomalía, heterogeneidad y cantidad de información de una predicción; además de los de simplicidad y poder unificador de una teoría.

7.3 Las críticas al predictivismo: ¿Fueron eficaces las predicciones de Mendeléiev?

En esta sección, evaluaremos un argumento fundamental que sostiene que la teoría de Mendeléiev no es un caso paradigmático a favor del predictivismo. El argumento sostiene que el éxito predictivo de la teoría de Mendeléiev, esto es, el hecho que incrementaría su grado de confirmación, es, simplemente, una ilusión de carácter psicológico (en otras palabras, una afirmación sin evidencia suficiente a su favor) producto de una falacia metodológica. Scerri y Worrall (2001, p. 417), los creadores del argumento, cuestionan que la teoría periódica de Mendeléiev haya sido preeminentemente exitosa en sus predicciones novedosas, ya que sostienen que “la sensación de éxito predictivo *constante* [o bien, sistemático] de la teoría de Mendeléiev es una completa tergiversación de la historia: un ejemplo clásico de un ‘efecto’ (‘el éxito predictivo de Mendeléiev’) creado por un sesgo de selección” (énfasis nuestro). El sesgo de selección es un error sistemático, esto es, un error implícito en el diseño del experimento que se distribuye a todos sus efectos, a la hora de recolectar una muestra que produce una distorsión en el análisis estadístico. En consecuencia, la presencia de un sesgo de selección afecta la corrección de la inferencia, de manera que sus conclusiones pierden fuerza inductiva.

Los antipredictivistas señalan que Mendeléiev no solo realizó las tres predicciones exitosas de los tres elementos desconocidos, ni de las propiedades aún desconocidas de esos elementos, ni, incluso, aquellas que lograron corregir el peso atómico de elementos conocidos, sino que, además, también realizó una gran cantidad de otras predicciones novedosas que, en su mayoría, fracasaron completamente. William Brock (1992, pp. 324-325), por ejemplo, afirma que “no todas las predicciones de Mendeléiev tuvieron ese resultado feliz; así como los fracasos de los astrólogos, [esas predicciones] fueron fácilmente olvidadas”. Si analizamos esta cuestión, encontraremos que, de hecho, la estrategia mediante la cual Mendeléiev realizaba sus predicciones no es muy clara, ni sigue un método bien definido, sino que, por el contrario, se asemeja más a un procedimiento de ensayo y error. La precisión y la cantidad de información que ofrece en sus predicciones, incluso, acerca de una misma predicción, varía en el tiempo en función de nuevos descubrimientos, de nuevos avances tecnológicos y de ajustes teóricos. Fueron tantas, y tan variadas, las predicciones novedosas de Mendeléiev que, en diferentes ocasiones, ni él mismo pudo reconocerlas adecuadamente.

Como ya señalamos, respecto del descubrimiento del germanio, Mendeléiev sostuvo, en un principio, que el nuevo elemento descubierto verificaba otra de sus predicciones (esto es, la existencia de un nuevo elemento al que había denominado “*eka-cadmio*”) y no la existencia del

eka-silicio, porque, según su análisis, el valor de algunas de las propiedades químicas, que también había predicho, se aproximaba más a aquel elemento que al *eka-silicio*. Con todo, en 1869, esto es, en su primer artículo, Mendeléiev dejó una gran cantidad de compartimientos vacíos en su tabla periódica. Algunos de esos compartimientos, además, tenían un signo “?” y, otros, tenían señalado un peso atómico. Ninguno de ellos, a diferencia de los compartimientos que estaban ocupados, llevaba un nombre. En varios de sus artículos posteriores, en especial, el del año 1871, Mendeléiev precisó y rectificó varias de sus predicciones y bautizó a varios de los elementos que había predicho con anterioridad y, también, a otros nuevos. En suma, si contabilizamos todos los espacios vacíos, y consideramos que todos expresan la predicción de la existencia de un elemento desconocido, deberíamos concluir que Mendeléiev fracasó en la mayoría de sus predicciones. Ahora bien, si solo contamos aquellos compartimientos en los que especificó un peso atómico, en los que bautizó al supuesto elemento y en los que predijo algunas de sus propiedades, Mendeléiev predijo la existencia de entre 10 y 16 nuevos elementos aún no descubiertos.⁵⁵ Por estas razones, cualquiera sea la cantidad de predicciones que aceptemos, Mendeléiev solo tuvo éxito en aproximadamente la mitad de ellas.

Por otra parte, Mendeléiev no solo fracasó en la predicción de la existencia de nuevos elementos desconocidos, sino que, además, también fracasó en algunas de las predicciones de algunas de las propiedades fundamentales de aquellos elementos que predijo exitosamente. Creemos que este hecho afecta notablemente el supuesto carácter sistemático del éxito predictivo de la teoría de Mendeléiev, por lo que, en consecuencia, también disminuye el grado de apoyo confirmatorio de estas predicciones a su teoría. Por ejemplo, con respecto al galio, Mendeléiev, mediante la aplicación de su método de interpolación, predijo que todas sus propiedades debían tener valores intermedios respecto de los valores de las propiedades del elemento inmediatamente anterior (el aluminio) y del posterior (el indio). Sin embargo, el valor del punto de fusión del galio, por ejemplo, no es, bajo ninguna consideración, un valor intermedio entre el punto de fusión del aluminio y del indio. En efecto, el galio tiene un punto de fusión anormalmente bajo, de 30°C, mientras que el aluminio y el indio tienen un punto de fusión de 660°C y de 155°C, respectivamente.

En suma, las posiciones no predictivistas sostienen que, si evaluamos todas las predicciones novedosas de la teoría periódica de Mendeléiev en función de la eficacia, deberíamos concluir que su teoría no fue, en general, predictivamente exitosa, al menos, en un sentido sistemático.

⁵⁵ La cantidad de predicciones realizadas por Mendeléiev varía según los filósofos e historiadores de la ciencia. Para un análisis más detallado de esta cuestión, véanse Brock 1992; Brush 1996; Scerri 2007 y van Spronsen 1969.

Sea TM , la teoría de Mendeléiev; E^* , el conjunto de las predicciones referidas a la existencia de nuevos elementos que fracasaron; P^* , el conjunto de las predicciones referidas a una propiedad fundamental de un elemento desconocido; C^* , el conjunto de las correcciones del peso atómico de un elemento conocido; Et , la conjunción ($E \& P \& C$); y Et^* , la conjunción ($E^* \& P^* \& C^*$); y, por último, Ac , la acomodación de la evidencia conocida; el antipredictivismo sostiene que

$$[\Pr (TM|Et^* \& K) < \Pr (TM|K)] > [\Pr (TM|Et \& K) > \Pr (TM|K)]$$

y, además, que

$$[\Pr (TM|Et^* \& K) < \Pr (TM|K)] \leq [\Pr (TM|Ac \& K) > \Pr (TM|K)]$$

En efecto, el antipredictivismo señala que el conjunto total de las predicciones exitosas de la teoría de Mendeléiev es menor que el de las predicciones fallidas (esto es, $\{Et\} < \{Et^*\}$), por lo que la probabilidad posterior de la teoría dado el conjunto de las predicciones fallidas es menor que su probabilidad previa y, este valor, a su vez, es mayor que la diferencia entre la probabilidad posterior de la teoría dado el conjunto de las predicciones exitosas y su probabilidad previa, de manera que las predicciones novedosas de la teoría periódica de Mendeléiev, tomadas en su conjunto, disminuyen su grado de confirmación. Asimismo, el antipredictivismo también señala que aquella diferencia entre la probabilidad posterior de la teoría dado el conjunto de las predicciones fallidas y su probabilidad previa es menor o, al menos, igual que la diferencia entre la probabilidad posterior de la teoría dada la acomodación satisfactoria de la evidencia conocida y su probabilidad previa, por lo que, en consecuencia, la acomodación exitosa de la evidencia conocida incrementa el grado de confirmación de la teoría.

En la actualidad, sabemos que la tabla periódica de Mendeléiev, si bien ha sido sustituida por otra tabla que preserva alguna de sus características, ha sido abandonada. La tabla más aceptada por los químicos está ordenada en una sucesión periódica según el incremento en el número atómico de los elementos, los cuales, a su vez, se agrupan según su configuración electrónica. A la luz de las teorías actuales más aceptadas (desarrolladas, principalmente, a partir del surgimiento de la teoría atómica contemporánea y de la mecánica cuántica), la teoría de Mendeléiev ha perdido la mayoría de sus virtudes. Sin embargo, como ya hemos señalado, en su época, la teoría tuvo un éxito sin precedentes. Por ello, esta cuestión permite señalar un aspecto fundamental que existe en la relación de confirmación. En efecto, como analizaremos más adelante con mayor detalle, si la evidencia es una anomalía para las teorías alternativas disponibles (en este caso, para las teorías periódicas de los cinco predecesores de Mendeléiev, entre ellas, principalmente, la de Lothar Meyer), y la teoría logra acomodarla de una manera

simple y unificada, entonces, dicha evidencia confirma la teoría. El aspecto fundamental que hay que señalar es la relación entre la evidencia en cuestión y el conjunto de las teorías rivales disponibles en cada momento histórico. En las próximas secciones, mostraremos que, en este caso, por ejemplo, el hecho de que la teoría de Mendeléiev acomodó, de una manera simple y unificada, la evidencia que era anómala para las teorías de sus predecesores, incrementó el grado de confirmación de la teoría.

7. 4 La perspectiva neutralista de Eric Scerri y John Worrall

Scerri y Worrall han argumentado a favor de una posición neutralista en el debate acerca de la ventaja confirmatoria de las predicciones novedosas, esto es, han sostenido que el descubrimiento de los nuevos elementos desconocidos, de algunas de sus propiedades y la corrección del peso atómico de algunos de los elementos ya conocidos, incrementó, en igual medida, el grado de confirmación de la teoría de Mendeléiev que la sistematización de los 62 elementos ya conocidos y sus propiedades, es decir, que la acomodación satisfactoria de la evidencia conocida.⁵⁶ Según Scerri y Worrall (2001, p. 410), la confirmación de la teoría periódica de Mendeléiev fue el resultado de un proceso gradual, “multicausal y acumulativo”, de recolección de evidencia en el cual, “ciertas ‘correcciones’ de ‘datos’ previamente aceptados (por ejemplo, el peso atómico de ciertos elementos conocidos) y ciertas ‘acomodaciones’ de la evidencia, desempeñaron un papel *igualmente significativo* que el de las predicciones exitosas” (énfasis nuestro). En efecto, sostienen que, si analizamos el caso, la evidencia indica que no hubo ningún “signo real de una ‘actitud drásticamente alterada’” de la comunidad de los químicos hacia la teoría de Mendeléiev producto de la verificación de sus predicciones (Scerri y Worrall 2001, p. 410). Según esta posición, la evidencia, parte de la cual analizamos en la sección anterior, en contra del predictivismo es suficiente, por lo menos, para sostener una posición neutralista. En suma, según la concepción puramente epistémica de las predicciones que defendimos en la primera parte, Scerri y Worrall (2001) sostendrían una posición neutralista con respecto a la ventaja epistémica de las predicciones novedosas o de la acomodación de la evidencia conocida, ya que, si bien reconocen que existe una distinción entre ambas prácticas, consideran que la evidencia histórica disponible no permite afirmar que la comunidad científica consideró que la verificación de las predicciones novedosas tuviera un peso confirmatorio mayor que la acomodación de la evidencia conocida.

⁵⁶ Véanse Scerri 2005 y 2007, Cap. 3; Scerri y Worrall 2001 y Worrall 2005.

Sin embargo, creemos que, si analizamos adecuadamente la posición de Scerri y Worrall, podremos advertir que, en última instancia, defienden alguna clase de predictivismo.⁵⁷ Scerri y Worrall (2001), no adoptan una concepción exclusivamente epistémica de las predicciones, sino la concepción heurística que, justamente, desarrolló Worrall. Como señalamos en el capítulo 2, según esa concepción, la distinción entre una predicción y la acomodación de la evidencia no depende del conocimiento de la evidencia, sino de su empleo en la construcción de la teoría, esto es, existe acomodación solo en el caso de que la evidencia conocida haya sido usada en la construcción de esa teoría (obviamente, si la evidencia no se conoce, no puede usarse y, por lo tanto, constituye una predicción). En este sentido, y esta es la clave de su análisis, Scerri y Worrall (2001), sostienen que existen dos clases de acomodaciones: por una parte, un caso en el cual la evidencia ya se conoce en el momento en el que se formula la teoría, pero no fue usada, en ninguno de los sentidos que propone Worrall, en la construcción de esa teoría; y, por otra parte, un caso en el cual la evidencia ya se conoce en el momento en el que se formula la teoría y, además, fue usada en la construcción de esa teoría.

Scerri y Worrall (2001, p. 426), sostienen que solo la primera de estas acomodaciones está en paridad epistémica respecto de las predicciones y, de hecho, afirman que “no existe ninguna distinción en absoluto, en este sentido, entre las predicciones, [en un sentido estrictamente epistémico, y esta clase] de acomodación”. En consecuencia, la posición de Scerri y Worrall es neutralista en el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida, solo si concebimos a la acomodación en el primero de aquellos sentidos. Por el contrario, en cuanto al segundo, “la acomodación [de la evidencia] otorga menos peso [confirmatorio]” (Scerri y Worrall 2001, p. 424). El problema es que Scerri y Worrall sostienen que la predicción de nuevos elementos, de algunas de sus propiedades y la corrección exitosa del peso atómico de ciertos elementos ya conocidos están epistémicamente a la par que la acomodación satisfactoria de los 62 elementos conocidos y de la evidencia conocida acerca de sus propiedades, porque, este último, es un caso de acomodación en el primero de los sentidos que señalamos.

Ahora bien, como ya señalamos en la primera parte, la concepción heurística de la predicción presenta problemas epistemológicos que, en el análisis de este caso científico en particular, son fácilmente reconocibles. En efecto, existen muchas dificultades a la hora de determinar si la evidencia fue usada o no en la construcción de la teoría, sobre todo en el caso de la acomodación de los 62 elementos conocidos. Pero aún hay dificultades en relación con las que, en un sentido

⁵⁷ Michael Akeroyd (2003) y Barnes (2005), por ejemplo, también sostienen, con algunas diferencias conceptuales significativas, nuestra interpretación.

epistémico, son claramente predicciones novedosas. En otras palabras, la concepción heurística de la predicción también tiene dificultades para determinar si los elementos incorporados al sistema periódico y, en especial, la corrección de los pesos atómicos de ciertos elementos, fueron necesarios en la construcción de la teoría periódica de Mendeléiev. El mismo Scerri (2007, p. 306, nota 5) reconoce que, en esos términos, el análisis “se complica por el hecho de que, en algunos casos, la acomodación satisfactoria de un elemento se basó en la corrección del peso atómico de esos elementos”.

En definitiva, según nuestra concepción epistémica de la predicción, resulta claro que los nuevos elementos descubiertos y la corrección del peso atómico de algunos de los elementos ya conocidos son predicciones novedosas. Por el contrario, la concepción heurística necesita, además, recurrir a otros criterios, por ejemplo, los conceptos que analizamos en el capítulo 3, entre ellos, el concepto de contrastación independiente. La concepción heurística sostiene, en última instancia, que esta acomodación no es *ad hoc*. Con todo, creemos que son más graves las dificultades para mostrar que la acomodación de los 62 elementos conocidos, y de la evidencia conocida acerca de sus propiedades, es un caso de acomodación en el primero de los sentidos, ya que creemos que es muy difícil sostener que Mendeléiev no usó esa evidencia conocida para formular su sistema. En efecto, tal es así, que Worrall (2005, pp. 824-825) afirma que “la evaluación acerca de qué elementos, [y acerca de cuáles propiedades], conocía previamente Mendeléiev no es tan clara y distinta como uno quisiera”, de manera que la estrategia de estos filósofos es evaluar otro supuesto caso de acomodación de la teoría periódica de Mendeléiev: la acomodación de los gases nobles.

Ahora bien, creemos que esta estrategia es problemática, al menos, por dos razones. Ante todo, porque deja sin una respuesta clara y directa a la que, y en esto coincidió toda la comunidad de los químicos, fue la acomodación satisfactoria más relevante y sorprendente de la teoría; mientras que, por otra parte, el caso de los gases nobles, como evaluaremos con mayor detalle en la sección 6, no es un caso análogo a la acomodación de los 62 elementos ya conocidos. Worrall (2005, p. 824) es ambiguo en este punto, ya que sostiene que “está claro que Mendeléiev tenía un compromiso general con *algún tipo* de periodicidad y que, en virtud de él, operaba mediante la ‘detección de patrones’ y la interpolación y la extrapolación” (énfasis del autor), de manera que, en algún sentido, empleó el conocimiento de algunas propiedades y de algunos elementos, aunque no todos, en la construcción de su teoría. En conclusión, Scerri y Worrall no evalúan el caso de la acomodación de los 62 elementos conocidos y sostienen, de una manera indirecta o por analogía, que es un caso de acomodación no *ad hoc*, esto es, un caso

en el que el conocimiento de la evidencia no fue utilizado en la construcción de la teoría, por lo que es un caso de predicción novedosa que ofreció un apoyo confirmatorio indistinguible del que ofreció el descubrimiento de un elemento desconocido y de algunas de sus propiedades.

En definitiva, a pesar de que consideramos que la concepción epistémica de la predicción es comparativamente superior a la concepción heurística, creemos que, independientemente de que concepción adoptemos, la posición de Scerri y Worrall es predictivista, ya que, según su propia posición, la acomodación de los 62 elementos ya conocidos es, en última instancia, un caso de predicción. Es neutralista solo en el sentido en el que afirma que esta “acomodación” otorga el mismo peso confirmatorio que el descubrimiento de los nuevos elementos y de sus propiedades y que la corrección de los pesos atómicos de ciertos elementos ya conocidos. Según nuestra posición epistémica, la acomodación de los 62 elementos conocidos y de la evidencia conocida acerca de sus propiedades es, justamente, un caso de acomodación genuina de la evidencia que confirma la teoría, aunque en menor medida que el éxito de las predicciones novedosas. Por esta razón, sostenemos que este caso histórico apoya un predictivismo moderado. Además, en la sección 6, mostraremos que este caso de acomodación genuina de la evidencia no es análogo a la supuesta acomodación de los gases nobles, de manera que el análisis de Scerri y Worrall tampoco es suficiente para sostener que la sistematización de los 62 elementos ya conocidos fue un caso de predicción novedosa.

Con todo, como ya señalamos, sostenemos que la acomodación de la evidencia conocida confirma una teoría. En las próximas secciones, ofreceremos un esquema bayesiano de la confirmación que permite apoyar esta afirmación. En esta sección, solo adelantaremos que la teoría de Mendeléiev logró explicar, de forma simple y unificada, varias anomalías de las teorías rivales que, luego, se contrastaron exitosamente de manera independiente. Sin embargo, la teoría periódica de Mendeléiev no solo no resolvió todas esas anomalías, sino que, además, originó otras que no pudo explicar de una manera satisfactoria. Por ejemplo, varios elementos, en especial, las tierras raras, no pudieron ser ubicados exitosamente en ningún lugar de la tabla periódica. Otros elementos, por su parte, fueron ubicados en espacios que eran incompatibles con los que indicaba la teoría, esto es, el peso atómico del elemento no coincidía con las propiedades químicas que ese elemento debía tener por pertenecer a un grupo específico de elementos. En suma, el punto consiste en señalar que todas estas anomalías de la teoría fueron perdiendo peso, esto es, se fueron debilitando como problema abierto de la teoría, a medida que se verificaban las predicciones novedosas de la teoría y por el hecho de que no se contaba con una teoría rival mejor confirmada que resolviera todos los problemas.

7.5 La disolución del problema según Colin Howson y Allan Franklin

En esta sección, evaluaremos la posición de Howson y Allan Franklin (1991), la cual, según nuestra posición, conduce a una *disolución* del problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida. Howson y Franklin (1991) argumentan en contra del predictivismo y de una supuesta ventaja confirmatoria de la acomodación de la evidencia conocida respecto de las predicciones. En este sentido, sostienen que el incremento en el grado de confirmación de la teoría de Mendeléiev (o sea, pese a todo, admiten que la teoría fue confirmada) no dependió de las características específicas de la evidencia a su favor, esto es, de si la evidencia fue una predicción o de si dicha evidencia ya se conocía y fue acomodada por la teoría.

La posición de Howson y Franklin nos recuerda el antipredictivismo clásico, ya que sostienen que la supuesta ventaja confirmatoria de la verificación de las predicciones novedosas por sobre la acomodación satisfactoria de la evidencia conocida es solo una apariencia: un mero refuerzo psicológico. Para Howson y Franklin (1991, p. 578), la confirmación de la teoría periódica no fue el resultado de una virtud propia de las predicciones (como sostenía el predictivismo más clásico, por ejemplo, el de Popper), ni de una deficiencia característica de la acomodación de la evidencia conocida (como sostienen, por ejemplo, Leplin y los predictivistas que identifican a la acomodación como una estrategia *ad hoc*), sino al hecho de que “en ese periodo histórico no había ninguna teoría química plausible de los elementos [rival de la de Mendeléiev] que explicara satisfactoriamente las 62 acomodaciones y [los nuevos elementos]”. En otras palabras, la teoría periódica de Mendeléiev incrementó su grado de confirmación porque no existía ninguna teoría alternativa que tuviera, al menos, sus mismas virtudes epistémicas.

Howson y Franklin (1991) alegan que el galio y el escandio se descubrieron de una manera independiente, esto es, que los científicos que los descubrieron no solo no buscaban contrastar las predicciones de Mendeléiev, sino que, incluso, ni conocían esas predicciones. En este sentido, la teoría de Mendeléiev fue confirmada porque implicaba la nueva evidencia de una manera simple y unificada, a diferencia de las teorías alternativas. Creemos que, según esta posición, la “explicación” de un fenómeno, por ejemplo, una propiedad ya conocida de un elemento, o el descubrimiento de un nuevo elemento, debe concebirse en el sentido de que la proposición que lo describe se deduce de la teoría, especialmente, sin recurrir a ninguna clase de estrategia que pueda sospecharse *ad hoc*, ya sea una modificación *ad hoc* de la propia teoría o la introducción de hipótesis auxiliares *ad hoc* en el sistema teórico (o ambas). Howson y Franklin (1991), intentan mostrar que el esquema bayesiano de la confirmación apoya su

posición, debido a que, para ellos, en este esquema, cierta evidencia confirma una teoría con independencia de que, además, consideremos que dicha evidencia expresa una predicción o un fenómeno ya conocido.

Sea M el método de predicción, esto es, el método por el cual se genera cualquier hipótesis (en este caso científico, este método no es más que la teoría periódica de Mendeléiev); H , la hipótesis generada, por ejemplo, “existen tres elementos en el sistema periódico que aún no se han descubierto”; E , la evidencia, por ejemplo, el descubrimiento de dos de esos elementos; además, M implica H , ya que, si consideramos que la teoría es verdadera, también lo será la hipótesis H , por lo que $\Pr(H|M \& K) = 1$. Por lo tanto, según el cálculo de probabilidades:

$$\begin{aligned} \Pr(H|E \& K) &= [\Pr(H|E \& M \& K) \times \Pr(M|E \& K)] + [\Pr(H|E \& \neg M \& K) \times \Pr(\neg M|E \& K)] \\ &= \Pr(M|E \& K) + \Pr(H|E \& \neg M \& K) \times \Pr(\neg M|E \& K) \end{aligned}$$

$$\text{(dado que } \Pr(H|E \& M \& K) = 1)$$

Ahora bien, según Howson y Franklin, todo el punto del caso de la teoría periódica de Mendeléiev se encuentra en el factor $\Pr(M|E \& K)$, ya que, si $\Pr(M|E \& K) \cong 1$, entonces también lo será $\Pr(H|E \& K)$. Según estos filósofos, esa fue la situación en el caso de la teoría periódica de Mendeléiev. En efecto, “en ese momento no existía ninguna teoría químicamente plausible de los elementos que explicara los 62 [elementos] y [esa evidencia, esto es, la existencia de los dos nuevos elementos] que no fuera la de Mendeléiev” (Howson y Franklin 1991, p. 578), por lo que, en consecuencia, la probabilidad de esa evidencia dado el conjunto de las teorías periódicas rivales a la de Mendeléiev (entre ellas, la de Lothar Meyer) era muy baja (esto es, $\Pr(E|\neg M) \ll 1$) y la probabilidad de la teoría periódica de Mendeléiev dada esa misma evidencia era bastante alta (esto es, $\Pr(M|E \& K) \cong 1$). En suma, como ya hemos señalado, Howson y Franklin (1991, p. 577) sostienen que este esquema bayesiano de la confirmación muestra que “ M implica la verdad de H y E independientemente de si Mendeléiev conocía, o no, la evidencia cuando formuló su teoría periódica [...] en otras palabras, el apoyo confirmatorio de E hacia H es, *ceteris paribus*, independiente del conocimiento de la evidencia” (énfasis de los autores).

En conclusión, creemos que este análisis de Howson y Franklin disuelve el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia porque evade, en última instancia, la situación problemática que emerge en las teorías de la confirmación como resultado de la distinción entre una evidencia que expresa una predicción y una evidencia conocida y acomodada por la teoría. Según estos filósofos, el esquema bayesiano no discrimina entre esta clase de evidencia a la hora

de evaluar su apoyo confirmatorio. En la teoría bayesiana, solo intervienen probabilidades, por lo que la confirmación de una teoría, por ejemplo, la teoría periódica de Mendeléiev, depende, solamente, de la probabilidad previa de esa teoría y de las *likelihoods* de la evidencia, esto es, de la probabilidad de la evidencia dada la teoría periódica de Mendeléiev y de la probabilidad de la evidencia dado el conjunto de las teorías periódicas alternativas. Con todo, si bien el valor de estas probabilidades previas es subjetivo, está epistémicamente constreñido, y en esto concuerdan Howson y Franklin, por la relación con el conocimiento previo, la evidencia, las teorías rivales, etc. No obstante, sostenemos que, si la evidencia es una predicción o describe un fenómeno que ya se conoce, entonces, las probabilidades previas difieren en su valor y, en consecuencia, afectan la relación de confirmación. Creemos que una posición que no disuelve el problema, esto es, que no lo evade, debe analizar, justamente, el valor de las probabilidades en función de la interpretación del concepto de evidencia y de su relación con las teorías rivales y con el conocimiento previo. En otras palabras, creemos que el valor de la probabilidad previa de la evidencia, por ejemplo, tiene que estar epistemológicamente constreñido en función de si esa evidencia es una predicción novedosa o si ya se conocía y fue acomodada por la teoría.

7. 6 El predictivismo moderado y la acomodación genuina de la evidencia conocida

En esta sección, intentaremos mostrar que, pese a las limitaciones de la posición de Howson y Franklin, una parte de su análisis apoya nuestra hipótesis de que la acomodación genuina de la evidencia conocida, entendida como la acomodación exitosa de la *evidencia anómala para las teorías rivales de una teoría*, también es un caso de confirmación que incrementa, aunque en menor medida que el éxito de las predicciones novedosas, el grado de confirmación de la teoría. Sea TM , la teoría de Mendeléiev; $\neg TM$, las teorías periódicas rivales; y An , la evidencia anómala para esas teorías, por ejemplo, la explicación de la repetición periódica de las propiedades de los elementos conocidos; si TM acomoda satisfactoriamente An , entonces, como sostuvimos en la sección 8 del capítulo 4, $\Pr (An | TM \& K) = 1$ o $\Pr (An | TM \& K) \cong 1$; además, si An es una evidencia anómala para las teorías rivales, entonces $\Pr (An | \neg TM \& K) \ll 1$, ya que, justamente, esas teorías no pueden explicar, de manera simple y unificada, esa evidencia; por lo tanto, según la formulación del teorema de Bayes que se basa en el cociente de las *likelihoods*, An confirma TM , ya que, si el cociente $\Pr (An | \neg TM \& K) / \Pr (An | TM \& K) \ll 1$, entonces, *ceteris paribus*, $\Pr (TM | An \& K) > \Pr (TM | K)$.

De esta manera, la acomodación de la evidencia acerca de las propiedades de los elementos ya conocidos confirmó, de una manera genuina y significativa, la teoría de Mendeléiev porque esa evidencia conocida era anómala para las teorías periódicas rivales. Además, cuánto más difícil sea la explicación de la repetición de esas propiedades por parte de las teorías rivales, o bien cuanto más hipótesis y supuestos auxiliares necesiten para explicarla, más bajo será el valor de $\Pr (An | \neg TM \& K)$; y, por otra parte, cuanto más simple y unificada sea la explicación por parte de la teoría de Mendeléiev, más alto será el valor de $\Pr (An | TM \& K)$; por lo que más bajo será el valor de $\Pr (An | \neg TM \& K) / \Pr (An | TM \& K)$ y, en consecuencia, An incrementará en mayor medida el grado de confirmación de TM .

Además, en la sección 8 del capítulo 4, también mostramos que, si una teoría acomoda cierta evidencia ya conocida, de manera simple y unificada, esa evidencia confirma, genuina y significativamente, la teoría. En efecto, si la teoría unifica de forma simple una variedad de evidencia que, inicialmente, se creía independiente, entonces, esa evidencia incrementa la probabilidad posterior de la teoría con respecto a su probabilidad previa y, en consecuencia, la acomodación de esas evidencias confirma la teoría. Ahora bien, como mostramos, este fue el caso de la teoría periódica de Mendeléiev. El hito fundamental de la teoría de Mendeléiev fue unificar bajo un mismo criterio bien definido una serie de fenómenos, esto es, las propiedades conocidas de los elementos, que, en un principio, se creían informativamente independientes entre sí. En otras palabras, la teoría de Mendeléiev mostró que las propiedades fundamentales de los elementos ya conocidos que, en ausencia de esa teoría, parecían independientes entre sí, están relacionadas de tal modo que el conocimiento de una permite obtener conocimientos sobre las otras. Como sostuvimos en la sección 8 del capítulo 4, una forma de calcular el valor del “poder unificador” de una teoría en el marco de la teoría bayesiana, esto es, el grado en el que una teoría unifica ciertos fenómenos, es mediante la ecuación: $\Pr_U (p, q; T | K) = \Pr_{Inf} (p, q | T \& K) - \Pr_{Inf} (p, q | K)$, donde $\Pr_{Inf} (p, q | T \& K) = \text{Log}_2 [\Pr (q | p \& T \& K) / \Pr (q | T \& K)]$ y $\Pr_{Inf} (p, q | K) = \text{Log}_2 [\Pr (q | p \& K) / \Pr (q | K)]$. Además, también sostuvimos que el grado de confirmación de la teoría puede calcularse mediante la siguiente fórmula: $\mathbf{Cf} (T, E_1, E_2 | K) = \mathbf{Cf} (T, E_1 | K) + \mathbf{Cf} (T, E_2 | K) + \Pr_U (E_1, E_2; T | K) - \Pr_U (E_1, E_2; \neg T | K)$, esto es, mediante cuatro factores: el grado de apoyo que E_1 le proporciona a la teoría, el grado de apoyo que E_2 le otorga a la teoría (ambos apoyos interpretados de manera individual), y otros dos factores que, como señalamos, dan cuenta del grado en el que esa teoría unifica las dos evidencias.

Si TM es la teoría periódica de Mendeléiev; si $\neg TM$ son las teorías periódicas rivales; si E_1 es una evidencia conocida, por ejemplo, “el litio tiene un peso atómico de 7 y ciertas propiedades

químicas específicas”; y si E_2 es otra evidencia ya conocida, por ejemplo, “el sodio tiene un peso atómico de 23 y ciertas propiedades químicas específicas; ocurre que, si $\Pr_U(E_1, E_2; TM|K) > \Pr_U(E_1, E_2; \neg TM|K)$, entonces $\Pr(TM|E_1 \& E_2 \& K) > \Pr(TM|K)$, esto es, la unificación de la evidencia conocida confirma la teoría. Ahora bien, como ya analizamos, esto ocurrió en el caso de la tabla periódica de Mendeléiev. En efecto, en este caso científico, ocurre que $\text{Log}_2 [\Pr(E_1|E_2 \& TM \& K) / \Pr(E_1|TM \& K)] > \text{Log}_2 [\Pr(E_1|E_2 \& \neg TM \& K) / \Pr(E_1|\neg TM \& K)]$, puesto que las teorías rivales de la de Mendeléiev no unificaron la evidencia conocida de manera satisfactoria y, por el contrario, la teoría de Mendeléiev lo consiguió con un éxito sorprendente. En suma, el modelo bayesiano muestra que, si existen dos evidencias conocidas, por ejemplo, E_1 y E_2 , que, antes de la formulación de la teoría de Mendeléiev parecían independientes entre sí; y si, incluso, estas evidencia confirman, de manera individual, en igual medida, la teoría de Mendeléiev y las teorías rivales; si la teoría de Mendeléiev las unifica y las teorías rivales no las unifican, entonces, la evidencia acomodada incrementa el grado de confirmación de la teoría de Mendeléiev.

La cantidad y la precisión de la información de la evidencia y su heterogeneidad con respecto al resto de la evidencia conocida son otros conceptos que nos permiten mostrar que la evidencia que acomodó la teoría periódica de Mendeléiev incrementó su grado de confirmación. Según el modelo bayesiano de la diferencia entre las *likelihoods*, que desarrollamos en la primera parte, la heterogeneidad de la evidencia conocida se interpreta de la siguiente manera. Sea E_c una evidencia conocida y E_{c^*} otra evidencia conocida, la teoría bayesiana sostiene que, si E_c y E_{c^*} tienen un contenido similar, entonces, $\Pr(E_c|E_{c^*}) \cong 1$. Además, si E_{c^*} es explicada de manera exitosa por las teorías rivales, entonces, $\Pr(E_{c^*}|\neg TM \& K) = 1$, por lo que, en consecuencia, se da que $\Pr(E_c|\neg TM \& K) \cong 1$. De esta manera, la evidencia conocida y similar a otras evidencias conocidas no confirma, de manera significativa, la teoría, ya que $\Pr(E_c|TM \& K) \cong \Pr(E_c|\neg TM \& K)$. Por el contrario, si el contenido de E_c difiere del de E_{c^*} , entonces, E_c confirma la teoría y, además, cuanto más heterogéneo sea el contenido de E_c respecto del resto de las evidencias conocidas mayor será el incremento en el grado de confirmación de la teoría. Como ya hemos señalado, esta situación ocurrió en el caso de la teoría periódica de Mendeléiev. En efecto, la evidencia conocida difería en su contenido de toda la evidencia conocida que había sido explicada por las otras teorías químicas alternativas. En este sentido, si E_c es la probabilidad de la acomodación de la evidencia de la regularidad de las repeticiones en el sistema periódico de Mendeléiev y E_{c^*} es el resto de la evidencia conocida que ya había sido explicada por las teorías rivales, entonces $\Pr(E_c|E_{c^*}) \cong 1$, $\Pr(E_c|\neg TM \& K) \cong 1$, $\Pr(E_c|TM \& K) > \Pr(E_c|\neg TM \& K)$ y, en consecuencia, E_c confirma TM .

Con todo, el concepto de heterogeneidad apoya un predictivismo moderado, esto es, si bien muestra que la acomodación de la evidencia conocida confirma la teoría, también muestra que la verificación de sus predicciones incrementa, en mayor medida, su grado de confirmación que la acomodación. En efecto, si Ep es una predicción de la teoría de Mendeléiev, por ejemplo, “hay un nuevo elemento aún no descubierto de peso atómico 68”, su contenido es más heterogéneo respecto del resto de la evidencia conocida que el contenido de Ec , de manera que no solo $\Pr(Ep|Ec) \cong 1$, sino que, en general, $\Pr(Ep|Ec) \ll 1$; y entonces $\Pr(Ep|\neg TM \& K) \ll 1$, por lo que no solo ocurre que $\Pr(Ep|TM \& K) > \Pr(Ep|\neg TM \& K)$, sino que $[\Pr(Ep|TM \& K) > \Pr(Ep|\neg TM \& K)] > [(\Pr(Ec|TM \& K) > \Pr(Ec|\neg TM \& K))]$. En otras palabras, el descubrimiento del nuevo elemento con un peso atómico de 68 incrementa en mayor medida el grado de confirmación de la teoría de Mendeléiev que la acomodación de la evidencia de la repetición de la regularidad de las propiedades de los elementos conocidos en el sistema periódico.

Por último, creemos que el concepto de cantidad y precisión de la información de la evidencia también apoya un predictivismo moderado. En efecto, si Ec es una evidencia ya conocida, por ejemplo, “el litio, cuyo peso atómico es 7, y el sodio, cuyo peso atómico es 23, comparten varias de sus propiedades fundamentales”; y si An es otra evidencia ya conocida, por ejemplo, “cada un incremento x en el peso atómico de los elementos, esos elementos comparten varias de sus propiedades fundamentales”; entonces, por una parte, $\Pr(An|TM \& K) = \Pr(Ec|TM \& K) = 1$; y, por otra, $\Pr(An|\neg TM \& K) < \Pr(Ec|\neg TM \& K)$, puesto que, justamente, el contenido de An es más preciso e informativo, por lo que es menos probable que las teorías rivales puedan acomodarla de una manera más exitosa que a Ec . Por lo tanto, $[\Pr(An|\neg TM \& K) / \Pr(An|TM \& K)] < [\Pr(Ec|\neg TM \& K) / \Pr(Ec|TM \& K)]$, de manera que, en consecuencia, si bien ambas evidencias conocidas incrementan la probabilidad posterior de esta teoría y, por lo tanto, confirman significativamente la teoría, la evidencia acomodada con mayor contenido y mayor precisión de la información incrementa, pero en mayor medida, la probabilidad posterior de la teoría, esto es, $\Pr(TM|An \& K) > \Pr(TM|Ec \& K) > \Pr(TM|K)$.

Con todo, como adelantamos anteriormente, si Ep es una predicción novedosa de una teoría, entonces incrementa en mayor medida su grado de confirmación que Ec y que An , esto es, que la acomodación genuina de la evidencia conocida. En efecto, si Ep es una predicción novedosa, por ejemplo, “hay un nuevo elemento aún no descubierto de peso atómico 68”; y si An es una evidencia ya conocida, por ejemplo, “cada un incremento x en el peso atómico de los elementos, esos elementos comparten varias de sus propiedades fundamentales”; entonces, por una parte, $\Pr(Ep|TM \& K) < \Pr(An|TM \& K)$ (efectivamente, la probabilidad de que se verificara la

predicción dada la teoría periódica de Mendeléiev era muchísimo más baja que la probabilidad de que esa teoría acomodara la evidencia ya conocida); y, por otra parte, $\Pr (Ep | \neg TM \& K) < \Pr (An | \neg TM \& K)$ (en este caso, ya que la predicción tiene un contenido mucho más informativo y preciso que la evidencia conocida, es plausible que su probabilidad dadas las teorías rivales a la de Mendeléiev sea más baja que la probabilidad de la evidencia conocida). De esta manera, $[\Pr (Ep | \neg TM \& K) / \Pr (Ep | TM \& K)] < [\Pr (An | \neg TM \& K) / \Pr (An | TM \& K)]$, por lo que, según este esquema, si Ep es una predicción exitosa de la teoría de Mendeléiev y An es una evidencia conocida que la teoría de Mendeléiev acomodó de manera satisfactoria, entonces, si bien ambas evidencias confirman la teoría, Ep incrementa en mayor medida su grado de confirmación, esto es, $\Pr (TM | Ep \& K) > \Pr (TM | An \& K)$.

7.7 La acomodación exitosa de los gases nobles

En esta sección evaluaremos un caso especial de confirmación de la teoría de Mendeléiev: el descubrimiento de los gases nobles. Como señalamos en la sección 4, Scerri y Worrall (2001) consideran que este caso es semejante al de la acomodación de los 62 elementos ya conocidos y de la evidencia conocida acerca de sus propiedades y que, en consecuencia, también es un caso de acomodación de la evidencia conocida. Así, Scerri (2007, p. 151) sostiene que la acomodación de la evidencia acerca de los llamados gases nobles “representa un contraejemplo interesante de la tesis predictivista, en el sentido de que casi nadie, ni el propio Mendeléiev, había predicho, ni siquiera sospechado, la existencia de una familia entera de nuevos elementos”. Por ello, la acomodación exitosa de la evidencia acerca de los gases nobles apoyaría, como señalamos en aquella sección, la posición neutralista de Scerri y Worrall acerca del problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida.

En 1894, Lord Rayleigh y Ramsay afirmaron que sus análisis espectroscópicos mostraban la existencia de un nuevo elemento (luego, llamado “argón”). Desde estos primeros experimentos, el análisis y la determinación de las propiedades del argón fue una tarea teórica y prácticamente compleja. En efecto, las propiedades químicas que mostraba este supuesto elemento eran muy difíciles de analizar, puesto que la evidencia mostraba que el gas era completamente inerte, de manera que Rayleigh y Ramsay se vieron forzados a emplear mediciones físicas para determinar el peso atómico del nuevo elemento: la atomicidad del argón, esto es, la cantidad de átomos que forman una molécula del elemento, fue crucial para determinar el peso atómico del argón. Este fue uno de los primeros problemas de este nuevo elemento, ya que Rayleigh y Ramsay

sostenían que la evidencia disponible mostraba que este nuevo elemento era un gas monoatómico, esto es, de atomicidad igual a 1. El problema era que ningún otro elemento del sistema periódico de Mendeléiev presentaba esta propiedad física, ni era químicamente inerte, lo que, en consecuencia, era una dificultad para la teoría. En otras palabras, las propiedades del argón cuestionaban la periodicidad del sistema, esto es, la repetición regular de las propiedades de los elementos: el argón no podía ser ubicado en ningún lugar de la tabla periódica.

Ante esta evidencia, Mendeléiev (1895), afirmó que este gas no era un nuevo elemento, sino una forma triatómica del nitrógeno. En efecto, rechazaba que fuera un gas monoatómico porque esta propiedad, según él, parecía incompatible con su teoría. Incluso, Mendeléiev (1895, p. 543), sostuvo que, si el argón era un gas monoatómico, entonces, “su peso atómico debería estar entre los pesos atómicos del cloro y del potasio, [por lo que] el nuevo *elemento (body)* tendría que ser ubicado en el octavo grupo de la tercera serie; pero la existencia de un octavo grupo en esa serie difícilmente podría ser admitida”. Y agregó, “por lo tanto, parece muy poco probable que el peso atómico del argón sea alrededor de 40” (Mendeléiev 1895, p. 543). La evidencia era clara y, sin embargo, Mendeléiev no la evaluó adecuadamente, ya que, de hecho, su teoría periódica no era incompatible con la introducción de un octavo grupo en el tercer periodo de la tabla. En suma, concluyó que este nuevo gas era una molécula triatómica con un peso atómico acorde de 14, por lo que, en última instancia, era nitrógeno condensado (N_3). Ahora bien, en un lapso de solo tres años luego de este descubrimiento, se descubrieron otros cuatro gases monoatómicos con propiedades fisicoquímicas semejantes a las del argón, lo que constituía verdaderamente una nueva familia de elementos. Ante esta nueva evidencia, y si bien no estaba del todo convencido de la completa inercia de un elemento, Mendeléiev aceptó la incorporación de un octavo grupo en el tercer periodo de la tabla periódica. Además, luego sostuvo que este hecho constituía una confirmación de la *aplicabilidad* general de su sistema periódico.

Scerri y Worrall (2001, p. 445) afirman que este hecho fue un caso de acomodación genuina de la evidencia que, además, “fue uno de los mayores logros de la teoría [de Mendeléiev] (*major feather in its cap*), no menos importante que cualquiera de sus otros éxitos empíricos, sea éste un éxito predictivo en un sentido *temporalmente novedoso* o no” (énfasis nuestro), de manera que, en consecuencia, sostienen que, al menos en el caso de la teoría periódica de Mendeléiev, tanto el éxito predictivo, como la acomodación de la evidencia conocida confirmaron, en igual medida, la teoría. Con todo, como adelantamos en la sección 4, creemos que este análisis de Scerri y Worrall es inadecuado y es el producto de su concepción heurística de la predicción. En efecto, si consideramos que una predicción es una evidencia que no se usó en la construcción

de una teoría, *independientemente del conocimiento de la evidencia*, la incorporación de este nuevo grupo de elementos también fue una predicción heurísticamente novedosa de la teoría periódica de Mendeléiev, puesto que, como señalamos, el conocimiento de dicha evidencia no fue empleado en la construcción de la teoría periódica e, incluso, el sistema teórico tampoco se modificó en ninguno de sus aspectos fundamentales, esto es, no fue necesario recurrir a ninguna estrategia ad hoc que afectara la simplicidad del sistema teórico (por ejemplo, no se modificó el conjunto de las hipótesis auxiliares del sistema teórico, ni se produjo un cambio de teoría).

Creemos que esta interpretación heurística de este caso científico específico conduce a un análisis normativa y descriptivamente inadecuado. Ante todo, no permite una demarcación significativa entre dos hechos que, para la mayoría de la comunidad científica, fueron claramente distintos. Independientemente de su supuesta paridad epistémica, la comunidad científica consideró que la postulación de la existencia de un nuevo elemento y de algunas de sus propiedades fundamentales y la corrección de los pesos atómicos de algunos de los elementos conocidos, por una parte; y la acomodación de los 62 elementos ya conocidos y de la evidencia acerca de sus propiedades, por otra parte, eran hechos significativamente diferentes. Además, el descubrimiento y la incorporación de los gases nobles al sistema periódico, tampoco fue considerado por los científicos un hecho semejante a la acomodación de los 62 elementos y tampoco, en principio, al descubrimiento de los elementos predichos por Mendeléiev.

Por esta razón, creemos que la concepción epistémica de la predicción es más adecuada para evaluar el caso de la teoría periódica de Mendeléiev. Según esta concepción, la incorporación de la nueva familia de los gases nobles al sistema periódico fue un caso de predicción novedosa, del mismo modo que la predicción de los tres nuevos elementos y de algunas de sus propiedades y que la corrección de los pesos atómicos de algunos elementos conocidos. Por otra parte, la acomodación de los 62 elementos conocidos y de la evidencia acerca de sus propiedades fue un caso de acomodación genuina de la evidencia conocida. En efecto, el hecho de que Mendeléiev no haya advertido esas predicciones no significa, en ningún sentido epistémicamente relevante, que la evidencia no sea una predicción. La concepción epistémica de la predicción sostiene que una predicción es una evidencia que se desconoce en el momento en el que se formula una teoría y, efectivamente, los gases nobles se desconocían cuando Mendeléiev formuló su teoría. En este sentido, la teoría periódica, y las teorías en general, son herramientas útiles para realizar predicciones, independientemente del momento en el que se realicen y de la pericia de los científicos. Si este no fuera el caso, la teoría quedaría estancada, ya que solamente contarían las

predicciones que se realizaron en el mismo momento en el que se la formuló, lo que parece un hecho histórica y epistemológicamente implausible.

Creemos que el punto epistémicamente relevante en el caso del descubrimiento y, luego, de la incorporación de los gases nobles al sistema periódico es su relación con esa teoría y, además, con las teorías químicas alternativas. En efecto, la teoría periódica de Mendeléiev, al menos en el caso de los gases nobles, no tuvo que modificarse en ningún sentido relevante para incorporarlos y, de hecho, su incorporación no solo no era incompatible con la teoría, sino que, incluso, era más probable, dados el sistema periódico de Mendeléiev y el conjunto de la evidencia disponible, la existencia de este grupo que su inexistencia. Creemos que el problema de Mendeléiev a la hora de evaluar los nuevos elementos fue, justamente, no analizar con mayor detalle las implicancias de su teoría y la evidencia a su favor. Creemos que Mendeléiev sobreestimó el análisis de las propiedades químicas de los elementos conocidos a la hora de su evaluación, lo que lo condujo, en última instancia, a su escepticismo acerca de la existencia de elementos monoatómicos de muy baja reactividad, como los gases nobles. Una vez aceptadas estas propiedades, la incorporación de estos elementos a la teoría se dio, como ya hemos señalado, de manera *natural*.

7. 8 La evaluación de la posición de Stephen Brush

En esta sección, evaluaremos el predictivismo de Brush. Brush (2015, p, 89) sostiene que “la tesis predictivista, [esto es, que la verificación de una predicción] novedosa mejora la confirmación [de una teoría], recibe poco apoyo empírico de la historia de la ciencia”; y agrega que, en especial, “las predicciones novedosas no desempeñan, esencialmente, ningún papel relevante en la aceptación de la teoría física más importante del siglo XX, esto es, de la mecánica cuántica”. En otras palabras, la evidencia histórica no mostraría que los científicos concedan mayor importancia a las predicciones novedosas que a la acomodación de la evidencia conocida. Sin embargo, Brush (2015, p. 90) concede que, si analizamos la historia de la ciencia moderna, existe “un caso que proporciona un *apoyo limitado* a la tesis predictivista: [la verificación] de las predicciones novedosas ofreció cierto valor como evidencia en el establecimiento de la ley periódica, aunque la mayoría de los químicos no la consideraron, al menos, *tan importante como* el éxito de dicha ley en la organización del conocimiento de los elementos conocidos” (énfasis nuestro). Así, Brush se encontraría, en general, más cerca de una posición no predictivista o, al menos, de una posición más neutralista, que de una posición predictivista: el predictivismo no

solo es un caso excepcional en la historia de la ciencia, sino que, además, cuando fue el caso, esto es, en el ejemplo de la teoría periódica de Mendeléiev, la acomodación satisfactoria de la evidencia conocida desempeñó un papel al menos tan relevante como el éxito predictivo.

Por estas razones, consideramos que la posición final de Brush respecto del caso de la teoría periódica de Mendeléiev es ambigua, puesto que, en diferentes pasajes de sus trabajos, parece defender dos posiciones que se hallan en tensión. Por una parte, Brush (2015, p. 165) parece sostener una posición más predictivista cuando afirma que su investigación sugiere que la mayoría de los químicos de la época les dio mayor crédito a las predicciones novedosas, esto es, "consideraron que la predicción de un nuevo elemento y de sus propiedades *contaron más, [ceteris paribus]*, que la acomodación satisfactoria de un nuevo elemento en la tabla periódica, aunque no 31 veces más, [tal como afirman Maher y Lipton]" (énfasis agregado). A favor de esta posición, Brush (1996) muestra que recién después del descubrimiento de uno de los elementos predichos por Mendeléiev (esto es, del galio) los libros de texto de química, en particular, los publicados en Estados Unidos y en el Reino Unido, incluyeron la teoría periódica de Mendeléiev entre los temas desarrollados. El punto es que, antes de la verificación de una de sus predicciones, no hay ninguna mención de la teoría de Mendeléiev.

Brush (1996, p. 609) señala, además, que, de acuerdo con la investigación de la historiadora de la ciencia Nekoval-Chikhaoui, la misma situación se dio en Francia, por lo que esta historiadora concluye que "la ley [de Mendeléiev] debe su éxito, indudablemente, a su carácter predictivo". En suma, Brush (1996) aporta mucha evidencia histórica en la que renombrados químicos de la época señalan la ventaja epistémica de la verificación de las predicciones novedosas por sobre la acomodación de la evidencia conocida. Para dar solo un ejemplo, Carl Hell, un influyente químico de la época, sostuvo que la adecuación entre las propiedades descubiertas del galio y las predicciones de esas propiedades realizadas por Mendeléiev "contribuyó, en gran medida, al reconocimiento y a la *confirmación* de la ley periódica" (citado en Brush 1996, p. 610, énfasis nuestro). Por último, Brush (1996, p. 610) sostiene que el propio Mendeléiev defendió la ventaja confirmatoria de las predicciones, ya que, según Mendeléiev, los descubridores de los nuevos elementos que él había predicho en 1869 "fueron los *verdaderos corroboradores* de la ley periódica" e, incluso, llegó a afirmar que el descubrimiento del tercero de los elementos que había predicho, esto es, del germanio, "fue la *confirmación más importante* de la ley periódica" (énfasis nuestro). En estos términos, es claro que, para Mendeléiev, la verificación de las predicciones novedosas incrementaba, en mayor medida, el grado de confirmación de su teoría que cualquiera de sus otros éxitos empíricos.

Por otra parte, en otros pasajes de sus trabajos, Brush parece defender una posición más cercana al antipredictivismo, esto es, a favor de una ventaja confirmatoria de la acomodación satisfactoria de la evidencia conocida. Por ejemplo, Brush (2015, pp. 166-167) sostiene que "casi todas las discusiones acerca de la ley periódica en los libros de texto de química del siglo XIX, incluida la teoría de Mendeléiev, les prestan mucha más atención a las correlaciones entre las propiedades de los elementos conocidos y los pesos atómicos que a la predicción de nuevos elementos". Para defender de esta posición, Brush también proporciona una gran cantidad de evidencia histórica fundada en la declaración de algunos de los químicos de mayor renombre de la época. Por ejemplo, Ira Remsen, Henry Roscoe y Wilhelm Ostwald mostraron gran admiración por el éxito predictivo de la teoría de Mendeléiev, pero no sostuvieron que dicho éxito, por sí solo, proporcionara a los científicos una confiabilidad suficiente en la ley periódica. Además, Brush (1996, p. 613) muestra que, "incluso en el caso del galio [primera verificación de una predicción realizada por Mendeléiev], pese a la sorprendente predicción de Mendeléiev, su descubridor sostuvo, [como ya señalamos previamente], que aún existían algunas discrepancias entre la teoría [de Mendeléiev] y las observaciones". En este sentido, para los antipredictivistas, el éxito predictivo puede impresionar a quienes no se dedican a la ciencia, pero no constituye, por sí mismo, un hecho que incremente, al menos, en mayor medida, el grado de confirmación de una teoría que la acomodación, esto es, que una explicación adecuada, de toda la evidencia química conocida.

Con todo, consideramos que Brush (1996, p. 612 y 2015, p. 85) expresa su posición de la forma más elaborada y más clara cuando afirma que la ley periódica de Mendeléiev quedó establecida porque, *en orden de importancia*,

- (1) describió con precisión la correlación entre las propiedades fisicoquímicas y los pesos atómicos de casi todos los elementos ya conocidos; (2) permitió corregir los pesos atómicos de varios elementos conocidos [...] y (3) predijo exitosamente la existencia y las propiedades de nuevos elementos.

En este pasaje, Brush defiende una ventaja confirmatoria de la acomodación de la evidencia conocida respecto de las predicciones novedosa, debido a que (1) expresa, justamente, la sistematización de los 62 elementos conocidos en una sucesión ordinal de acuerdo a un criterio unívoco; mientras que (2) y (3) expresan, como ya hemos analizado, las predicciones novedosas de la teoría. Brush (1996 y 2015) denomina "contrapredicciones" a la corrección de los pesos atómicos de los elementos ya conocidos y las incluye dentro de las predicciones novedosas de la teoría porque, si bien se refieren a una propiedad conocida de elementos ya conocidos que

solamente corrige un valor previamente disponible, *predice* un valor diferente, sujeto a contrastación, que *contradice* el valor actual según la evidencia disponible.

Sin embargo, en la conclusión de su artículo de 1996, así como en la conclusión del capítulo 5 de su libro de 2015, Brush señala de una manera explícita su posición a favor de la ventaja confirmatoria de las predicciones novedosas, al menos, en el caso particular de la teoría de Mendeléiev. En efecto, Brush (1996, p. 617 y 2015, p. 169) concluye que la ley periódica de Mendeléiev es un caso especial en la historia de la ciencia en el que el éxito de una predicción no solo obligó a los científicos a prestar mayor atención a esa teoría, sino que "la novedad desempeñó un papel más significativo (*aunque no dominante*) con respecto al apoyo empírico de una teoría: la predicción de las propiedades de un elemento aún desconocido otorgó un *mayor apoyo* que la explicación de las propiedades de un elemento ya conocido" (énfasis nuestro). En definitiva, si nos quedamos con esta conclusión, su posición se encuentra más cerca de un predictivismo moderado según el cual la verificación de las predicciones de una teoría incrementa, en mayor medida, el grado de confirmación de la teoría que la acomodación de la evidencia conocida. Por último, creemos que la ambigüedad de Brush se debe, en el fondo, al tipo de evidencia que evalúa, esto es, a la evidencia histórica. En efecto, consideramos que la evidencia histórica, si no se interpreta desde algún punto de vista epistemológico, no resulta suficiente, ni adecuada, para evaluar un problema epistemológico como el de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia. En definitiva, sostenemos que, desde un punto de vista epistemológico, el caso de la tabla periódica de Mendeléiev apoya un predictivismo moderado.

CAPÍTULO 8

Los orígenes y el desarrollo de la teoría cuántica de la luz (1905 – 1927)

8. 1 Introducción: la hipótesis del cuanto de luz y su relación con la física de la época

El caso de la hipótesis del cuanto de luz, a diferencia del de la invención de la tabla periódica, no ha sido estudiado con tanto detalle por los filósofos. En efecto, si bien existen muchos trabajos históricos acerca de los orígenes y del desarrollo inicial de la hipótesis, no hay una investigación epistemológica detallada acerca del grado de apoyo empírico específico que prestaron la verificación de las predicciones novedosas de la hipótesis y la acomodación exitosa de la evidencia conocida en la confirmación de esta hipótesis. En otras palabras, respecto del caso de la hipótesis del cuanto de luz, no se ha llevado a cabo una evaluación suficiente de la tesis predictivista. En este capítulo, analizaremos cuáles son las predicciones novedosas de la hipótesis y cuál es la evidencia conocida que la hipótesis consiguió acomodar de manera exitosa. Por otra parte, no realizaremos un análisis exhaustivo del origen y del desarrollo de la denominada “teoría cuántica antigua”, sino que solamente señalaremos los experimentos, los postulados teóricos y las relaciones estrictamente necesarias para poder evaluar el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida (para ello, seguimos, en sus aspectos más generales, a Hermann 1971 y Sánchez Ron 2001).

Como señalaremos más adelante, creemos que esta tarea no es sencilla y que, en especial, condiciona la respuesta al problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida. Además, como señalamos en el capítulo anterior, creemos que la gran cantidad de información histórica disponible puede, también en este caso científico, apoyar, en principio, cualquiera de las posiciones acerca del problema del predictivismo (quizás, con excepción del antipredictivismo fuerte). En este capítulo, en cambio, argumentaremos que, si analizamos el problema desde un punto de vista puramente epistemológico, el caso de la hipótesis del cuanto de luz apoya un predictivismo moderado y que, éste, a su vez, también apoya un realismo moderado según el cual el éxito predictivo de esta hipótesis incrementa el grado de creencia en la existencia de las entidades teóricas postuladas por la hipótesis, en especial, en la existencia de los cuantos de luz.

Hacia mediados del siglo XIX, la comunidad de los físicos consideraba que el éxito empírico, en un sentido, por ahora, general, de la electrodinámica clásica formulada, principalmente, por

James Clerk Maxwell, apoyaba la teoría ondulatoria de la luz, esto es, apoyaba la concepción de que la luz era un fenómeno ondulatorio. Principalmente, la teoría ondulatoria, a diferencia de la otra teoría rival más aceptada de la época, esto es, de la teoría corpuscular de la luz, conseguía explicar con gran éxito los fenómenos, ya conocidos en la época, de interferencia y de difracción. En efecto, por una parte, si la luz se comporta como una onda, se explica por qué la intensidad de un patrón compuesto, por ejemplo, por dos haces de luz puede ser, en algunos casos, menor que la intensidad de cada uno de ellos observados individualmente; o bien puede ser, en otros casos, mayor que dicha intensidad. En líneas generales, en el primero de los casos, las ondas de luz se superponen reforzándose, de manera que forman una onda cuya amplitud resultante es la suma vectorial de la amplitud de las dos ondas individuales; mientras que, en el segundo de los casos, las ondas de luz se superponen cancelándose, por lo que forman una onda cuya amplitud resultante es la resta vectorial de la amplitud de dichas ondas. Por otra parte, si la luz se comporta como una onda, se explica por qué la luz se desvía respecto de su propagación rectilínea producto, por ejemplo, de su encuentro con un obstáculo o con una rendija. En líneas generales, una onda de luz, al pasar por el borde de un obstáculo o por una rendija, se desvía de su propagación rectilínea produciéndose, según la relación, por ejemplo, entre su longitud de onda y el tamaño de la rendija, una propagación esférica *secundaria* en todas las direcciones. Así, los puntos de contacto se convierten en fuentes secundarias de emisión. Según la teoría ondulatoria, esos fenómenos de interferencia y de difracción ocurren simultáneamente.

Con todo, pese a su gran éxito empírico, la teoría ondulatoria de la luz aún tenía anomalías importantes, en especial, no podía dar cuenta de los fenómenos de interacción entre la materia y la radiación, esto es, fenómenos que, justamente, tenían una mejor explicación en el marco de las teorías corpusculares de la luz. Además, también existían controversias internas dentro de la concepción ondulatoria con respecto a la *naturaleza* de las ondas y a su medio de propagación. Por ello, algunos físicos sostenían que “no había ninguna teoría satisfactoria de la luz, ya que ni los sólidos elásticos, ni los campos electromagnéticos [esto es, las teorías más aceptadas acerca de la propagación de las ondas] *explican realmente* la luz, sino que simplemente ofrecen *ecuaciones* a partir de las cuales se pueden calcular los resultados observados” (Brush 2015, p. 196, énfasis del autor). Por esta razón, esta teoría de la luz presentaba un carácter instrumental que no lograba convencer definitivamente a los físicos de la época. Ahora bien, como señalamos, las anomalías experimentales más relevantes para la teoría ondulatoria de la luz involucraban a todos aquellos fenómenos, ya conocidos y experimentalmente bien descritos, en los cuales las ondas de radiación interaccionan con los átomos que componen la materia, en especial, con las únicas partículas conocidas en ese

momento: los electrones. Einstein (1905, p. 87), interpretó a esta interacción como un tipo de “fenómeno concerniente a la emisión y a la transformación de la luz”.

Hacia fines del XIX, la evidencia experimental acumulada, en especial, los estudios acerca de la ionización de los gases mediante los rayos X, mostraba que la teoría ondulatoria clásica de la luz tenía que ser, en un sentido significativo, revisada para dar cuenta de estos fenómenos. En efecto, el descubrimiento y las propiedades desconocidas de los rayos X y su especial interacción con los electrones sumaba nuevos, y cada vez más decisivos, argumentos en contra de la teoría ondulatoria de la luz. El punto es que, “si los rayos X son ondas electromagnéticas que llenan de manera continua el espacio ocupado por un gas, entonces uno esperaría que todas (o ninguna) de sus moléculas estuvieran ionizadas” (Brush 2015, p. 196). Sin embargo, los experimentos que se realizaron mostraron que, bajo esas condiciones, solo una pequeña cantidad de moléculas de gas emite electrones, esto es, se ioniza. Este hecho, en consecuencia, condujo a muchos físicos, entre ellos, a Joseph John Thomson, a proponer una revisión de la electrodinámica clásica, por ejemplo, a formular la hipótesis según la cual la radiación electromagnética no se propaga de manera continua o, al menos, con una intensidad uniforme.

En 1900, Max Planck introdujo el “cuanto de acción” (en términos formales, h) para describir *matemáticamente* la distribución de la energía en frecuencias en la radiación de cuerpo negro. La radiación de cuerpo negro es un fenómeno de interacción entre la radiación y la materia, que estaba experimentalmente bien descrito en esa época, que consiste en el espectro continuo de radiación electromagnética específica, esto es, que depende solamente de la temperatura de un cuerpo, emitida por cualquier cuerpo en equilibrio termodinámico con su entorno. Hacia 1860, Gustav Kirchhoff realizó las primeras observaciones y bautizó el fenómeno; mientras que en 1896 Wilhem Wien formuló la ley de desplazamiento, esto es, una ley que relaciona de una manera inversa la longitud de onda en la que se produce el pico de emisión del cuerpo negro y la temperatura, la cual ajustaba toda la evidencia disponible hasta ese momento. Las ecuaciones de Planck formaban parte de una teoría termodinámica y electromagnética de la radiación de cuerpo negro que buscaban una descripción matemática del fenómeno, esto es, que, al menos en principio, no debían interpretarse como un postulado acerca de la *realidad física* del cuanto de acción, sino como una herramienta matemática para facilitar los cálculos combinatorios. Al respecto, Kuhn (1978 y 1984), sostiene que la E de la ecuación de Planck (esto es, en la ecuación $E = nh\nu$; donde ν es la frecuencia del resonador y n un número natural entero) no se refiere a la energía de la luz, sino a un hipotético *elemento energético* poseído, ganado o perdido por un resonador atómico, de manera que el supuesto de que el resonador tiene un número entero,

esto es, discreto, de elementos de energía no puede interpretarse, bajo estas condiciones, como la *cuantificación* de la radiación electromagnética, sino solo como una herramienta matemática conveniente (véase, además, Brush 2007).

En la próxima sección, presentaremos la hipótesis del cuanto de luz postulada por Einstein para explicar el efecto fotoeléctrico y, a lo largo del capítulo, nos referiremos a las diferencias entre la hipótesis de Einstein y los “cuantos de acción” de Planck. Ahora, solo adelantaremos que Einstein introdujo la hipótesis del cuanto de luz para dar cuenta de los fenómenos señalados de interacción entre la materia y la radiación y que, en la dirección de Planck, hipotetizó que la luz no se propaga de una manera continua, esto es, tal como lo hace una onda, sino de manera discreta en *paquetes* de energía.

8. 2 La evidencia que confirma la teoría: el efecto fotoeléctrico

Según Eisberg y Resnick (1985), la evidencia fundamental que confirmó (esto es, en principio, incrementado, en alguna medida, su grado de confirmación) la hipótesis del cuanto de luz fue: (1) el efecto fotoeléctrico, (2) el efecto Compton, (3) la radiación de frenado y (4) la producción y aniquilación del par electrón-positrón. En esta tesis, sin embargo, estudiaremos con detalle solo los dos primeros efectos y sus relaciones: analizaremos si fueron predicciones novedosas de la hipótesis o si, por el contrario, fue un caso de acomodación satisfactoria de la hipótesis del cuanto de luz. Luego, evaluaremos si estos fenómenos confirmaron la hipótesis y, en el caso de que así fuera, compararemos el apoyo confirmatorio específico que cada uno de ellos le otorgó a la hipótesis. En esta sección, estudiaremos el caso del efecto fotoeléctrico.

En 1905, Einstein publicó un artículo, titulado “Sobre un punto de vista heurístico concerniente a la producción y transformación de la luz”, en el que lograba explicar, de manera teóricamente exitosa, todos los fenómenos que ya se conocían acerca del efecto fotoeléctrico mediante la introducción de una novedosa y “revolucionaria” hipótesis acerca de la naturaleza y del comportamiento de la luz: la hipótesis de que la luz (y, luego, la radiación electromagnética en general) tiene una *naturaleza cuántica*. Con todo, los alcances de la hipótesis, al menos en 1905, aún eran limitados. En efecto, Einstein (1905, pp. 86-87) sostuvo que

[...] la teoría ondulatoria de la luz, que opera con funciones espaciales continuas, ha funcionado muy bien en la representación de los fenómenos puramente ópticos, por lo que probablemente nunca será reemplazada por otra teoría [...] sin embargo, pese a la *completa confirmación* de la teoría

aplicada a la difracción, reflexión, refracción, dispersión, etc., todavía es concebible que esta teoría [...] pueda conducir a contradicciones con la experiencia cuando se aplica a los fenómenos de emisión y transformación de la luz; [y agrega:] me parece que las observaciones asociadas a la 'radiación de cuerpo negro', la fotoluminiscencia, la producción de rayos catódicos por la luz ultravioleta y otros fenómenos relacionados con la emisión o transformación de la luz se entienden más fácilmente si se supone que la *energía de la luz* se distribuye de manera discontinua en el espacio [...] según este supuesto, la energía de un rayo de luz que se extiende desde una fuente puntual no se distribuye continuamente sobre un espacio creciente, sino que consiste en un número finito de *cuantos de energía* (*Energiequanten*) que se localizan en puntos del espacio, los cuales se mueven sin dividirse, y que solo pueden producirse y absorberse como unidades completas (énfasis nuestro).

En este extenso pasaje correspondiente a la introducción de su artículo, Einstein enumera de manera explícita los problemas de la teoría ondulatoria de la luz e introduce la hipótesis de que la energía de la luz se distribuye en cuantos de energía, esto es, en paquetes discretos de energía directamente proporcionales a la frecuencia de la luz y a la constante de Planck o "cuantos de acción" (en términos formales, $E = nh\nu$), la cual, junto a otras hipótesis auxiliares, por ejemplo, que los cuantos de luz solo pueden ser absorbidos y emitidos por los electrones como unidades completas y que los cuantos de luz no interactúan entre sí cuando se propagan en la radiación libre, ofrece una explicación teórica satisfactoria del efecto fotoeléctrico (y, en general, como señalaremos más adelante, de toda esa clase de fenómenos relacionados con la emisión y con la transformación de la luz) (véase Cassini, Levinas y Pringé 2013). Como podemos advertir, en esta formulación, Einstein no introduce ninguna propiedad característica de las partículas como, por ejemplo, la masa y el momento lineal, de manera que es posible que, al menos para ese momento, aún no considerase a los cuantos de luz como entidades con ciertas propiedades características de las partículas clásicas.

Sin embargo, los cuantos de luz poseen cierto comportamiento ondulatorio, puesto que la fórmula de Planck introduce una propiedad característica de las ondas: la frecuencia. Así, a medida que las características corpusculares de los cuantos ganan preponderancia en la teoría, la conocida dualidad onda-partícula simplemente emergerá como una consecuencia directa de la hipótesis. Ahora bien, independientemente de estas consideraciones ontológicas acerca de la nueva teoría, "el aspecto más revolucionario de la hipótesis de Einstein es que le atribuyó un carácter granular a la radiación electromagnética libre, cuando ésta se propaga en el espacio vacío de materia, y no solamente cuando interactúa con los electrones de los átomos" (Cassini, Levinas y Pringé 2015). En efecto, Planck, y la mayoría de los físicos de la época, estaba dispuesto

a aceptar, como ya señalamos, que la luz puede comportarse puntualmente de esta forma cuando interacciona con la materia, pero ninguno de ellos estaba dispuesto a aceptar que la energía de la luz no se propaga en el vacío como una onda continua, sino como si fuera un gas de partículas lumínicas. Planck (1907, p. 31) afirma: “busco el significado de los cuantos elementales de acción (*Lichtquants*) no en el vacío, sino en los puntos de emisión y absorción, y creo que los procesos en el vacío están *correctamente* descritos por las ecuaciones de Maxwell” (énfasis del autor) (véase, además, Cassini, Levinas y Pringe 2013).

El efecto fotoeléctrico es un fenómeno en el cual un metal emite electrones cuando incide sobre él un rayo de luz, o cualquier tipo de radiación electromagnética, a determinada frecuencia. Las primeras observaciones de este fenómeno las realizó, de manera accidental, Heinrich Hertz en 1887, diez años antes del descubrimiento y de las primeras descripciones del electrón. En sus experimentos con ondas de radio, Hertz advirtió que la luz ultravioleta provocaba una descarga eléctrica, una chispa, en el cátodo de una bobina que utilizaba como receptor. Luego, colocó el receptor en un recipiente oscuro con el objetivo de observar con mayor claridad la chispa, pero advirtió que ésta disminuía su intensidad, por lo que sostuvo que una placa de vidrio interpuesta entre el receptor y la fuente de las ondas debería haber absorbido la luz ultravioleta que causaba la emisión de la chispa. De esta manera, Hertz descubrió la producción y la recepción de ondas electromagnéticas. En los años posteriores, se llevaron a cabo una gran cantidad de experimentos para describir este efecto observado por Hertz. En especial, Wilhelm Hallwachs, en 1888, conectó una placa de zinc a un electroscopio y observó que, si sobre ella incide luz ultravioleta, entonces (1) si la placa estaba cargada negativamente, se descargaba; (2) si la placa no estaba cargada, se cargaba negativamente; y (3) si la placa tenía una carga positiva, aumentaba dicha carga. De esta manera, concluyó que, si la luz ultravioleta incide sobre el zinc, éste emite partículas de carga negativa.

En 1899, Thomson conjeturó que las partículas emitidas eran electrones. Consiguió medir el valor del cociente entre la masa y la carga eléctrica de las partículas emitidas y observó que era significativamente cercano al valor que había observado en los experimentos que lo llevaron al descubrimiento del electrón. De esta manera, aunque la conclusión no era necesaria, Thomson y, luego, la comunidad de los físicos, consideró que estas partículas eran electrones y bautizó a las partículas emitidas en la interacción entre un material y la radiación electromagnética en general como “fotoelectrones”. Por último, en 1902, Philipp Lenard, discípulo de Hertz, logró, luego de estudiar con detalle la emisión de los electrones en el efecto fotoeléctrico, una descripción cualitativa, empíricamente adecuada, de la relación entre la energía de los

fotodectrones emitidos y la frecuencia de la luz incidente: la energía de los fotodectrones es independiente de la intensidad de la luz incidente (en general, de cualquier radiación electromagnética) y se incrementa si se incrementa la frecuencia de la radiación. Como señalaremos con mayor detalle en la próxima sección, este hecho constituía una anomalía para la teoría ondulatoria de la luz, puesto que, según dicha teoría, la frecuencia y la densidad de energía de una onda no tienen ninguna relación. Con todo, Lenard no ofreció una explicación precisa de la relación entre ambas propiedades.⁵⁸

Como ya adelantamos, Einstein, en 1905, mediante la introducción de la hipótesis del cuanto de luz, consiguió una explicación teórica satisfactoria de todos los fenómenos conocidos acerca del efecto fotoeléctrico y, en especial, formuló, de manera precisa, la relación entre la energía de los cuantos de luz y la frecuencia de la luz incidente. Las características de la explicación de Einstein son las siguientes. En primer lugar, es una formulación matemática simple que unifica distintos desarrollos teóricos previos (en especial, el electromagnetismo y el aparato formal de Planck) y, de manera fundamental, unifica toda la evidencia conocida acerca del efecto fotoeléctrico (entre otros, ya que también explicaba otros fenómenos acerca de la interacción entre la materia y la radiación). Además, es una hipótesis “revolucionaria” acerca de la naturaleza *cuántica* de la luz. En tercer lugar, proporciona un enfoque simple de la interacción entre la materia y la radiación en términos de la emisión y absorción de los cuantos de luz. Finalmente, como ya señalamos, introduce un par de hipótesis auxiliares que describen ciertas características de la interacción de los cuantos entre sí y con los electrones. En el siguiente pasaje de su artículo, Einstein (1905, pp. 99-100) presenta su explicación del efecto fotoeléctrico en los siguientes términos:

[...] la capa superficial del cuerpo es penetrada por los cuantos de energía, cuya energía se convierte, al menos parcialmente, en energía cinética de los electrones. La posibilidad más simple es que un cuanto de luz transfiera toda su energía a un solo electrón; supondremos que esto puede ocurrir. Sin embargo, no excluirémos la posibilidad de que los electrones absorban solo una parte de la energía de los cuantos de luz. Un electrón del interior del cuerpo provisto de energía cinética habrá perdido una parte de esta energía cuando alcance la superficie del cuerpo. Además, supondremos que cada electrón tiene que realizar un trabajo P (característico de cada cuerpo) para abandonar el interior del cuerpo. Los electrones inmediatamente localizados en la superficie del cuerpo y excitados perpendicularmente con respecto a

⁵⁸ Véanse Cassini y Levinas 2008; Klein 1963 y Pais 1982, Cap. 6, Sec. 19.

ella serán eyectados del cuerpo con la máxima velocidad perpendicular. La energía cinética de tales electrones es $R/N \beta v - P$.

En otras palabras, sobre un cuerpo incide un número finito de cuantos de luz, cuya energía es $R/N \beta v$. Los cuantos penetran la superficie del cuerpo e interaccionan con los electrones de los átomos que lo componen. En esa interacción, cada cuanto es absorbido por un electrón, de manera que toda la energía del cuanto se transfiere al electrón y se convierte en energía cinética del electrón. Los electrones excitados se mueven a través del cuerpo y son eyectados de su superficie con una determinada energía cinética. En este movimiento, el electrón realiza un cierto trabajo, de manera que pierde energía. En consecuencia, si $R/N \beta v$ es la energía del cuanto absorbido y P el trabajo del electrón, entonces la energía cinética máxima del “fotoelectrón” eyectado es: $R/N \beta v - P$. Como podemos advertir, en esta fórmula no intervienen las variables que ya hemos presentado. Esto se debe a que Einstein aborda la explicación del efecto desde otro enfoque, esto es, mediante el análisis del comportamiento termodinámico de los átomos de un gas ideal y del de la radiación libre. De esta manera, R es la constante universal de los gases ideales; N , el número de Avogadro; y $\beta = h/k$, donde k es la constante de Boltzmann. A partir de los trabajos de Millikan, y en la actualidad, nos referimos a la ecuación “fotoeléctrica” de Einstein mediante la ecuación equivalente: $E_{cmax.} = \frac{1}{2} mv^2 = h\nu - P$; en donde m y v son, respectivamente, la masa y la velocidad del fotoelectrón.⁵⁹

En suma, ya que los fenómenos concernientes al llamado efecto fotoeléctrico ya se habían observado; que se habían realizado muchos experimentos para obtener descripciones más detalladas; que se buscaba, aun sin éxito, una explicación teórica del efecto en el marco de la teoría de la luz más aceptada, la teoría ondulatoria de la electrodinámica, y de otras teorías alternativas; y que, por último, ya se había logrado una descripción cualitativa empíricamente adecuada de la relación entre la energía de los fotoelectrones y la frecuencia de la radiación incidente; sostenemos que fue un caso de acomodación satisfactoria de la evidencia conocida: la teoría (principalmente, la hipótesis del cuanto de luz) acomodó de forma satisfactoria toda la evidencia concerniente a un fenómeno (principalmente, al efecto fotoeléctrico) que se conocía con anterioridad a la formulación de la hipótesis. En la próxima sección, mostraremos que la acomodación de la evidencia acerca del efecto fotoeléctrico fue un caso de acomodación, por lo que, en consecuencia, incrementó el grado de confirmación de la hipótesis del cuanto de luz. Sostendremos que la acomodación fue genuina porque los fenómenos concernientes al efecto

⁵⁹ Véanse Brush 2015; Cassini y Levinas 2008; Cassini, Levinas y Pringe 2015 y Klein 1963.

fotoeléctrico eran una anomalía para las teorías rivales. Además, en la sección 4, mostraremos que la acomodación exitosa de la evidencia acerca del efecto fotoeléctrico incrementó el grado de confirmación de la hipótesis de cuanto de luz porque dicha explicación, además de acomodar la evidencia ya conocida, también permitió realizar nuevas predicciones independientemente contrastables que, luego de su formulación, se verificaron.

8.3 El efecto fotoeléctrico es una anomalía de las teorías físicas rivales

Como señalamos en las secciones previas, los fenómenos concernientes al ya conocido efecto fotoeléctrico y, en general, a los fenómenos de interacción entre la materia y la radiación, eran una anomalía para la teoría de la luz aceptada por la comunidad científica de la época, esto es, para la interpretación ondulatoria de la luz descrita en la electrodinámica clásica de Maxwell y Lorentz. Como analizaremos más adelante, estos fenómenos no podían ser explicados, ni descritos de una manera adecuada, por el aparato formal, conceptual y teórico del sistema teórico compuesto por la teoría ondulatoria y sus hipótesis auxiliares, por lo que dicho sistema necesitaba una revisión, ya sea modificando el conjunto de las hipótesis auxiliares del sistema, o bien modificando alguna de las hipótesis propias de la teoría.

En esta sección, presentaremos tres anomalías concernientes al efecto fotoeléctrico para la concepción ondulatoria, incorporada en la electrodinámica clásica, que fueron resueltas de manera satisfactoria por la hipótesis del cuanto de luz (véase Cassini y Levinas 2008). La primera de estas anomalías consistía en que los experimentos realizados parecían mostrar la existencia de un “umbral”, esto es, una “frecuencia crítica” de la radiación incidente por debajo de la cual, independientemente de la intensidad, no se producía la emisión de fotoelectrones. El problema es que, según la teoría electromagnética, la densidad de energía de una onda electromagnética es proporcional a las intensidades del campo magnético y del campo eléctrico, de manera que, aun si la frecuencia de la radiación electromagnética es muy baja, si se incrementa su intensidad, o si se aumenta el tiempo de exposición, los electrones deben adquirir la energía suficiente para ser eyectados del cuerpo, produciendo, así, el efecto fotoeléctrico. Por el contrario, la hipótesis del cuanto de luz, junto con la hipótesis auxiliar de que cada electrón absorbe un solo cuanto de luz, explica la existencia de esta frecuencia crítica de una manera simple mediante la ecuación fotoeléctrica. En efecto, si $E_{cmax} = \frac{1}{2} mv^2 = h\nu - P$, entonces $\nu = P/h$, de manera que, en consecuencia, dado que la energía de cada cuanto de la radiación incidente es proporcional a su

frecuencia, si cada cuanto no tiene una frecuencia mínima (esto es, P/h), entonces no adquirirá la energía suficiente para eyectar al fotoelectrón.

La segunda de las anomalías consistía en que, como había mostrado Lenard, la energía de los fotoelectrones se incrementaba, si se incrementa la frecuencia de la radiación incidente. Como ya señalamos, Lenard solo había descrito esa relación, pero no determinó de forma precisa cuál era dicha relación. El problema en este caso, como ya hemos señalado, es que, según la electrodinámica clásica, la densidad de energía de una onda electromagnética no tiene ninguna relación con su frecuencia. Por el contrario, la hipótesis del cuanto de luz introducida por Einstein condujo al establecimiento de una relación precisa entre la energía y la frecuencia. En otras palabras, la ecuación fotoeléctrica de Einstein no solo no es una descripción cualitativa de la relación, sino que establece de una manera precisa cuál será la energía de un fotoelectrón para cualquier frecuencia mayor a la frecuencia crítica de la radiación incidente. En la próxima sección, analizaremos este caso con mayor detalle, ya que puede considerarse, además, como una predicción novedosa de la teoría.

La tercera anomalía consistía en que no se observaba, cualquiera fuera la intensidad de la radiación incidente, ningún “tiempo de retardo” en la emisión de los fotoelectrones. El problema es que, según la teoría electromagnética, debía observarse un tiempo de retardo inversamente proporcional a la intensidad de la radiación electromagnética incidente. En efecto, si la intensidad de la radiación era muy baja, entonces, los electrones adquirirían la energía muy lentamente, por lo que, en consecuencia, la emisión de los fotoelectrones no sería “inmediata”, sino que, por el contrario, podía demorar tiempos prolongados. En este punto, la explicación de Einstein apela a una hipótesis auxiliar, aunque conectada de manera natural con su hipótesis y con el conocimiento disponible acerca de los fenómenos atómicos, según la cual la absorción-emisión de los cuantos de luz por parte de los átomos de la materia es un proceso prácticamente instantáneo (de una duración temporalmente insignificante). En efecto, esta hipótesis es coherente con la hipótesis de que la energía de los cuantos de luz está localizada puntualmente en el espacio y no como una densidad de energía, esto es, como una cantidad de energía acumulada en una cierta región del espacio, a la manera de una onda electromagnética. Como señalamos en el capítulo 3, la naturalidad del sistema teórico se refiere al hecho de que las hipótesis auxiliares necesarias para dar cuenta del fenómeno son coherentes, en un sentido general, o al menos compatibles con la teoría, y que su probabilidad dado el conocimiento previo no es significativamente baja. Además, como mostraremos en lo que sigue, este concepto se conecta directamente con la simplicidad y el poder unificador de la teoría.

En suma, la hipótesis del cuanto de luz no solo daba cuenta de las anomalías de la teoría ondulatoria de la luz, sino que lo hacía de manera natural y simple (por medio de la ecuación fotoeléctrica) y, principalmente, también lograba dar cuenta de un conjunto de fenómenos ya observados e interrelacionados, entre los cuales, las anomalías concernientes al efecto fotoeléctrico solo eran un caso. En otras palabras, la hipótesis del cuanto de luz ofrecida por Einstein logró *unificar* otros fenómenos ya conocidos y anómalos para la teoría ondulatoria de la luz concernientes a la interacción entre la radiación y la materia mediante el mismo aparato formal, conceptual y teórico. Por esa razón, el poder unificador de la teoría está directamente conectado con su simplicidad, ya que la hipótesis de Einstein explicaba de manera unificada una diversidad de anomalías experimentales por medio de un número reducido de hipótesis o postulados teóricos. Además, como también señalamos en el capítulo 3, una acomodación de la evidencia conocida es genuina si el sistema teórico es coherente en un sentido general y, en un sentido más restringido, si la teoría tiene la capacidad, como ocurre en este caso, para dar cuenta, esto es, para unificar, en un sentido causal, todo un conjunto de fenómenos anómalos con la menor cantidad de supuestos adicionales. Por estas razones, la explicación exitosa del efecto fotoeléctrico fue un caso de acomodación genuina de la evidencia conocida, por lo que, en consecuencia, confirmó la hipótesis del cuanto de luz. Por consiguiente, la acomodación de la evidencia acerca del efecto fotoeléctrico muestra que, al menos en el caso específico de la hipótesis del cuanto de luz, el predictivismo fuerte no es una posición sostenible.

Como sostuvimos en la sección 8 del capítulo 4, y mostramos en el capítulo anterior, el esquema bayesiano de la confirmación muestra que, si la evidencia conocida es anómala para las teorías rivales, entonces, su acomodación es genuina, esto es, incrementa la probabilidad posterior de la teoría que la acomodó satisfactoriamente respecto de su probabilidad previa, por lo que, en consecuencia, incrementa su grado de confirmación. Sea TC , la hipótesis del cuanto de luz; TO , la teoría ondulatoria de la luz; y EF , los fenómenos ya conocidos, pero anómalos para la interpretación ondulatoria concernientes al efecto fotoeléctrico, entonces, por una parte, $\Pr(EF|TC \& K) = 1$ o, al menos, $\Pr(EF|TC \& K) \cong 1$; mientras que, por otra, $\Pr(EF|TO \& K) \ll 1$, ya que, justamente, la teoría ondulatoria no puede explicar, de una manera simple y unificada, esa evidencia conocida. Por lo tanto, el valor del cociente entre estas probabilidades es muy bajo (esto es, $[\Pr(EF|TO \& K) / \Pr(EF|TC \& K)] \ll 1$), por lo que, en consecuencia, según el esquema bayesiano de la diferencia entre las *likelihoods* (esto es, $d_{lik}(TC, EF) = \Pr(EF|TC \& K) - \Pr(EF|TO \& K)$), de manera que EF confirma TC si y solo si $\Pr(EF|TC \& K) > \Pr(EF|TO \& K)$), la acomodación satisfactoria de la evidencia conocida y anómala confirma la teoría. Además, cuanto mayor sea la dificultad de la teoría ondulatoria para dar cuenta de estos fenómenos,

apelando a las estrategias *ad hoc*, por ejemplo, una modificación del conjunto de las hipótesis auxiliares de la teoría, menor será la probabilidad del fenómeno anómalo dada la teoría, por lo que, en consecuencia, mayor será el incremento en el grado de confirmación de la hipótesis del cuanto de luz (esto es, $\Pr (EF | TC \& K) \gg \Pr (EF | TO \& K)$).

Además, mostramos que, si una teoría acomoda exitosamente cierta evidencia ya conocida, de manera simple y unificada, esa evidencia confirma, genuina y significativamente, la teoría. En efecto, si la teoría unifica de una manera simple una cantidad de evidencias diferentes que, inicialmente, se creían independientes, esto es, que parecía necesitar una explicación de distinta clase, entonces, esas evidencias incrementan la probabilidad posterior de la teoría, de manera que, en consecuencia, la acomodación de esas evidencias confirma la teoría. Como señalamos, la hipótesis de Einstein logró unificar, mediante un mismo marco teórico bien definido, toda una clase de fenómenos concernientes a la interacción entre la radiación y la materia, que, en un principio y en el contexto de la teoría ondulatoria, se consideraban independientes entre sí o, en un sentido más restringido, informativamente independientes entre sí. En otras palabras, la hipótesis del cuanto de luz mostró que, ciertos fenómenos que, en ausencia de la hipótesis, parecían independientes entre sí, como, por ejemplo, los fenómenos concernientes al efecto fotoeléctrico y a la radiación de cuerpo negro y a la fotoluminiscencia, están relacionados de tal modo que el conocimiento de unos permite obtener conocimiento de los otros.

Por ejemplo, sea, además, *RM*, una clase de fenómenos anómalos para la teoría ondulatoria de la luz concernientes a la interacción, en general, entre la radiación y la materia, ocurre que, si $\Pr_U (EF, RM; TC | K) > \Pr_U (EF, RM; TO | K)$, entonces, $\Pr (TC | EF \& RM \& K) > \Pr (TC | K)$, esto es, la unificación de la evidencia anómala *EF* y la unificación de toda la otra clase de evidencia anómala *RM* confirman la teoría. Ahora bien, como ya analizamos, esto ocurrió en el caso de la hipótesis del cuanto de luz. En efecto, ocurre que $\text{Log}_2 [\Pr (EF | RM \& TC \& K) / \Pr (EF | TC \& K)] > \text{Log}_2 [\Pr (EF | RM \& TO \& K) / \Pr (EF | TO \& K)]$, ya que la teoría ondulatoria no solo no podía explicar el efecto fotoeléctrico, sino que tampoco podía unificar toda aquella clase de fenómenos anómalos; mientras que, como señalamos, la hipótesis del cuanto de luz logró ambas unificaciones de una manera sumamente exitosa. En conclusión, este modelo bayesiano muestra que, si hay dos evidencias conocidas, por ejemplo, *EF* y *RM*, que, antes de la formulación de la hipótesis del cuanto de luz parecían independientes entre sí; y si, incluso, estas evidencias confirman, de manera individual, en igual medida, dicha hipótesis; si la hipótesis del cuanto de luz las unifica y la teoría ondulatoria no las unifica, entonces, la evidencia acomodada incrementa el grado de confirmación de la hipótesis del cuanto de luz.

8. 4 La predicción del efecto fotoeléctrico y la prueba experimental de Robert Millikan

Como ya señalamos, Einstein dedujo (en una formulación equivalente) la siguiente “ecuación fotoeléctrica” para la energía cinética máxima de un electrón eyectado desde la superficie de un sólido por un solo cuanto de energía: $E_{cmax.} = \frac{1}{2} mv^2 = h\nu - P$. Muchos historiadores y filósofos de la ciencia sostienen que esta ecuación implica varias predicciones acerca del efecto fotoeléctrico, de manera que la hipótesis del cuanto de luz no solo dio cuenta del fenómeno, esto es, acomodó de manera satisfactoria la evidencia conocida acerca del fenómeno, sino que, además, también realizó predicciones novedosas. Por ejemplo, Pais (1982, p. 381) distingue tres predicciones “muy novedosas y muy sólidas. Primera, E debería variar linealmente con respecto a ν . Segunda, la pendiente del gráfico (E, ν) es una constante universal, independiente de la naturaleza del material irradiado. Tercera, el valor de la pendiente debería ser la constante de Planck determinada a partir de la ley de radiación”. Y agrega, “Nada de esto se sabía”. Roger Stuewer (1970a, p. 248) concuerda con el análisis y sostiene que, en especial, la dependencia lineal entre la energía cinética máxima de los fotoelectrones y la frecuencia de la radiación incidente que establece la ecuación fue una predicción novedosa porque, por una parte, “aquí, la situación experimental era muy incierta”, esto es, la evidencia disponible no era suficiente para confirmar la dependencia; mientras que, por otra parte, existían otras propuestas rivales, igualmente prometedoras, que establecían dependencias no-lineales (entre ellas, la de Ladenburg, según la cual la energía variaba cuadráticamente con la frecuencia; o la de Pohl y Pringsheim, quienes sostenían que una relación logarítmica ajustaba mejor la evidencia).

Durante toda una década, los científicos intentaron contrastar estas predicciones de Einstein, ya sea para verificarlas o para refutarlas, sin conseguir un resultado unánimemente aceptado. Recién “hubo que esperar hasta 1915-1916 en que R. A. Millikan resolvió el problema” (Stuewer 1970a, p. 248). En efecto, “en 1916, Millikan proporcionó la prueba experimental más definitiva de la ecuación y, a su vez, también descubrió que el valor de la constante de Planck h obtenida de sus experimentos era el mismo que se deducía de la ley de Planck de la radiación del cuerpo negro” (Brush 2015, p. 198). Millikan (1916, p. 388) irradió luz visible (un conjunto de líneas en el espectro del mercurio) sobre la superficie de varios metales alcalinos altamente fotosensibles e informó que (1) “la ecuación fotoeléctrica de Einstein ha sido sometida a contrastaciones muy minuciosas y, en todos los casos, parece *predecir exactamente* los resultados observados; y que (2) la h de Planck se ha determinado fotoeléctricamente con una precisión de aproximadamente 0.5 % y se encuentra que tiene el valor $h = 6.57 \times 10^{-27}$ ” (énfasis nuestro).

Millikan verificó las predicciones novedosas de la ecuación fotoeléctrica de Einstein, de manera que este hecho confirmó la hipótesis del cuanto de luz. En efecto, sea HD , además, la predicción de la dependencia lineal de la energía con respecto a la frecuencia; y HP , la predicción de que h es una constante universal dada por la ley de la radiación del cuerpo negro; y NL , las otras teorías rivales que establecían dependencias no-lineales; si HD y HP se verifican, entonces $\Pr (TC|HD \& HP \& K) > \Pr (TC|K)$, puesto que, por una parte, la probabilidad de HD y de HP dado el conjunto del conocimiento previo era muy baja (esto es, $\Pr (HD|K)$ y $\Pr (HP|K) \ll 1$), de manera que, si HD y HP se verifican, entonces $\Pr (HD|TC \& K)$ y $\Pr (HP|TC \& K) \cong 1$, por lo que, por el teorema de Bayes (en su formulación usual), $\Pr (TC|HD \& HP \& K) > \Pr (TC|K)$. Por otra parte, además, según el modelo bayesiano de la diferencia entre las *likelihoods*, también ocurre que $\Pr (TC|HD \& HP \& K) > \Pr (TC|K)$, ya que, si las teorías rivales no pueden verificar esas predicciones, entonces $\Pr (HD|NL \& K)$ y $\Pr (HP|NL \& K) \cong 0$, de manera que, el cociente entre las *likelihoods* [$\Pr (HD \& HP|NL \& K) / \Pr (HD \& HP|TC \& K)$] $\ll 1$ y, en consecuencia, *ceteris paribus*, $\Pr (TC|HD \& HP \& K) > \Pr (TC|K)$.

Consideramos, sin embargo, que la verificación de estas predicciones novedosas de la ecuación fotoeléctrica apoya la posición según la cual la acomodación de la evidencia conocida, esto es, de la evidencia acerca del efecto fotoeléctrico, por parte de la hipótesis del cuanto de luz, fue un caso de acomodación genuina que incrementó su grado de confirmación. En efecto, hemos sostenido que la práctica de acomodar la evidencia conocida, para ser genuina, tiene que cumplir ciertos criterios y que, entre ellos, uno de los más defendidos por los filósofos y científicos es, como ya señalamos en el capítulo 3, la independencia en la contrastación, esto es, que la teoría, además de implicar la evidencia conocida, también tiene que implicar otras consecuencias observacionales desconocidas que puedan contrastarse de una manera independiente de cualquier hecho acerca de la evidencia conocida. Claramente, la probabilidad de esta nueva predicción estará condicionada por dicha evidencia conocida y por el conocimiento previo en general, de manera que, dependerá de esas relaciones. En especial, como ya hemos señalado, habrá que evaluar la heterogeneidad de esta nueva predicción respecto de la evidencia conocida: cuanto más heterogéneo sea el contenido de la nueva predicción respecto de la evidencia acomodada y del conocimiento previo (por ejemplo, $\Pr (HD \& HP|EF \& K) \ll 1$); y, si, como señalamos, $\Pr (EF|TO \& K) \ll 1$, entonces, $\Pr (HD \& HP|TO \& K) \ll 1$, por lo que, $\Pr (HD \& HP|TC \& K) > \Pr (HD \& HP|TO \& K)$, mayor será el incremento en el grado de confirmación de la hipótesis (en este caso, de TC , la hipótesis del cuanto de luz).

En suma, sostenemos que la hipótesis del cuanto de luz acomodó de una manera genuina toda la evidencia conocida acerca del efecto fotoeléctrico porque, además de la acomodación exitosa, la hipótesis también realizó ciertas predicciones novedosas, en especial, las tres ya señaladas, que, en ese momento, podían ser independientemente contrastables. Con todo, como ya argumentamos en la primera parte, creemos que este criterio, por sí solo, no es suficiente para apoyar la adopción de un predictivismo moderado, ya que, si solo consideramos este criterio, la acomodación genuina de la evidencia solo ofrecería un tipo de confirmación *condicionada*, esto es, una confirmación que, en última instancia, depende de una posterior verificación de algunas de las predicciones realizadas por la teoría. En conclusión, sostenemos que, si bien la verificación de una predicción contrastada de manera independiente puede considerarse un indicador de que la acomodación fue genuina, necesitamos otros criterios, en especial, los ya señalados en esta sección, para mostrar que la acomodación de la evidencia es un caso genuino de confirmación, esto es, que incrementa, por sí sola, el grado confirmación de una teoría.

8.5 La evidencia que confirma la teoría: el efecto Compton

Como señalamos, según Eisberg y Resnick (1985), además de los fenómenos concernientes al efecto fotoeléctrico, hubo otras evidencias fundamentales que confirmaron la hipótesis del cuanto de luz. En esta sección, analizaremos el denominado “efecto Compton” y evaluaremos si, efectivamente, esta evidencia confirmó la hipótesis del cuanto de luz; y si, en el caso de que así lo fuera, fue una predicción novedosa de la hipótesis o una acomodación satisfactoria de evidencia ya conocida. Además, en cualquiera de los dos casos, también deberemos evaluar el apoyo confirmatorio específico que el fenómeno le otorgó a la hipótesis del cuanto de luz. En la misma dirección de Eisberg y Resnick, Stuewer (1971) sostiene que la naturaleza *cuántica* o, al menos, corpuscular, de la radiación electromagnética en general no fue un concepto al que se llegó como resultado, simplemente, de la investigación acerca del efecto fotoeléctrico y de la radiación del cuerpo negro, sino que, además, también debe mucho a los experimentos y a las investigaciones acerca de los rayos X y de los rayos gamma. Entre los científicos que se dedicaron casi por completo al estudio de esos fenómenos se encontraba Arthur Holly Compton. En efecto, hacia mediados de 1910, Compton emprendió un amplio y detallado proyecto de investigación acerca de estos fenómenos, el cual, “durante los seis años transcurridos entre el otoño de 1916 y el otoño de 1922, se desarrolló y cambió, a veces de una manera sorprendente, y que culminó con su descubrimiento del efecto Compton” (Stuewer 2000, pp. 978-979).

En especial, en 1919-1920, mientras realizaba una estancia de investigación en el laboratorio Cavendish en Cambridge, Compton advirtió las primeras observaciones anómalas sobre el comportamiento de los rayos gamma. Compton incidió un haz de rayos gamma sobre láminas delgadas de diversas sustancias como hierro, aluminio y parafina; colocó un material absorbente luego del primer haz; y otro, luego del segundo haz de rayos gamma; y observó que existía una diferencia entre los dos haces. Luego, observó que los rayos dispersados, o secundarios, eran más intensos; tenían una mayor longitud de onda que los rayos incidentes o primarios; que esta longitud de onda no dependía de la naturaleza de las láminas dispersantes; y, además, que su longitud de onda se incrementaba a medida que se incrementaba el ángulo de dispersión. Ahora bien, todos estos fenómenos eran una anomalía para la electrodinámica clásica, en especial, para la teoría clásica de la dispersión de Thomson, ya que, según esta teoría, la longitud de onda de los rayos gamma, por ejemplo, no se modifica en el proceso de dispersión, esto es, la longitud de onda de los rayos dispersados tiene que ser la misma que la de los rayos primarios. En esos años, Compton aún creía que la teoría de Thomson era adecuada, por lo que no se concentró en cuestionar la naturaleza de la radiación misma, sino en la de los electrones en los que incidía y en el efecto de estos sobre la radiación.⁶⁰

En 1921, ya de regreso en Estados Unidos, Compton realizó una serie de experimentos con rayos X para contrastar si este tipo de radiación se comportaba, en las mismas condiciones, de la misma manera que los rayos gamma. La contrastación de Compton fue positiva, esto es, los rayos X experimentaban las mismas anomalías que los rayos gamma, de manera que Compton creyó que este hecho confirmaba su explicación anterior. Luego, en experimentos posteriores, Compton utilizó un espectrómetro para medir y comparar con una mayor precisión la diferencia entre la longitud de onda de los rayos X dispersados y los primarios. Compton incidió un haz de rayos X sobre un material dispersor de grafito y observó que los rayos incidentes se dispersaban en un ángulo de dispersión de aproximadamente 90°. En el informe publicado, Compton (1922b, p. 268) afirmó que “estos resultados comprobados por medio de espectros fotográficos muestran que la radiación general [esto es, la radiación dispersada o secundaria] es, aproximadamente, un 35% mayor que la longitud de onda del espectro del rayo excitante [esto es, del haz del rayo incidente o primario]”. Compton explicó este porcentaje de diferencia entre ambos haces añadiendo a su explicación anterior el supuesto de la conservación de la energía en el proceso de dispersión. De esta manera, si la razón entre la longitud de onda primaria y la secundaria está dada por $\lambda/\lambda' = 1 - v/c$ (en donde c es la velocidad de la luz y v es la velocidad

⁶⁰ Para mayores detalles del proceso de descubrimiento del efecto Compton, véanse Stuewer 2000 y, en especial, Stuewer 1975.

de los electrones que emiten los rayos X secundarios); entonces, por conservación de la energía (esto es, estableciendo $\frac{1}{2} mv^2 = h\nu$), $\lambda/\lambda' = 1 - v/c = 1 - (2h\nu/mc^2)^{1/2} = 1 - [2(.017 \text{ MeV}) / (.51 \text{ MeV})]^{1/2} = 1 - 0.26 = 0.74$. Como podemos advertir, este resultado ofrece un ajuste casi perfecto entre la teoría y la observación. Además, en esta explicación, Compton recurre, por primera vez de forma explícita, a la energía de los cuantos de luz, esto es, a la relación entre esa energía y la frecuencia, de acuerdo con la hipótesis de Einstein.

Sin embargo, en 1922, Compton (1922a) realizó nuevos experimentos que proporcionaron otra evidencia, esto es, las nuevas observaciones mostraban que la razón entre esas longitudes de onda no era de 0.75, sino mucho mayor, alrededor de 0.969, de manera que el porcentaje de diferencia entre la radiación dispersada y la primaria era bastante menos significativo. Por esta razón, Compton tuvo que revisar nuevamente su explicación. En este nuevo intento, introdujo otro supuesto importante: la conservación del momento lineal. De esta manera, si la razón entre la longitud de onda primaria y la secundaria es $\lambda/\lambda' = 1 - v/c$; entonces, por conservación del momento (esto es, estableciendo $h/\lambda = mv$), $\lambda/\lambda' = 1 - h/mc\lambda = 1 - 0.034 = 0.966$. Nuevamente, tal como en su explicación anterior, Compton conseguía ajustar la teoría con la observación de una manera casi perfecta. Como podemos advertir, en esta explicación, Compton recurre, por primera vez de manera explícita, a ciertas propiedades claramente corpusculares para explicar el comportamiento de los cuantos de luz. Como señalamos en las secciones anteriores, en 1905, Einstein no les atribuyó estas propiedades, al menos, de una manera explícita, a los cuantos; y, como señalaremos en la sección 10, recién en 1916, en una reformulación más madura de su explicación, les atribuye propiedades corpusculares. Ahora bien, a diferencia de la explicación anterior, en este caso, la evidencia disponible, esto es, los datos observados eran más robustos, de manera que tenían que considerarse. Con toda la evidencia experimental y con todas sus explicaciones disponibles,

[...] en un mes, Compton puso todo en su lugar. Configuró el diagrama vectorial correcto para la conservación del momento, supuso ambas conservaciones, de la energía y del momento, incorporó la expresión relativista correcta para la masa del electrón y derivó una fórmula equivalente a su famosa expresión para el cambio en la longitud de onda, $\Delta\lambda = \lambda - \lambda' = (h/m_0c) (1 - \cos \theta)$, que experimenta cualquier rayo X en el proceso de dispersión. (Stuewer 2000, pp. 983-984)

En este proceso de revisión, Compton simplificó su explicación y sus supuestos. Comparó las observaciones acerca de los rayos X y de los rayos gamma y descubrió que, para unificar ambas explicaciones, debía suponer que, en el caso de los rayos gamma, los electrones debían moverse

aproximadamente a la mitad de la velocidad de la luz y en un dispersor que se halle en reposo. Consideró que la evidencia general disponible no apoyaba estos supuestos, por lo que revisó, nuevamente, las hipótesis involucradas en su explicación y concluyó que no era necesario recurrir a las hipótesis que había empleado para explicar el fenómeno en el marco de la electrodinámica clásica, sino que, por el contrario, era suficiente si suponía que un cuanto de luz de energía $h\nu$ y momento $h\nu/c$ golpeó, a la manera de una colisión entre bolas de billar, a un electrón libre de masa m y lo impulsó hacia adelante con una velocidad relativista. En la introducción del artículo de 1923, en el que presenta su teoría cuántica de la dispersión, Compton (1923a p. 484) expresa de manera explícita las dificultades de la teoría clásica y cómo su revisión le permitió, en última instancia, elaborar una explicación satisfactoria del efecto: “la teoría clásica de Thomson acerca de la dispersión de los rayos X, aunque fue apoyada por los primeros experimentos de Barkla y otros, ha resultado incapaz de explicar muchos de los experimentos más recientes”.

En suma, como señala Brush (2015, p. 199), “la esencia del efecto Compton, como se llamó, rápidamente, a esta clase de dispersión, es que se puede calcular tanto el cambio en la longitud de onda de los rayos X dispersados, como el momento de los electrones de retroceso, si se tratan *ambos* como partículas con una energía y momento específicos, cada una de las cuales (sumadas sobre todas las partículas) se conserva en la colisión” (énfasis nuestro). De esta manera, en esta explicación, el cambio en la longitud de onda de los rayos X es una función del ángulo que forman el rayo incidente y el rayo dispersado, independientemente de la longitud de onda del rayo X. En palabras de Compton (1923a, p. 485),

[...] cualquier *cuanto de rayos X en particular* no es dispersado por todos los electrones del radiador, sino que gasta toda su energía *en un electrón* en particular. Este electrón, a su vez, dispersará el rayo en alguna dirección bien definida, el cual formará un ángulo con el rayo incidente. Esta flexión en la trayectoria del cuanto de radiación produce un cambio en su momento. En consecuencia, el electrón dispersante *retrocederá* con un momento igual al cambio en el momento de los rayos X. Además, la energía del rayo dispersado será igual a la del rayo incidente menos la energía cinética del retroceso del electrón dispersante; y dado que el rayo dispersado debe ser un cuanto completo, su frecuencia se reducirá en la misma proporción que su energía. Por lo tanto, según la *teoría cuántica*, deberíamos esperar que la longitud de onda de los rayos X dispersados sea mayor que la de los rayos incidentes [que era lo que había que explicar] (énfasis nuestro).

Como podemos advertir, esta explicación de Compton supone que la radiación incidente está compuesta por cuantos de energía discretos que se mueven en una dirección bien determinada,

esto es, con un momento lineal. Compton, a diferencia de Einstein, interpretaba la interacción entre la radiación y la materia en términos clásicos, esto es, como una colisión entre partículas casi de la misma forma que un choque mecánico. Como ya señalamos, Einstein, por el contrario, había recurrido a una explicación que podríamos llamar, ya sea que nos ubiquemos en un lugar u otro, “semiclásica” o “proto-cuántica”. Según Einstein, las interacciones entre la radiación y la materia no deben interpretarse como un choque ni como una dispersión entre partículas, sino como un proceso de absorción y emisión de cuantos. En este proceso, cada cuanto es absorbido, de manera completa, por un electrón, al que le cede toda su energía y momento, por lo que, en sentido estricto, el cuanto es “aniquilado”. Simultáneamente, o casi, los electrones emiten otro cuanto nuevo, perfectamente discernible del anterior, ya que sus propiedades, por ejemplo, la frecuencia y el momento, son diferentes: cada cuanto emitido tiene menor energía y momento que el absorbido.

Además, Compton dedujo que, en la interacción, el electrón que dispersa el cuanto de los rayos X debía experimentar un retroceso en una dirección bien definida con respecto a su posición inicial, en virtud de la energía y del momento que le cede el cuanto de luz. En efecto, Compton supuso que la interacción era conservativa con respecto a la energía y al momento. Por lo tanto, si el cuanto pierde energía y momento (y su velocidad se mantiene constante), su frecuencia tiene que disminuir y su longitud de onda tiene que aumentar (debido a que las ecuaciones del momento y de la energía del cuanto de luz son: $p = h\nu/c$ y $E = h\nu$, respectivamente). Como ya hemos señalado, Compton dedujo cuál debía ser exactamente el cambio en la longitud de onda y en la frecuencia de los rayos X: $\lambda_f = \lambda_o + (2h/mc) (\sin^2 (\frac{1}{2}\theta))$ y $\nu_f = \nu_o / (1 + 2\alpha \sin^2 (\frac{1}{2}\theta))$, donde $\alpha = h\nu_o/mc^2$, respectivamente. Por otra parte, si analizamos la explicación de Compton, ésta es dual, esto es, intervienen la electrodinámica clásica y la hipótesis cuántica de la luz. En efecto, para explicar el cambio en la longitud de onda de los rayos X, Compton recurre a las propiedades estrictamente ondulatorias de la radiación, por ejemplo, los patrones de interferencia, y no introduce ninguna característica corpuscular de la radiación. Ahora bien, para explicar el cambio en la frecuencia de los rayos X, Compton recurre a la fórmula de la energía de los cuantos y, en especial, a la del momento, la cual expresa, claramente, una propiedad corpuscular de la radiación (véase Cassini, Levinas y Pringe 2013).

En conclusión, los fenómenos concernientes al efecto Compton ya habían sido observados, aunque, a diferencia del efecto fotoeléctrico, no se había ofrecido ni siquiera una descripción aun cualitativa de él, con anterioridad a que el propio Compton ofreciera una explicación teórica satisfactoria. Incluso, Compton ya contaba, además, con los datos experimentales suficientes

para verificar las ecuaciones que explicaban el cambio en la longitud de onda y en la frecuencia de los rayos X. Por estas razones, la explicación de Compton constituye un caso de acomodación de la evidencia conocida. Ahora bien, pensamos que, al igual que en el caso de la acomodación de la evidencia conocida acerca del efecto fotoeléctrico, ésta también fue, y por las mismas razones que dimos en aquel caso, un caso genuino de acomodación de la evidencia, por lo que la acomodación de la evidencia acerca del efecto Compton incrementó el grado de confirmación de la hipótesis del cuanto de luz.

El efecto Compton era una evidencia conocida, pero anómala para las teorías rivales, en especial, para la teoría clásica de la dispersión de Thomson, que la *teoría cuántica* de Compton logró explicar de una manera más simple. Además, la teoría de Compton también consiguió unificar dicho efecto, bajo una explicación de la misma naturaleza, en la clase general de los fenómenos concernientes a la interacción entre la materia y la radiación, de la cual este efecto es solo un caso. Compton (1923a, p. 501) afirmó que “el apoyo experimental de la teoría [esto es, de la explicación del efecto Compton] indica muy convincentemente que un cuanto de radiación lleva consigo un momento dirigido, así como una energía”, esto es, apoya la hipótesis del cuanto de luz de Einstein, en especial, en su versión madura de 1916. Según nuestra posición, estas dos acomodaciones confirman, al menos en *su aspecto cualitativo*, de la misma manera la hipótesis del cuanto de luz.

8. 6 El predictivismo de Arthur Compton

Como hemos señalado, la explicación del efecto fotoeléctrico y del efecto Compton son casos genuinos de acomodación de la evidencia conocida por lo que, en principio, confirman en igual medida, al menos en un sentido cualitativo, la hipótesis del cuanto de luz. Sin embargo, la evaluación epistemológica de los filósofos y la consideración de los científicos acerca del apoyo específico relativo de cada una de estas evidencias en la confirmación de la hipótesis del cuanto de luz difiere de manera significativa. En esta dirección, el propio Compton sostuvo, en varias ocasiones, que el efecto Compton confirmaba mejor o, en una medida mayor, la teoría cuántica de la radiación y, con ello, la hipótesis del cuanto de luz, que el efecto fotoeléctrico. Compton sostuvo que su teoría cuántica de la radiación no solo acomodaba de manera satisfactoria la evidencia acerca del efecto Compton, sino que, además, y principalmente, también realizaba una predicción novedosa, esto es, predecía un fenómeno que no había sido observado hasta ese momento: en su interacción con los cuantos de luz, *los electrones retroceden* en una dirección

bien definida respecto de su trayectoria inicial como consecuencia de la energía y del momento lineal que les ceden los cuantos. Según Compton (1923a, pp. 496-497),

[...] los electrones que retroceden en el proceso de dispersión de los rayos X ordinarios no han sido observados [...] hay buenas razones para creer que la mayoría de los rayos β secundarios excitados en elementos ligeros por la acción de los rayos γ son esos electrones de retroceso. Según la Ec. (6), la velocidad de estos electrones debería variar desde 0, cuando el rayo β es dispersado hacia adelante, hasta $v_{max} = \beta_{max} c = 2c\alpha [(1 + \alpha) / (1 + 2\alpha + 2\alpha^2)]$, cuando el cuanto de los rayos γ es dispersado hacia atrás.

En agosto de 1923, apenas dos meses después de la publicación del artículo de Compton, Charles Wilson informó que, en sus experimentos realizados mediante su nuevo método de la cámara de niebla, había observado el retroceso y el comportamiento de estos electrones. Wilson (1923, pp. 25-26) afirmó que

[...] el método de la cámara de niebla es capaz de tratar con cuantos de radiación individuales, en el sentido de que se pueden identificar, bajo condiciones adecuadas, el curso del electrón eyectado del átomo que emite el cuanto de radiación y el del electrón eyectado del átomo que absorbe la radiación [...] los electrones de corto alcance son eyectados casi en la dirección de los rayos X primarios. Su dirección y su rango, y el valor de la frecuencia mínima de la radiación que se requiere para producirlos concuerdan con la sugerencia realizada por A. H. Compton, de que un solo electrón puede ser efectivo para dispersar un cuanto de radiación y que, al hacerlo, recibe todo el momento del cuanto.

Luego de estos resultados, Compton (1923b, p. 435), casi inmediatamente, aseguró que su teoría cuántica de la dispersión de los rayos X muestra “que los electrones que retroceden se mueven en la dirección correcta y poseen una energía del mismo orden de magnitud que la que poseen los electrones responsables de las trayectorias muy cortas [informadas por] Wilson”. Compton sostuvo que los reportes de Wilson comprobaban experimentalmente todas las predicciones que había realizado acerca del efecto Compton. En consecuencia, la verificación de esta predicción incrementó el grado de confirmación de la hipótesis del cuanto de luz. Ahora bien, el punto central es que Compton sostuvo que la verificación de las predicciones de su teoría cuántica de la radiación incrementó, en mayor medida, su grado de confirmación que el efecto fotoeléctrico. Por estas razones, Compton adhirió a una posición predictivista (véase Shankland 1973, pp. xiii-xix). Para Compton (1925, p. 246),

[...] dado que la idea del cuanto de luz fue inventada principalmente para explicar el efecto fotoeléctrico, el hecho de que lo haga muy bien no ofrece una gran evidencia a su favor. La teoría ondulatoria explica cosas tales como la reflexión, la refracción y la interferencia de la luz de una manera tan satisfactoria que no se le podría dar demasiada credibilidad a la teoría cuántica rival, a menos que se encontrara que da cuenta de alguna nueva cosa para la que no ha sido especialmente diseñada. Esto es, justamente, lo que la teoría cuántica logró, recientemente, en relación con la dispersión de los rayos X.

Según Compton, la ecuación fotoeléctrica de Einstein no realizaba ninguna predicción, esto es, no daba cuenta de ningún otro fenómeno que no hubiera sido observado con anterioridad; y, además, solo involucraba, al menos en su versión de 1905, la conservación de la energía de los cuantos; mientras que su teoría, además de la conservación de la energía, también confirmaba la conservación del momento. Pero, principalmente,

[...] dado que esos electrones de retroceso eran desconocidos en el momento en el que se presentó la teoría, su existencia y la estrecha concordancia con las predicciones acerca de su número, dirección y velocidad, proporcionan una fuerte evidencia a favor de las hipótesis fundamentales de la teoría cuántica de la dispersión. (Compton 1924, p. 68)

Con todo, el predictivismo de Compton es moderado. En efecto, creemos, por una parte, que aquellos pasajes en los que parece radicalizar su predictivismo están dirigidos a defender su teoría cuántica y su descubrimiento del efecto que lleva su nombre de los ataques de otros científicos y a revalorizarla frente a los trabajos de Einstein en la materia. Por otra parte, sostenemos que, como hemos podido advertir en las secciones previas, Compton también sostiene que la acomodación de la evidencia acerca del efecto Compton por parte de su teoría cuántica de la radiación fue genuina, por lo que, en consecuencia, también confirmó la teoría, aunque en menor medida que la verificación de las predicciones novedosas realizadas en la explicación de dicho efecto. La acomodación fue genuina porque *unificó*, de manera simple, por ejemplo, sin introducir parámetros libres, los fenómenos concernientes al efecto Compton que eran anómalos para la teoría ondulatoria de la dispersión. Las ecuaciones del efecto Compton eran consideradas simples y elegantes, ya que se deducían de las leyes más generales y aceptadas por los físicos, esto es, las leyes conservativas (de la energía y del momento) y no introducían parámetros libres que, luego, pudieran ser ajustados. La ecuación fotoeléctrica, por el contrario, si bien también se deducía de supuestos simples, solo suponía la conservación de la energía de los cuantos y, además, introducía un parámetro libre que debía ser ajustado, esto

es, el trabajo P que debe realizar el electrón para abandonar la superficie del cuerpo. Tal fue el caso que Compton (1924, p. 68) aseguró que “Sommerfeld le expresó su opinión de que el descubrimiento del cambio de la longitud de onda de la radiación, debido a la dispersión, suena como una sentencia de muerte para la teoría ondulatoria de la radiación”.

Ahora bien, si EC son los fenómenos concernientes al efecto Compton; TC , es su teoría cuántica de la radiación; y TO , es la teoría ondulatoria de la radiación, entonces EC confirma TC , ya que, si $\Pr (EC|TC) \cong 1$ y $\Pr (EC|TO) \cong 0$, entonces, $\Pr (EC|TO) / \Pr (EC|TC) \ll 1$, por lo que, en consecuencia, $\Pr (TC|EC \& K) > \Pr (TC|K)$. Además, la relación de este efecto con las teorías rivales era diferente de la relación de éstas con el efecto fotoeléctrico. Compton creía, en ese momento, que el efecto fotoeléctrico podía explicarse por medio de una revisión de la teoría ondulatoria, mientras que también creía que no se podía dar cuenta del efecto Compton sin una teoría que no recurriera a características corpusculares de la radiación. Por estas razones, según Compton, $[\Pr (EC|TO) / \Pr (EC|TC)] \ll [\Pr (EF|TO) / \Pr (EF|TC)]$, por lo que, en consecuencia, la acomodación de la evidencia acerca del efecto Compton confirmó, en su *aspecto cuantitativo*, en una medida mayor, la teoría cuántica de la radiación que el efecto fotoeléctrico.

8.7 Las críticas al predictivismo de Compton

En la sección anterior, mostramos que la posición predictivista de Compton está exagerada y que, en última instancia, sostiene un predictivismo moderado. Señalamos que para que la acomodación confirme una teoría tiene que ser genuina, esto es, tiene que, por ejemplo, acomodar de una manera simple evidencia conocida que sea anómala para las teorías rivales, unificar la anomalía dentro de una clase general de fenómenos interrelacionados, el contenido de dicha evidencia tiene que ser, en cierta medida, heterogéneo con respecto al resto de la evidencia conocida y/o la acomodación tiene que realizar predicciones novedosas que sean independientemente contrastables de cualquier hecho acerca de la evidencia ya acomodada. Compton sostuvo que, en mayor o menor medida, las dos acomodaciones, esto es, la de la evidencia acerca del efecto fotoeléctrico y la del efecto Compton, cumplieran estos requisitos, con la excepción de que *solo* el efecto Compton realizó predicciones que, luego, se verificaron. Como adelantamos en secciones anteriores, para algunos filósofos e historiadores de la ciencia, este análisis de Compton es inadecuado.

En efecto, en la sección 4 de este capítulo, señalamos que Stuewer (1970a), por ejemplo, mostró que el efecto fotoeléctrico, en especial, la ecuación fotoeléctrica, también realizó, por lo

menos, tres predicciones novedosas que recién pudieron ser verificadas años después de su formulación. Además, Stuewer (1970a, p. 247) afirma que no sería adecuado considerar que la evidencia acerca del efecto fotoeléctrico fue simplemente una acomodación de la hipótesis del cuanto de luz de Einstein, ya que esta hipótesis “fue una consecuencia necesaria de supuestos muy fundamentales: en ningún sentido la propuso de una forma *ad hoc* [en cuyo caso, solo sería una acomodación meramente espuria] para ‘explicar’ ciertos experimentos”. En este sentido, en la hipótesis del cuanto de luz están involucrados ciertos conceptos y características que la convierten en una teoría fundamental de la física, por lo que el efecto fotoeléctrico es solo uno de los resultados de esa teoría.

Cassini, Levinas y Pringe (2013, p. 186), por su parte, sostienen que el objetivo de la hipótesis de Einstein era ofrecer una explicación de los fenómenos de interacción entre la radiación y la materia que eran anómalos para la electrodinámica clásica; fenómenos que, para Einstein, “tenían en común la ocurrencia de procesos de absorción y de emisión de luz por parte de la materia, [de manera que], Einstein se proponía dar cuenta de toda una clase de fenómenos, de los cuales el conocido efecto fotoeléctrico es solo una especie”. El propio Einstein (1905, p. 133), en la introducción de su artículo, apoya esta interpretación, puesto que afirma que “las observaciones de la 'radiación de cuerpo negro', fotoluminiscencia, producción de rayos catódicos por luz ultravioleta y otros grupos de fenómenos concernientes a la emisión y a la transformación de la luz son más comprensibles si suponemos que la energía de la luz está distribuida discontinuamente en el espacio”.

Brush (2007 y 2015), por su parte, analizó con detalle la recepción de la explicación de los dos efectos y su relación con la confirmación de la hipótesis del cuanto de luz por parte de los físicos de la época y concluyó que la ventaja confirmatoria adjudicada a la verificación de las predicciones sobre la acomodación de la evidencia conocida no está, de hecho, justificada. Brush critica el predictivismo, incluso la posición moderada, ya que sostiene que, incluso si aceptamos que la ecuación fotoeléctrica también realizó predicciones, al igual, y de la misma calidad, que el efecto Compton, no hay, por una parte, razones suficientes para sostener que la verificación de esas predicciones confirmó, en mayor medida, la hipótesis del cuanto de luz que la acomodación de la evidencia acerca de los dos efectos, ni, por otra parte, tampoco tenemos evidencia histórica suficiente que apoye el predictivismo. Brush (2015, p. 208) muestra que, si bien algunos de los físicos de la época señalan el retroceso de los electrones como una predicción exitosa del efecto Compton, “ninguno de ellos, con excepción del propio Compton,

sostuvo que su teoría [cuántica de la radiación] era más probable que sea válida *porque* predijo [el retroceso de los electrones] *antes* de que fuera descubierto” (énfasis del autor).

En suma, Brush sostiene que la confirmación de la hipótesis del cuanto de luz no fue el resultado de la explicación de un fenómeno en particular, ya sea del efecto fotoeléctrico o del efecto Compton, sino de una acumulación de esfuerzos teóricos y experimentales de muchos físicos que buscaron explicar las anomalías de la electrodinámica clásica. Así, Brush sostiene, al menos en este caso científico, una posición neutralista con respecto al problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida. Para Brush, cada físico, individualmente, evaluó la evidencia disponible y pudo sopesar en diferentes medidas el grado en el que cada una de las evidencias, ya sea conocida o una predicción, confirmó la hipótesis; pero, para la comunidad de los físicos, la confirmación de la teoría cuántica de la radiación fue un proceso gradual de acumulación de evidencia en el que intervinieron, en igual medida, tanto la verificación de las predicciones exitosas de la teoría, como la acomodación de las anomalías de la electrodinámica clásica. En la próxima sección, evaluaremos con mayor detalle la posición de la comunidad de los físicos antes y después de 1923, esto es, antes y después del efecto Compton.

Con todo, creemos que el análisis de Brush, como historiador de la ciencia, se concentra mayormente en la recepción de los descubrimientos y de las teorías, así como en la posición de los físicos con respecto a ellos, y no tanto en el aspecto normativo de la confirmación de las teorías. En la primera parte, analizamos diferentes marcos normativos y sostuvimos que la teoría bayesiana de la confirmación permite la defensa de un predictivismo moderado, como el que, según nuestra posición, sostiene el propio Compton, en el cual la verificación de algunas de las predicciones novedosas de una teoría incrementa, en mayor medida, su grado de confirmación que la acomodación de la evidencia conocida. Como mostramos en la sección 8 del capítulo 4, los conceptos de heterogeneidad y de cantidad y precisión de la información de la evidencia, en este caso, de las predicciones novedosas, son útiles para mostrar la ventaja confirmatoria de las predicciones del efecto Compton por sobre las del efecto fotoeléctrico. Compton predijo la existencia de un fenómeno *cualitativo* no observado con anterioridad; mientras que las predicciones del efecto fotoeléctrico fueron refinamientos *cuantitativos* de un fenómeno *cualitativo* que ya era conocido con anterioridad.

Compton afirmó que, “dado que su *propia existencia (very existence)* era desconocida antes de que fueran predichos por la teoría cuántica, los electrones de retroceso deben ser tomados como un fuerte apoyo de la teoría de los cuantos de radiación”. Como hemos señalado, el efecto fotoeléctrico realizó predicciones cuantitativas, esto es, estableció con precisión, por ejemplo,

la relación entre la frecuencia y la energía de los cuantos γ , además, encontró que la constante h de la ecuación fotoeléctrica tenía *el mismo valor* que la constante que había deducido Planck en su explicación de la radiación del cuerpo negro. Sin embargo, estas predicciones eran acerca de fenómenos que ya habían sido descritos de manera cualitativa. El efecto Compton, por el contrario, también realizó predicciones *cualitativamente novedosas*, esto es, también predijo un tipo de evento aun completamente desconocido: la existencia y las propiedades de los electrones de retroceso. Por estas razones, sean *PEF*, las predicciones cuantitativas del efecto fotoeléctrico y *PEC*, las predicciones cualitativas del efecto Compton, *PEC* es más heterogéneo dado el conjunto del conocimiento previo que *PEF* y, además, su contenido y la precisión de la información que ofrece es mayor que los de *PEF*.

Según esta interpretación, por una parte, la probabilidad de las predicciones cuantitativas del efecto fotoeléctrico dado el conjunto del conocimiento previo es mayor que la probabilidad de las predicciones cualitativas del efecto Compton dado el mismo conjunto (esto es, $\Pr(PEF|K) > \Pr(PEC|K)$), de manera que, *ceteris paribus*, $[\Pr(TC|PEC \& K) - \Pr(TC|K)] > [\Pr(TC|PEF \& K) - \Pr(TC|K)]$ por lo que, en consecuencia, la verificación de las predicciones cualitativas del efecto Compton incrementa, en mayor medida, el grado de confirmación de la teoría cuántica que la verificación de las predicciones cuantitativas del efecto fotoeléctrico. Por otra parte, si la cantidad y la precisión de la información que ofrecen las predicciones del efecto Compton es mayor que la que ofrecen las del efecto fotoeléctrico, entonces, también se da el caso de que la verificación de las predicciones cualitativas del efecto Compton incrementa, en mayor medida, el grado de confirmación de la teoría cuántica de la luz que la verificación de las predicciones cuantitativas del efecto fotoeléctrico, ya que, por una parte, $\Pr(PEC|TC \& K) > \Pr(PEF|TC \& K)$; mientras que, por otra, $\Pr(PEC|\neg TC \& K) < \Pr(PEF|\neg TC \& K)$, de manera que $[\Pr(PEC|\neg TC \& K) / \Pr(PEC|TC \& K)] < [\Pr(PEF|\neg TC \& K) / \Pr(PEF|TC \& K)]$ y, en consecuencia, si ambas predicciones se verifican, entonces, según este esquema bayesiano de la diferencia entre las *likelihoods*, $[\Pr(TC|PEC \& K) - \Pr(TC|K)] > [\Pr(TC|PEF \& K) - \Pr(TC|K)]$. En suma, sostenemos que la teoría bayesiana de la confirmación apoya, en el caso de la hipótesis del cuanto de luz, un predictivismo moderado que reivindica la posición del propio Compton.

8. 8 ¿Fue un punto de inflexión?: La posición de los físicos antes y después de 1923

Según muchos filósofos e historiadores de la ciencia (entre ellos, Brush 2007 y 2015; Klein 1963; Pais (1982) y Stuewer 1975 y 2000) la comunidad de los físicos cambió, de manera

significativa, su posición respecto de la confirmación de la teoría cuántica de la radiación en 1923, esto es, en líneas generales, consideró que la evidencia disponible confirmaba la teoría y que ésta ofrecía evidencia suficiente para ser aceptada y, por tanto, para creer en la existencia de los cuantos de luz. Ahora bien, puesto que en 1923 Compton publicó su teoría cuántica de la radiación que explicaba el efecto que lleva su nombre y que, además, en ese mismo año, Wilson verificó las predicciones del efecto Compton, los predictivistas sostienen que este hecho apoya su posición. Con todo, la reticencia de la comunidad de los físicos frente a esta teoría puede explicarse por otras razones y no solo por el hecho de que el efecto fotoeléctrico, a diferencia del efecto Compton, solo acomodaba, según varios miembros reconocidos de la comunidad, la evidencia conocida.

Entre estas razones, podemos destacar el carácter revolucionario de la hipótesis de Einstein, esto es, que la luz tiene características corpusculares no solo cuando interactúa con los electrones, sino también, en general, cuando se propaga como radiación libre en el vacío. En efecto, esta concepción era muy resistida por muchos físicos consagrados, entre ellos, el propio Planck, ya que, para la comunidad de los físicos, la teoría electromagnética clásica describía adecuadamente los fenómenos de propagación de la radiación. Otra de las razones que ofrecían los físicos era que esta hipótesis parecía retornar a una concepción corpuscular de la naturaleza de la luz, esto es, la concepción newtoniana, que ya se consideraba superada. Sin embargo, como ya hemos señalado, la hipótesis de Einstein no era un retorno a la teoría de la emisión de Newton debido tanto a las características propias de los cuantos de luz, como a la incompatibilidad de la concepción de Newton con la propia teoría de la relatividad de Einstein (véanse Cassini y Levinas 2007 y Cassini, Levinas y Pringe 2015).

Principalmente, la reticencia de la comunidad de los físicos se debía a las dificultades que la hipótesis de Einstein tenía para dar cuenta de toda una clase de fenómenos, entre ellos, los de interferencia, difracción y refracción, para los que la teoría ondulatoria ofrecía una descripción empírica y teóricamente adecuada. Por ello, si la nueva hipótesis no lograba explicar una clase de fenómenos ampliamente conocidos, entonces, también tenía anomalías severas, por lo que, en consecuencia, la hipótesis del cuanto de luz también era, en principio, incompleta. El propio Einstein parece haber sostenido esa posición. En efecto, como ya hemos señalado, Einstein creía que la teoría ondulatoria de la luz explicaba satisfactoriamente esa clase de fenómenos y que, en consecuencia, no debía ser reemplazada por otra teoría en esos dominios. De esta manera, también consideraba que su hipótesis era incompleta o, al menos, que era parte de una teoría

que aún debía formularse. Einstein (1909, p. 379) afirma que, en su opinión, esa teoría de la luz podría entenderse “como una especie de fusión entre la teoría ondulatoria y de la emisión”.

Como también hemos señalado, desde su introducción, Einstein consideró a esta hipótesis de manera provisoria, pero la acumulación de la evidencia a su favor lo condujo a considerar que la radiación tenía ciertas propiedades corpusculares, por lo que una teoría satisfactoria de la radiación debería ser capaz de unificar, en algún sentido a precisar, todos estos fenómenos en una teoría completa. Einstein nunca completó este trabajo, pero sus esfuerzos siempre estuvieron dirigidos hacia la formulación de una teoría de campos unificada, en donde el concepto de campo y, en consecuencia, la teoría electromagnética clásica, tenía una primacía ontológica respecto del concepto clásico de partícula: en definitiva, Einstein creía que las propiedades corpusculares de la radiación en general debían poder explicarse, en algún sentido, como una manifestación de los campos electromagnéticos.

Hacia 1916, la teoría ondulatoria de la luz era tan aceptada por la comunidad de los físicos que el propio Millikan, luego de verificar mediante sus experimentos las predicciones del efecto fotoeléctrico, desestimó que dichos experimentos confirmaran la hipótesis del cuanto de luz de Einstein. Por el contrario, afirmó que los mismos resultados podían ser explicados en el contexto de una teoría ondulatoria de la luz. En esa dirección, Millikan (1916, p. 383) sostuvo que

[...] quizás sea demasiado pronto para afirmar, con absoluta confianza, la validez general y precisa de la ecuación de Einstein. Sin embargo, debe admitirse que los presentes experimentos constituyen una justificación mucho mejor para tal afirmación que los que se han realizado hasta ahora [...] con todo, la teoría semicorpuscular mediante la cual Einstein llegó a esta ecuación parece, en la actualidad, completamente insostenible.

Como podemos advertir, Millikan, como la mayoría de los físicos de la época, aceptaba los resultados del efecto fotoeléctrico, pero aún creía que no eran suficientes para rechazar la teoría ondulatoria de la luz. Mientras aún fuera posible ofrecer una explicación, al menos, igualmente buena del efecto fotoeléctrico en el contexto de la teoría ondulatoria, el incremento en el grado de confirmación de la teoría cuántica de la radiación no era suficiente para que dicha teoría se considerara mejor confirmada que la teoría ondulatoria. Brush (2007) señala, acertadamente, que es razonable que Millikan, y la mayoría de los físicos, no hayan abandonado la teoría ondulatoria de la luz, la cual también había realizado muchas predicciones exitosas y que, además, explicaba la mayoría de las propiedades observables de la luz, para adherir a una hipótesis que acreditaba, hasta ese momento, solo algunas predicciones exitosas relacionadas

con el efecto fotoeléctrico y que ofrecía explicaciones plausibles de algunos otros fenómenos, pero que no explicaba otros fenómenos relevantes de larga tradición.

Brush (2007, p. 218) concluye que, “desde un punto de vista lógico un experimento no puede *confirmar* una hipótesis, a menos que se pueda probar que no hay ninguna otra hipótesis que conduzca al mismo resultado empírico” (énfasis del autor). En esa dirección, Cassini y Levinas (2008, p. 30), sostienen que, “en realidad, los resultados de Millikan confirmaron la teoría de Einstein, pero no constituyeron *un experimento crucial* respecto de la teoría rival de Richardson, o de su propia teoría (o, más bien, esbozo de teoría), las cuales también quedaron confirmadas” (énfasis nuestro). Como ya señalamos, al menos en esos años, había otras hipótesis que podían explicar la ecuación de Einstein. Sin embargo, luego de 1923, específicamente, en 1924, Millikan (p. 256) sostiene que el efecto Compton es “la mejor evidencia encontrada a favor de los cuantos de luz localizados [...], una hipótesis que está teniendo nuevos y notables éxitos”. Además de la acumulación de evidencia a su favor, las características corpusculares de la radiación parecían, a diferencia del caso del efecto fotoeléctrico, necesarias para explicar el efecto Compton.

En 1921, varios años después de su artículo de 1905 sobre los cuantos de luz, con la hipótesis más madura y, además, luego de la verificación de las predicciones, la Real Academia de las Ciencias de Suecia, le entregó el premio Nobel de Física a Einstein por sus trabajos relacionados con la explicación del efecto fotoeléctrico. Ahora bien, la entrega del premio podría considerarse, en principio, el reconocimiento de la comunidad de los físicos tanto a su hipótesis del cuanto de luz, como, específicamente, al peso confirmatorio que la explicación y las predicciones del efecto fotoeléctrico le otorgaron a la hipótesis. Sin embargo, la academia le concedió el premio por sus aportes a la física teórica y, *especialmente*, por el descubrimiento de la ley del efecto fotoeléctrico. De esta manera, la comunidad valoró, principalmente, la ecuación fotoeléctrica de Einstein, la cual se encontraba confirmada, y mostró cautela con respecto a la hipótesis de la cual se deriva. Asimismo, como señala Pais (1982, Cap. 30), el comité expresó sus reservas acerca de las teorías de la relatividad y de la gravitación, hasta tanto no fueran confirmadas en el futuro. La conferencia que acompañó la entrega del premio no señala, en ningún momento, que la verificación de la ecuación confirmó la teoría cuántica de la luz (véanse Arrhenius 1922 y Brush 2007). Por último, Niels Bohr, quizás el físico más influyente de la época, junto con Einstein, rechazaba la hipótesis del cuanto de luz. Según su concepción, la luz no se emitía en cuantos de energía, sino en ondas electromagnéticas de frecuencia definida. Como señalaremos en la próxima sección, Bohr mantuvo esta posición, incluso, luego del descubrimiento del efecto Compton. En 1922, cuando recibió su premio Nobel, Bohr (p. 14)

afirmó que, “pese a su valor heurístico, [...] la hipótesis del cuanto de luz de Einstein, la cual es bastante irreconciliable con los llamados fenómenos de interferencia, no es capaz de esclarecer la naturaleza de la radiación” (véase, además, Stuewer 2000).

Luego de 1923, aunque todavía con ciertas reservas, las propiedades corpusculares de la radiación eran aceptadas por la mayoría de los físicos. Algunos, entre ellos, Louis de Broglie (1924, p. 446), ya conducían, naturalmente, todos sus experimentos suponiendo la naturaleza corpuscular de la radiación, ya que consideraban que, en ese momento,

[...] el efecto fotoeléctrico, que es el principal mecanismo de intercambio de energía entre la radiación y la materia, parece con *creciente probabilidad* estar siempre gobernado por la ley del efecto fotoeléctrico de Einstein [la ecuación fotoeléctrica]. Los experimentos sobre las acciones fotográficas, los resultados recientes de A. H. Compton sobre el cambio en la longitud de onda de los rayos X dispersados, serían muy difíciles de explicar sin la noción de cuanto de luz [...] En este trabajo, asumiré la existencia real de los cuantos de luz, y trataré de ver cómo sería posible reconciliar con ella la fuerte evidencia experimental sobre la cual está basada la teoría ondulatoria. (énfasis nuestro) (véase, además, Cassini, Levinas y Pringe 2015)

Para de Broglie, la acumulación de la evidencia experimental, en especial, el descubrimiento del efecto Compton, ya era suficiente para aceptar las propiedades corpusculares de la luz. Con todo, este hecho no implicaba, ni era evidencia suficiente, rechazar las propiedades ondulatorias de la luz que también estaban sólidamente confirmadas. Por estas razones, a partir de ese momento, comenzarían todos los esfuerzos para reconciliar estas dos propiedades, aparentemente incompatibles, de la luz. Por nuestra parte, creemos que la posición de la mayoría de los físicos, antes y después de 1923, apoya el predictivismo, pero en su versión moderada. En efecto, la confirmación de la hipótesis del cuanto de luz, específicamente, que la luz también tiene propiedades corpusculares, fue el producto de un proceso gradual de acumulación de evidencia, ya sea evidencia conocida o de predicciones novedosas, en el cual el descubrimiento del efecto Compton y la verificación de sus predicciones fue un punto de inflexión significativo. Cabe señalar que las propiedades ondulatorias de la radiación no fueron disconfirmadas, sino que, además, se confirmaron sus propiedades corpusculares. En conclusión, la teoría cuántica de la radiación incrementó su grado de confirmación en la medida en la que la teoría electrodinámica clásica cedió poder predictivo y explicativo. En esa dirección, las predicciones novedosas y la acomodación de la evidencia conocida acerca del efecto Compton fueron uno de los casos más relevantes.

8. 9 ¿Más evidencia a favor del predictivismo? La contrastación de la predicción de la teoría de Bohr-Kramers-Slater

La mayoría de la comunidad de los físicos todavía creía, antes de 1923 e, incluso, después, la posibilidad de explicar el efecto fotoeléctrico a partir de una teoría electromagnética clásica. Ahora bien, algunos físicos, además, también consideraron que el efecto Compton, pese a que, parecía mostrar ciertas propiedades corpusculares de la radiación, podía explicarse por medio de la teoría electrodinámica. Si esto fuese posible, argumentaban sus partidarios, la teoría cuántica de la radiación perdería, en gran medida, apoyo confirmatorio. El programa de investigación más avanzado concerniente a la explicación electromagnética del efecto Compton fue el desarrollado por el propio Bohr, junto con Hendrik Kramers y John Slater en 1924. Como señalamos, la explicación del efecto Compton mediante la teoría cuántica suponía la conservación de la energía y del momento lineal, pero no probaba que éstos se conservaran en todas las interacciones individuales entre la radiación y la materia. En consecuencia, la explicación aún era compatible con una conservación estadística de la energía y del momento.

Bohr, Kramers y Slater (1924), influidos, en cierta medida, por las primeras posiciones de Planck, supusieron solo la conservación estadística de la energía y del momento y sostuvieron que la radiación se propaga como ondas electromagnéticas según la teoría clásica y que, solo en el caso de la interacción entre la radiación y los electrones, esto es, puntualmente en el proceso de emisión y de absorción, se comporta como si estuviera compuesta de partículas. Así, Bohr, Kramers y Slater supusieron que la energía y el momento no se conservan, necesariamente, en los procesos individuales de interacción, sino solo, de manera estadística, para grandes números de interacciones. La otra propuesta radical de esta teoría, en adelante, *TBKS*, tiene que ver con la emisión, ya que, en este caso, la emisión no es simultánea, sino que depende del “campo de radiación virtual” asociado a cada átomo, el cual contiene todas las frecuencias de transición a otros estados estacionarios posibles. En otras palabras, la emisión se atribuye a la acción del campo virtual, la cual está gobernada por leyes de probabilidad, esto es, por un mecanismo no causal (véase, además, Pais 1982, Cap. 22).

Con todo, la propuesta de estos científicos era casi puramente cualitativa, esto es, no ofrecía una descripción cuantitativamente precisa de los fenómenos, y apelaba a una comprensión casi conceptual y teóricamente intuitiva de la virtualidad de los campos y los osciladores, a la manera de una analogía con lo expuesto en la teoría electromagnética clásica. En este sentido, la “teoría” acomodaba la evidencia acerca de los fenómenos concernientes al efecto Compton, y, como señalaremos, solamente proporcionaba una predicción de carácter cualitativo, en los términos

clásicos de la interferencia entre campos electromagnéticos, en este caso, virtuales, que dan lugar a los fenómenos de emisión y de absorción, los cuales solo pueden describirse probabilísticamente. El cambio de la frecuencia de los rayos X dispersados se explicaba a la manera de un efecto Doppler, ya que los osciladores virtuales asociados a cada electrón dispersan la radiación como si estuvieran en movimiento en la misma dirección que la radiación incidente. Como ya señalamos, Compton, en sus primeras propuestas, esto es, cuando aún intentaba explicar el efecto en el contexto de la electrodinámica clásica recurrió a un tipo de explicación semejante. La diferencia entre $TBKS$ y otras teorías electromagnéticas rivales es que realizaba, si bien solo de manera cualitativa, una predicción susceptible de contrastación experimental. Según $TBKS$, la dirección de un electrón de retroceso producto de la interacción con un cuanto de rayos X no queda establecida de manera unívoca, como lo requieren las leyes de conservación, sino que, más bien, muestra una amplia distribución estadística (véanse Cassini, Levinas y Pringe 2015 y Kragh 2009).

Ahora bien, según el esquema bayesiano, la verificación de las predicciones del efecto Compton incrementa, en mayor medida, el grado de confirmación de la teoría cuántica de la radiación que la verificación de aquella predicción con respecto al grado de confirmación de $TBKS$. En efecto, la probabilidad de la predicción del efecto Compton dadas la teoría cuántica de la radiación y sus rivales (en realidad, $\neg TC$) es menor que su probabilidad dadas $TBKS$ y $\neg TBKS$ (esto es, si PEC^* es la predicción del efecto Compton en el contexto de $TBKS$, entonces, dado que $[\Pr(PEC|\neg TC \ \& \ K) / \Pr(PEC|TC \ \& \ K)] \ll [\Pr(PEC^*|\neg TBKS \ \& \ K) / \Pr(PEC^*|TBKS \ \& \ K)]$, entonces, $[\Pr(TC|PEC \ \& \ K) > \Pr(TC|K)] > [\Pr(TBKS|PEC^* \ \& \ K) \ll \Pr(TBKS|K)]$, puesto que la heterogeneidad, la cantidad y la precisión de la información ofrecida por las predicciones cualitativas de la teoría cuántica de la radiación de Compton es mayor que la ofrecida por la predicción cuantitativa de la teoría electromagnética de Bohr-Kramers-Slater.

La predicción de $TBKS$ pudo ser contrastada unos meses después. En 1924, Walther Bothe y Hans Geiger “encontraron que el electrón expulsado y el cuanto de luz secundario se emitían simultáneamente a una tasa que no podía atribuirse al azar” (Stuewer 2000, p. 988). Más precisamente, Bothe y Geiger informaron que las dos partículas se producen, ambas, en un intervalo de tiempo de $\lesssim 10^{-3}$ s. Así, el experimento confirmaba la causalidad del proceso de interacción y refutaba la aleatoriedad de la producción del electrón y del fotoelectrón que exigía $TBKS$ (véase Pais 1982). Para contrastar la predicción, Bothe y Geiger emplearon dos contadores de partículas: uno para detectar los electrones de retroceso y otro para detectar los fotoelectrones. El supuesto era que por cada electrón de retroceso se debería producir un

fotoelectrón. Bothe y Geiger contaron las coincidencias y observaron que, cada 11 electrones detectados, se detectaba un fotoelectrón. Durante un periodo de 5 horas de observación detectaron 66 coincidencias, una frecuencia muy alta que contradecía la predicción de *TBKS*. Según esos resultados, existe una correlación, y no un proceso ocasional, en la producción de los electrones de retroceso y los fotoelectrones (véase Cassini, Levinas y Pringe 2015).

En esos mismos meses de 1925, el propio Compton y Alfred Simon confirmaron las hipótesis de la conservación de la energía y del momento lineal en los procesos individuales de interacción entre los cuantos de luz y la materia. En efecto, Compton y Simon confirmaron que, en cada interacción individual, se cumple la relación, deducida por Debye (1923), $\tan \phi = - [(1 + h\nu/mc^2) \tan \frac{1}{2} \theta]^{-1}$, en donde ϕ y θ son, respectivamente, el ángulo de dispersión del electrón de retroceso y del fotoelectrón; y ν , la frecuencia de la radiación incidente. Según la teoría cuántica de la radiación, existe una correlación estricta entre estos ángulos en cada interacción individual entre un cuanto de luz y un electrón. En cambio, según *TBKS*, debido a que la radiación dispersada es una onda esférica, la cual se propaga en todas las direcciones, no hay ninguna correlación, sino meramente ocasional, entre aquellos ángulos, esto es, entre la dirección en la cual proceden los electrones de retroceso y las direcciones en las cuales se observan los efectos de la radiación dispersada (esto, es los fotoelectrones producidos en cada interacción) (véanse Cassini, Levinas y Pringe 2015 y Pais 1982). Los resultados obtenidos, de igual manera que en el caso de los experimentos de Bothe y Geiger, mostraban la existencia de una correlación entre aquellos ángulos la cual, si bien no era muy alta, era suficiente, puesto que la probabilidad de que dichas correlaciones fueran espurias era muy baja. Compton y Simon (1925, p. 299), concluyeron que

[...] estos resultados no parecen ser reconciliables con el punto de vista de la producción estadística de los electrones de retroceso y de los fotoelectrones propuesta por Bohr, Kramers y Slater. Por otra parte, apoyan directamente el punto de vista de que *la energía y el momento se conservan durante la interacción entre la radiación y los electrones individuales* (énfasis de los autores).

Los resultados de los experimentos independientes de Bothe y Geiger y de Compton y Simon mostraron el fracaso de la predicción del efecto Compton según la interpretación de *TBKS* y proporcionaron una nueva confirmación de las predicciones del efecto Compton según la interpretación de la teoría cuántica de la radiación, en especial, confirmaron las leyes de conservación de la energía y del momento, que estaban presupuestas en la explicación de Compton. Por ello, los experimentos, por una parte, incrementaron el grado de confirmación de

la teoría cuántica, mientras que, por otra parte, refutaron o, al menos, disminuyeron significativamente el grado de confirmación de una teoría de la radiación descrita en términos ondulatorios clásicos. En conclusión, el resultado de la contrastación de la predicción de *TBKS* es una evidencia a favor del predictivismo. En efecto, por una parte, los partidarios de la interpretación ondulatoria abandonaron sus esfuerzos e incrementaron su creencia en que la radiación, al menos, en parte, también presenta propiedades corpusculares, ante el fracaso de una de sus predicciones novedosas, incluso, cuando sostenían que dicha interpretación acomodaba de forma satisfactoria toda la evidencia conocida acerca del efecto Compton. En su aspecto formal, *TBKS* cedió gran parte de su capacidad predictiva frente a la teoría cuántica de la radiación rival. Esto es, por una parte, $\Pr(PEC^* | TBKS \& K) \cong 0$ y $\Pr(PEC^* | \neg TBKS \& K)$ aumentó significativamente, por lo que $\Pr(PEC^* | \neg TBKS \& K) \gg \Pr(PEC^* | TBKS \& K)$; mientras que, por otra, $\Pr(PEC | TC \& K) \cong 1$ y $\Pr(PEC | \neg TC \& K)$ disminuyó significativamente, por lo que $\Pr(PEC | TC \& K) \gg \Pr(PEC | \neg TC \& K)$. Por lo tanto, según el modelo de las *likelihoods*, $[\Pr(TC | PEC \& K) \gg \Pr(TC | K)] \gg [\Pr(TBKS | PEC^* \& K) \ll \Pr(TBKS | K)]$.

8. 10 Acerca de la existencia de los cuantos de luz

En esta sección, evaluaremos si la verificación de las predicciones novedosas del efecto fotoeléctrico y, especialmente, del efecto Compton, incrementó el grado de confirmación de la interpretación realista de la teoría cuántica de la radiación, particularmente, si incrementó la probabilidad de la comunidad de los físicos en la creencia de que los cuantos de luz refieren a entidades existentes. Por esta razón, nos enfocaremos exclusivamente en este aspecto del debate acerca del realismo científico y no abordaremos otros aspectos, que también son relevantes, acerca de la metafísica de la ciencia en general y de las características de la física cuántica en particular.

El artículo de 1905, donde Einstein introduce la hipótesis del cuanto de luz, lleva como título: “Sobre un punto de vista heurístico concerniente a la producción y transformación de la luz”. El empleo del término “heurístico” (*heuristik*) (único lugar del artículo, además, en donde aparece) ha suscitado un amplio debate acerca de la posición de Einstein respecto de la *realidad* del cuanto de luz. Claramente, Einstein emplea este término para mostrar, ya desde el comienzo mismo del artículo, una cierta cautela científica, y, por qué no, epistemológica, con respecto a los desarrollos teóricos expuestos en el artículo. En especial, creemos que la cautela abarca, no solo, pero principalmente, a la hipótesis “revolucionaria” del cuanto de luz, sino, inclusive, a

todo el enfoque teórico mediante el cual Einstein pretende dar cuenta de todos fenómenos concernientes a la interacción entre la radiación y la materia. Como ya hemos señalado, la hipótesis del cuanto de luz no es la única hipótesis teórica, ni la cuántica el único enfoque teórico, que se presentan en el artículo. En una de sus acepciones más técnicas, la heurística es un método para obtener conocimiento científico (o, más bien, una aproximación a ese conocimiento) que se emplea en aquellos casos en los que, justamente, aún no se cuenta con un método probado o, al menos, suficientemente confiable. Otra acepción refiere al empleo de, por ejemplo, en este caso científico, una hipótesis que ya se ha mostrado exitosa en un dominio específico *para explorar otro* dominio de fenómenos (véase Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften s.f.).

En 1905, la hipótesis del cuanto de luz, y, aún más, la teoría cuántica de la radiación, era una hipótesis teórica incipiente con poco apoyo teórico y casi nulo apoyo experimental que se había mostrado exitosa, como un dispositivo matemático, en la explicación de algunos fenómenos, en especial, en la explicación de la radiación del cuerpo negro de Planck. Como ya hemos señalado, Einstein y, en general, la comunidad de los físicos, tardó casi 20 años en proporcionar una comprensión teórica más madura de las características cuánticas de la radiación. Creemos que, durante todo ese periodo, Einstein mantuvo la misma cautela científico-epistemológica sobre la hipótesis del cuanto de luz; pero que, a medida que la teoría mostraba mayores virtudes epistémicas y mayor apoyo confirmatorio, sus creencias con respecto a la existencia de, al menos, ciertas características corpusculares de la radiación, se incrementaron de manera significativa. En 1905, Einstein solo introdujo la hipótesis para referirse a la energía de los cuantos concebida como un paquete discreto y, por ello, más semejante a los “corpúsculos granulares” de las teorías clásicas que a las ondas continuas del electromagnetismo. Con todo, ya desde esos desarrollos iniciales, los cuantos son “entidades híbridas”, ya que, por una parte, presentan una localización puntual en el espacio-tiempo y una trayectoria bien definida, pero, por otra parte, también poseen, y de manera esencial, una frecuencia y longitud de onda, ambas propiedades exclusivas de las ondas electromagnéticas clásicas (véase Cassini y Levinas 2008).

Sin embargo, pese a esta mixtura de características, Einstein, en 1905, no atribuyó a los cuantos momento lineal ni masa (propiedades clásicas de las partículas), por lo que, en ese periodo, su hipótesis aún era compatible con la teoría electromagnética y con el concepto de campo. En un sentido, los cuantos podían entenderse como “paquetes de energía” compatibles con los campos, o como energía electromagnética altamente concentrada en una determinada región del espacio. Recién en 1916, Einstein (1917) se refiere, de manera general, a la teoría

cuántica de la radiación y, además, atribuye a los cuantos de radiación una direccionalidad, esto es, un momento lineal (formalmente, $p = h\nu/c$) y, por ello, una masa, siguiendo una trayectoria bien definida y sin interacción entre sí (véase Klein 1964). Con todo, la frecuencia de los cuantos sigue siendo la propiedad esencial que permite distinguirlos. En efecto,

[...] dos cuantos dotados de la misma frecuencia resultan entonces estrictamente indiscernibles, ya que [según las ecuaciones de la energía y del momento] necesariamente deben poseer la misma energía y el mismo valor absoluto del momento. Por otra parte, de la relatividad especial se sigue que todos los cuantos deben tener masa en reposo nula por el hecho de moverse a la velocidad de la luz, de modo que tampoco podrían diferenciarse por sus masas. (Cassini, Levinas y Pringe 2013, p. 195)

Por estas razones, es claro que los cuantos de radiación no son partículas en el sentido clásico del concepto y se fortalece la creencia de que estas “entidades” presentan una doble estructura, puesto que el incremento en el grado de confirmación de la hipótesis de que los cuantos tienen propiedades corpusculares no disminuye, de una manera necesaria, el grado de confirmación de la hipótesis de que los cuantos tienen propiedades ondulatorias, las cuales, como hemos señalado, ya estaban sólidamente establecidas. Con todo, pese a que la hipótesis del cuanto de luz ya había obtenido apoyo experimental y a que, además, se contaba con una descripción teórica más comprehensiva de sus propiedades, Einstein continuó refiriéndose a los cuantos de luz, y a la teoría cuántica, en general, de una manera condicional y/o provisoria. Por una parte, creía que los cuantos de luz necesitaban mayor apoyo empírico y, en especial, una teoría más comprehensiva; mientras que, además, también consideraba que podía seguir *explorando* la teoría cuántica de la luz hasta tanto contara con una teoría mejor que unifique todos los fenómenos bajo una misma concepción.

Ahora bien, el problema central era la confirmación de la teoría ondulatoria y su relación con la teoría cuántica. En efecto, la teoría ondulatoria estaba muy bien confirmada por ciertos fenómenos conocidos desde hacía mucho tiempo. El punto es que, bajo ese mismo criterio, ya que la teoría cuántica también comenzaba a recibir confirmaciones provenientes de diferentes experimentos, si aceptamos las propiedades ondulatorias de los cuantos, entonces, también debemos aceptar las propiedades corpusculares, por lo que, de manera más precisa, debemos aceptar las propiedades cuánticas. Este hecho ya anunciaba las dificultades que, años más tarde, se explicitarían y se generalizarían en la mecánica cuántica, relacionadas con la llamada *dualidad onda-partícula* de las partículas cuánticas.

Cabe aclarar que los cuantos de luz postulados por Einstein no refieren, en sentido estricto, a los fotones, esto es, a las partículas elementales que constituyen los cuantos de la radiación electromagnética según la electrodinámica cuántica actual. En efecto, los cuantos de luz, y de la radiación en general, son entidades “semiclásicas”, puesto que, pese a tener frecuencia y longitud de onda, están puntualmente localizadas en el espacio. Los fotones, por el contrario, cuando se propagan libremente se hallan deslocalizados en el espacio y se extienden como las ondas. Además, según el principio de indeterminación, formulado en 1927 por Werner Heisenberg, para todas las partículas cuánticas, no se puede determinar, simultáneamente y con precisión arbitraria, su posición y su momento lineal (y, por ello, su masa y velocidad), de manera que los fotones, a diferencia de los cuantos de luz, tampoco describen trayectorias bien definidas en el espacio. Aquí, no abordaremos estas consecuencias, ya que, por una parte, escapan a nuestros objetivos; mientras que, por otra parte, no alcanzan a la teoría de Einstein ni a los desarrollos que hemos presentado que son anteriores a la formulación de la teoría cuántica estándar.

Los cuantos de luz son entidades hipotéticas postuladas por Einstein como ingredientes necesarios de su explicación mecánico-causal del efecto fotoeléctrico, esto es, son un eslabón, junto a otras entidades como, por ejemplo, los electrones, de una cadena causal que relaciona los distintos eventos de un fenómeno específico. La articulación teórica de diferentes fenómenos conocidos, esto es, la acomodación satisfactoria de la evidencia conocida y, principalmente, el éxito de las predicciones novedosas de una teoría que involucra estos términos teóricos incrementa, como ya hemos argumentado, la probabilidad de que los cuantos de luz refieran a entidades existentes. El supuesto es que el éxito predictivo de la teoría depende, en un sentido causal, justamente, de la existencia de ciertas propiedades reales de las entidades referidas por esos términos teóricos centrales de esa teoría.

Sin embargo, esto no implica, como hemos sostenido en el capítulo 6, que esa teoría sea completa y que, en consecuencia, proporcione una descripción exhaustiva de esas entidades teóricas. Como ocurre en el caso de los cuantos de luz, puede existir una especie de tensión entre ciertas características de estas entidades que, luego, se resuelva en una teoría posterior más comprensiva. Además, la relación de los fenómenos ya conocidos y, principalmente, de las predicciones exitosas, con las teorías rivales mejor confirmadas como, por ejemplo, la teoría ondulatoria, es relevante. Si la teoría ondulatoria cede poder explicativo y predictivo frente a la teoría cuántica, esto es, no puede explicar ni dar cuenta del éxito sistemático de las predicciones

novedosas de la teoría cuántica, entonces, se incrementa la probabilidad de que el término teórico “cuantos de luz” refiera a entidades existentes.

Por nuestra parte, creemos que la teoría bayesiana de la confirmación puede dar cuenta de esta interpretación. Supongamos, primeramente, un agente que adopta una posición realista respecto de la teoría cuántica de la radiación, esto es, que cree que los cuantos de luz refieren a entidades existentes que poseen propiedades como la frecuencia y el momento lineal. Por ello, el agente asigna un valor a la probabilidad previa de que su interpretación sea verdadera dado el conjunto de su conocimiento previo de, por ejemplo, 0.6 (formalmente, $\Pr_R(T_R|K) = 0.6$). En otras palabras, el agente realista cree que es más probable que los cuantos de luz refieran a entidades existentes a que no refieran. Como sostuvimos en la sección 9 del capítulo 6, la creencia de los agentes bayesianos en la verdad de las consecuencias observacionales de la teoría cuántica de la radiación dado el conjunto del conocimiento previo está expresada por la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned}\Pr_R(T_P|K) &= [\Pr_R(T_P|T_R \& K) \times \Pr_R(T_R|K)] + [\Pr_R(T_P|\neg T_R \& K) \times \Pr_R(\neg T_R|K)] \\ &= 1 \times 0.6 + \Pr_R(T_P|\neg T_R \& K) \times 0.4.\end{aligned}$$

En efecto, dado que, por una parte, T_R implica T_P , $\Pr_R(T_P|T_R \& K) = 1$; y que, por otra parte, $\Pr_R(T_R|K) = 0.6$, $\Pr_R(\neg T_R|K) = 1 - \Pr_R(T_R|K) = 0.4$. Solo resta asignar un valor a $\Pr_R(T_P|\neg T_R \& K)$, esto es, a la probabilidad de que las consecuencias observacionales de la teoría cuántica sean verdaderas dado que no contamos con una interpretación realista de la teoría. En otras palabras, suponiendo solo el conjunto del conocimiento disponible. En este caso, creemos que es plausible que el agente realista le asigne un valor bastante bajo a esta probabilidad, ya que cree que las características corpusculares de los cuantos de luz son parte necesaria de la explicación mecánico-causal proporcionada por la teoría cuántica de la radiación y que una teoría cuántica que no las interprete de esa manera aún no se ha mostrado satisfactoria. En otras palabras, para el agente, dado solo el conjunto del conocimiento previo, es bastante poco probable que las consecuencias observacionales de la teoría cuántica sean verdaderas. Supongamos, entonces, que el valor de esa probabilidad sea 0.2 (esto es, $\Pr_R(T_P|\neg T_R \& K) = 0.2$). Con esos valores, resulta que $\Pr_R(T_P|K) = 0.6 + 0.2 \times 0.4 = 0.68$.

Ahora bien, por otra parte, supongamos otro agente, que adopta una posición antirrealista respecto de la teoría cuántica de la radiación, esto es, un agente que cree que los cuantos de luz no refieren a ninguna entidad. Este agente, coherentemente, asigna una probabilidad muy baja,

pero diferente de 0, a $\Pr_A (T_R|K)$, por ejemplo, de 0.01. Ahora bien, ¿Qué probabilidad debe asignar a $\Pr_A (T_P|K)$? Igual que para el agente realista, para este agente

$$\Pr_A (T_P|K) = [\Pr_A (T_P|T_R \& K) \times \Pr_A (T_R|K)] + [\Pr_A (T_P|\neg T_R \& K) \times \Pr_A (\neg T_R|K)],$$

por lo que, en este caso, $\Pr_A (T_P|K) = 0.208$, ya que, por una parte, si $\Pr_A (T_R|K) = 0.01$, $\Pr_A (\neg T_R|K) = 0.99$; mientras que, por otra, es plausible considerar que, para el antirrealista, la probabilidad de $\Pr_A (T_P|\neg T_R \& K)$ es semejante a la del realista (por ejemplo, 0.2), ya que, para el primero, las consecuencias observacionales de la teoría cuántica de la radiación también eran poco probables dadas las teorías aceptadas, en especial, la teoría ondulatoria. En efecto, para el antirrealista, contar, o no, con una interpretación realista de la teoría cuántica no afecta el valor de dicha probabilidad. Por consiguiente, con estos valores, $\Pr_A (T_P|K) = (1 \times 0.01) + (0.2 \times 0.99) = 0.208$.

Con estos valores, ya podemos calcular qué ocurre con las probabilidades del agente realista y del antirrealista si se verifican las predicciones novedosas acerca del efecto fotoeléctrico y del efecto Compton, esto es, si se muestra que la teoría cuántica de la radiación es predictivamente exitosa. En este contexto, podemos interpretar, como sostuvimos en la sección 9 del capítulo 6, que T_P es verdadero, esto es, que las consecuencias observacionales de la teoría cuántica de la radiación concernientes a esta clase específica de fenómenos son verdaderas. Por consiguiente, la probabilidad posterior, esto es, la probabilidad de que la interpretación realista de la hipótesis de los cuantos de luz sea verdadera dado el éxito predictivo de la teoría cuántica de la radiación, para cada uno de estos agentes, es la siguiente:

$$\Pr_R (T_R|T_P \& K) = [\Pr_R (T_R|K) \times \Pr_R (T_P|T_R \& K)] / \Pr_R (T_P|K)$$

$$\Pr_A (T_R|T_P \& K) = [\Pr_A (T_R|K) \times \Pr_A (T_P|T_R \& K)] / \Pr_A (T_P|K)$$

Como podemos advertir, estas probabilidades se calculan mediante el teorema de Bayes en su formulación usual. $\Pr_R (T_R|K)$ y $\Pr_A (T_R|K)$ son, respectivamente, la probabilidad previa de la interpretación realista de la teoría cuántica para el realista y para el antirrealista; $\Pr_R (T_P|K)$ y $\Pr_A (T_P|K)$ son las probabilidades que calculamos anteriormente; y, por último, $\Pr_R (T_P|T_R \& K)$ y $\Pr_A (T_P|T_R \& K)$ son las *likelihoods*, esto es, la probabilidad de que las consecuencias observacionales sean verdaderas dada la interpretación realista de la teoría. Como ya señalamos, la probabilidad de ambas es 1. Con estos valores,

$$\Pr_R (T_R | T_P \& K) = (0.6 \times 1) / 0.68 = 0.88.$$

$$\Pr_A (T_R | T_P \& K) = (0.01 \times 1) / 0.208 = 0.048.$$

En conclusión, según el valor de estas dos probabilidades posteriores, la verificación de las predicciones del efecto fotoeléctrico y del efecto Compton, esto es, el éxito predictivo de la teoría cuántica de la radiación, incrementa el grado de confirmación de la interpretación realista de la teoría. En el caso del agente realista, la verificación de las predicciones confirma su interpretación y fortalece su creencia, ya que obtiene una diferencia positiva de 0.28 puntos entre su probabilidad previa y su probabilidad posterior (esto es, $\Pr_R (T_R | T_P \& K) - \Pr_R (T_R | K) = 0.88 - 0.6 = 0.28$). En el caso del agente antirrealista, el éxito predictivo de la teoría cuántica de la radiación también confirma la interpretación realista de la teoría, ya que también obtiene una diferencia positiva, en su caso, de 0.038 puntos entre su probabilidad previa y su probabilidad posterior (esto es, $\Pr_R (T_R | T_P \& K) - \Pr_R (T_R | K) = 0.048 - 0.01 = 0.038$). En una primera impresión, pareciera que, en el caso del agente antirrealista, el incremento en el grado de confirmación de la interpretación realista de la teoría es insignificante, ya que un grado de confirmación de 0.048 parece, de hecho, bastante bajo.

El resultado se debe a que, intencionalmente, le asignamos un valor extremadamente bajo a la probabilidad previa del agente antirrealista en la interpretación realista de la teoría (esto es, 0.01). Si analizamos estos valores, podremos comprobar que la insignificancia es solo nominal, ya que el agente antirrealista incrementa en un 450% su creencia en la interpretación realista de la teoría; mientras que, por su parte, el agente realista fortalece su creencia en un 146%. En suma, este argumento bayesiano muestra que, incluso si un agente parte de una posición antirrealista, el éxito predictivo de una teoría incrementará, de manera significativa, su creencia en la interpretación realista de dicha teoría, en especial, en que los términos teóricos centrales de esa teoría refieren a entidades existentes. En otras palabras, el éxito predictivo de la teoría cuántica de la radiación no implica que los cuantos de luz refieran, necesariamente, a entidades existentes, sino que solamente incrementa nuestra creencia en que dichos términos refieren a entidades existentes. Por consiguiente, la acumulación de sus predicciones exitosas, junto a la resolución de sus posibles anomalías, incrementará, cada vez en mayor medida, esa creencia hasta el punto de que sea más probable que su negación.

CONCLUSIÓN

Un predictivismo y un realismo moderados

La teoría bayesiana de la confirmación, inductivista y probabilística, ofrece un esquema de la confirmación que permite la adopción de un predictivismo y de un realismo moderados. El objetivo central de esta tesis fue mostrar que el bayesianismo proporciona una “justificación del predictivismo” comparativamente superior a la que ofrecen tanto las teorías *deductivistas* como los argumentos que se sustentan en una inferencia a la mejor explicación. Asimismo, mostramos que la teoría bayesiana ofrece un argumento a favor de un realismo moderado que supera los problemas epistémicos de los argumentos abductivos del *no milagro*, entre los más relevantes, evita las críticas de circularidad y el recurso a las virtudes explicativas de una teoría.

En el capítulo 1, señalamos que “la justificación deductivista del predictivismo” presenta, al menos, dos problemas: (1) su condición de confirmación es cualitativa o absoluta, por lo que no proporciona una medida del *grado de apoyo* confirmatorio que cierta evidencia le otorga a una teoría. Por esta razón, el tipo de predictivismo que se podría defender en ese contexto es el más fuerte, esto es, un predictivismo según el cual *solo* la verificación de las predicciones novedosas confirma una teoría; y (2) su relación de confirmación es exclusivamente lógica: no interviene ningún elemento epistémico, sino solo las relaciones lógico-semánticas entre las proposiciones. Las teorías deductivistas no pueden dar cuenta de la novedad como una *incertidumbre* respecto de la verdad de las consecuencias observacionales de una teoría: en el esquema deductivista, esas consecuencias son verdaderas o falsas y *el momento* en el que se conocen es lógicamente irrelevante. Por esa razón, las teorías deductivistas no pueden justificar un tipo de predictivismo interpretado en el contexto de la concepción epistémica de la predicción.

En el capítulo 2, mostramos que “el problema de la definición” se resuelve de manera simple e intuitiva en el contexto de una concepción epistémica de las predicciones novedosas, según la cual esa clase de predicciones son las consecuencias observacionales de una teoría que no se conocen en el momento en el que se la formula. A diferencia de la concepción heurística, *el uso del conocimiento de la evidencia* a la hora de construir una teoría no desempeña ningún papel epistémicamente relevante. Creemos que una desventaja de la concepción heurística es su vaguedad, ya que no ofrece condiciones claras que definan cuándo el conocimiento de la evidencia ha sido utilizado en la construcción de una teoría. Asimismo, mostramos que la adhesión a dicha concepción supone la adopción de ciertos compromisos psicologicistas y

biograficalistas que creemos epistémicamente inaceptables: las características epistémicas de una predicción no dependen de *las motivaciones que los científicos tienen en mente* cuando formulan las teorías ni de *sus trayectorias personales*.

Mostramos que este análisis heurístico requiere métodos historiográficos cuestionables que recopilen toda la información relevante acerca de la construcción de una teoría, información que no siempre se encuentra en las obras científicas publicadas, sino también en la correspondencia privada y en los diarios personales de los científicos, frecuentemente, no publicados. Creemos que la relevancia epistémica de estas obras es difícil de determinar y que conduce a un debate irresoluble acerca de la veracidad de las fuentes de información y del apoyo epistémico comparativo de esas fuentes. Consideramos que no hay un modo no *ad hoc* de sostener que una fuente (por ejemplo, los artículos científicos) proporciona información epistémicamente más relevante que otra (por ejemplo, la correspondencia privada), por lo que no se dispone de un *criterio objetivo* que determine si el conocimiento de la evidencia fue usado en la construcción de una teoría. Por esa razón, la concepción heurística no puede evitar el psicologismo y el biografalismo. Por nuestra parte, creemos que el análisis heurístico complica y oscurece la elucidación del concepto de predicción novedosa y, en consecuencia, nos aleja de las intuiciones epistémicas acerca del significado de una predicción.

En el capítulo 2 evaluamos los problemas de la “justificación deductivista del predictivismo” y mostramos que una defensa satisfactoria de ésta, requiere la introducción de una condición epistémica en la relación de confirmación. En otras palabras, la condición de confirmación debe incorporar constricciones de tipo epistémico y no exclusivamente relaciones lógicas. Consideramos que, en el contexto de las teorías deductivistas, la condición epistémica está estrechamente relacionada con el conjunto del conocimiento previamente disponible. Por ejemplo, una predicción es arriesgada cuando es más improbable respecto del conocimiento previamente aceptado. Mostramos que esta revisión es relevante para evaluar el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida porque, en esa condición de confirmación, la evidencia se relaciona con el conocimiento previo y la evidencia conocida, en principio, formaría parte de ese conjunto de creencias.

Como ya señalamos, el predictivismo tenía contraejemplos históricos, esto es, la historia de la ciencia ofrecía casos en los que la comunidad científica consideró que la evidencia conocida confirmaba una teoría. El desarrollo de la concepción heurística fue un intento de superar esas dificultades y de mostrar que es una posición que *describe* adecuadamente la práctica científica. Creemos que los problemas epistemológicos de la concepción heurística hacen insostenible esta

posición. Por nuestra parte, sostenemos que la ampliación del concepto de predicción es una estrategia *ad hoc* para restablecer la adecuación entre el predictivismo, las teorías deductivistas y la práctica científica. Asimismo, también creemos que no describe lo que en la práctica científica se considera una predicción. Sostenemos que los casos históricos citados son contraejemplos del predictivismo fuerte y que apoyan un predictivismo moderado, según el cual, justamente, existen casos en los que la acomodación *genuina* de la evidencia conocida confirma una teoría.

En el capítulo 3, nos ocupamos de “la respuesta del deductivismo a los casos de confirmación por medio de la acomodación de la evidencia conocida”, esto es, evaluamos si existen casos de *acomodación genuina* y, si así fuese, cuáles son los criterios que permiten diferenciarla de una *acomodación meramente espuria*. En este capítulo, evaluamos los principales criterios que se han propuesto: la contrastación independiente, la explicación de las anomalías, la simplicidad y el poder unificador de un sistema teórico; y sostenemos que, si bien son criterios útiles e intuitivos, resultan ambiguos y difíciles de precisar. Mostramos que la acomodación de la evidencia conocida se compromete con un holismo fuerte, puesto que si la modificación de un sistema teórico no implica la evidencia que refutaba el sistema original, difícilmente puede decirse que acomoda la evidencia conocida. Creemos que los casos en los que es lógicamente posible construir un sistema teórico que implique esa evidencia y en los que se preserve la consistencia del sistema y, además, también se cumplan ciertos requisitos epistémicos (por ejemplo, la contrastación independiente, la explicación de las anomalías, la simplicidad y el poder unificador del sistema), son casos de acomodación que confirman ese sistema teórico.

La posición de Popper, y la de la mayoría de los filósofos que siguieron bajo su influencia, respecto del valor epistémico de las estrategias *ad hoc* es negativa, de allí que el criterio usual, la contrastación independiente, solo las considera de manera condicional. En otras palabras, la confirmación *está condicionada* a la verificación de alguna de las predicciones novedosas de la teoría. La acomodación de la evidencia conocida no confirma, *por sí misma*, una teoría. En última instancia, todas esas posiciones consideran que las estrategias *ad hoc*, y la acomodación de la evidencia conocida, son epistémicamente sospechosas porque solo en ellas existe el riesgo de que el sistema teórico se haya construido específicamente para implicar la evidencia conocida o para evitar que el sistema teórico quede refutado. En el capítulo 3, mostramos que la explicación de las anomalías y los conceptos de simplicidad y de poder unificador permiten valorar de una manera epistémicamente positiva la acomodación de la evidencia conocida. La acomodación es genuina, esto es, confirma *por sí misma* y no de forma condicional un sistema teórico, si

acomoda de una manera simple las anomalías de las teorías rivales disponibles. Además, si la teoría acomoda un conjunto de evidencias que se conocen, pero que, en ausencia de esa teoría, se creían independientes entre sí, esto es, si la teoría consigue *unificarlas*, la acomodación confirma la teoría. Creemos que los conceptos de simplicidad y poder unificadorio de un sistema teórico no son absolutos, sino relativos, esto es, deben evaluarse por medio de un análisis comparativo con otras teorías rivales, lo cual, sin embargo, no es una tarea sencilla y aún es un problema abierto para los filósofos de la ciencia. El objetivo es lograr un *balance adecuado* entre la teoría, las hipótesis auxiliares y la evidencia de la que se quiere dar cuenta.

En el capítulo 4, presentamos una interpretación bayesiana de la concepción epistémica de la predicción novedosa y de la acomodación de la evidencia conocida y desarrollamos la defensa bayesiana de un predictivismo moderado. Ante todo, señalamos (1) que la condición bayesiana de la confirmación es cuantitativa e incremental, por lo que permite medir, en el contexto de la teoría de la probabilidad, un incremento en el grado de apoyo que cierta evidencia le otorga a una teoría. Por esa razón, es compatible con las posiciones moderadas, ya que permite sostener que tanto la verificación de las predicciones novedosas, como la acomodación de la evidencia conocida confirman la teoría, aunque en *diferentes grados*. En este capítulo, además, ofrecemos dos esquemas bayesianos de la confirmación que *solucionan* “el problema de la justificación del predictivismo” a favor de un predictivismo moderado. El primero evalúa la confirmación apelando a “un modelo de la diferencia” ($d(T, E) = \Pr(T|E \& K) - \Pr(T|K)$), de acuerdo con el cual cierta evidencia confirma una teoría si su probabilidad posterior es mayor que su probabilidad previa y, cuanto mayor sea *la diferencia* entre esas probabilidades, mayor será el incremento en su grado de confirmación. En ese esquema, la diferencia se calcula por medio de la formulación más usual del teorema de Bayes.

El segundo esquema bayesiano, que creemos más adecuado para comprender el apoyo inductivo que cierta evidencia le otorga a una teoría y, por esa razón, para evaluar el problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida, evalúa la confirmación empleando “un modelo de la diferencia entre las *likelihoods*” ($d_{lik}(T, E) = \Pr(E|T \& K) - \Pr(E|\neg T \& K)$), de acuerdo con el cual, cierta evidencia confirma una teoría *T* si la probabilidad de la evidencia dada esa teoría es mayor que su probabilidad dada $\neg T$ y, cuanto mayor sea *la diferencia entre esas likelihoods*, mayor será el incremento en el grado de confirmación de la teoría. En este esquema, la diferencia se calcula por medio de otra formulación del teorema de Bayes, equivalente a la usual, que relaciona la probabilidad posterior de una teoría con una función que crece relativamente a su probabilidad previa y que decrece respecto del cociente

entre las *likelihoods* ($\Pr(E|\neg T \& K) / \Pr(E|T \& K)$), de manera que, cuanto menor sea el valor de ese cociente, mayor será el incremento en el grado de confirmación de una teoría. Como advertimos, el valor del cociente es menor, cuanto mayor sea la probabilidad de la evidencia dada la teoría T que su probabilidad dada $\neg T$.

En el primero de los esquemas, el análisis de la evidencia se concentra, principalmente, en la llamada *esperabilidad*, esto es, en la probabilidad de la evidencia dado solo el conocimiento previo ($\Pr(E|K)$), ya que, cuanto menor sea esta probabilidad, mayor será, *ceteris paribus*, la probabilidad posterior de la teoría, por lo que mayor será el incremento en su grado de confirmación. Ahora bien, si la evidencia es una predicción, su *esperabilidad* es baja y cuanto *más arriesgada* sea esa predicción, más baja será su *esperabilidad*, por lo que mayor será, *ceteris paribus*, el incremento en el grado de confirmación de la teoría. Por esa razón, ese esquema de la confirmación apoya la forma más fuerte del predictivismo. El problema de ese esquema emerge cuando la evidencia ya se conoce. En efecto, señalamos que, según la teoría bayesiana, si la evidencia ya se conoce, su *esperabilidad* es 1, ya que pasa a formar parte del conocimiento previo (por esa razón, se considera que la *esperabilidad* de las predicciones es menor que 1). Si esto es así, según el teorema de Bayes, el bayesianismo sería, *en sí mismo*, una posición predictivista fuerte, ya que la acomodación de la evidencia conocida no confirma, en absoluto, una teoría.

En este capítulo, señalamos que este es un problema clásico del bayesianismo conocido como “el problema de la vieja evidencia” y evaluamos sus consecuencias. Mostramos que, en el contexto propio de la teoría bayesiana, esa interpretación de la *esperabilidad* de la evidencia conocida (esto es, $\Pr(E|K) = 1$), no es normativamente adecuada, puesto que la propia teoría bayesiana de la confirmación supone evaluar esa probabilidad *excluyendo* la evidencia en cuestión. Por esa razón, ese esquema de la confirmación permite la inclusión de casos en los que la acomodación de la evidencia conocida confirma una teoría. Con todo, señalamos dos cuestiones importantes: (1) el problema de la vieja evidencia continúa abierto y su solución no es una tarea sencilla, puesto que, además, requiere conocimientos técnicos de la teoría matemática de la probabilidad; y (2) si interpretamos que la *esperabilidad* de la evidencia conocida debe ser menor que 1, no evitamos las consecuencias indeseables del problema de la vieja evidencia, ya que esa probabilidad, si bien puede ser menor que 1, debe ser cercana a 1. Así, la acomodación de la evidencia conocida incrementa el grado de confirmación *en una medida insignificante* si lo comparamos con el incremento que produce la verificación de una

predicción novedosa. Concluimos, entonces, que el segundo esquema bayesiano proporciona una defensa bayesiana más adecuada de un predictivismo moderado.

El esquema bayesiano de la confirmación sustentado en el modelo de la diferencia entre las *likelihoods* ofrece una interpretación que permite elucidar de una manera más satisfactoria los conceptos ambiguos de simplicidad y poder unificadorio y de explicación de las anomalías que evaluamos en el capítulo 3. Respecto de la acomodación de la evidencia conocida, pero anómala, mostramos que su acomodación incrementa, *en una medida significativa*, el grado de confirmación de una teoría. En efecto, si la teoría acomoda una evidencia anómala, entonces, por una parte, $\Pr(E|T \& K) = 1$, o bien $\Pr(E|T \& K) \cong 1$; mientras que, por otra, $\Pr(E|\neg T \& K) \ll 1$, ya que, justamente, las teorías que expresa $\neg T$ no pueden dar cuenta de esa anomalía. Con esas *likelihoods*, el valor del cociente $\Pr(E|\neg T \& K) / \Pr(E|T \& K) \ll 1$, por lo que la acomodación de la evidencia conocida, pero anómala confirma una teoría.

Respecto de la simplicidad y el poder unificadorio, mostramos que ese esquema bayesiano, junto con la teoría de la información, permiten sostener que la acomodación de evidencias conocidas que, en ausencia de la teoría, parecían informativamente independientes entre sí, también incrementa significativamente el grado de confirmación de esa teoría. Mostramos que “el poder unificadorio” de una teoría en el contexto de la teoría bayesiana, esto es, el grado en el que una teoría unifica ciertas evidencias E_1, E_2 ; puede calcularse por medio de la ecuación: $\Pr_U(E_1, E_2; T|K) = \Pr_{\text{Inf}}(E_1, E_2|T \& K) - \Pr_{\text{Inf}}(E_1, E_2|K)$, donde $\Pr_{\text{Inf}}(E_1, E_2|T \& K) = \text{Log}_2 [\Pr(E_2|E_1 \& T \& K) / \Pr(E_2|T \& K)]$ y $\Pr_{\text{Inf}}(E_1, E_2|K) = \text{Log}_2 [\Pr(E_2|E_1 \& K) / \Pr(E_2|K)]$. Asimismo, mostramos que el grado de confirmación puede calcularse mediante la fórmula: $\text{Cf}(T, E_1, E_2|K) = \text{Cf}(T, E_1|K) + \text{Cf}(T, E_2|K) + \Pr_U(E_1, E_2; T|K) - \Pr_U(E_1, E_2; \neg T|K)$, esto es, mediante cuatro factores: el grado de apoyo que E_1 le otorga a la teoría T , el grado de apoyo que E_2 le otorga a la teoría (ambos individuales), y dos factores que dan cuenta del grado en el que esa teoría unifica las evidencias respecto de $\neg T$. Si E_1 y E_2 son dos evidencias conocidas, pero que, en ausencia de T , se creían informativamente independientes; y si $\text{Log}_2 [\Pr(E_1|E_2 \& T \& K) / \Pr(E_1|T \& K)] > \text{Log}_2 [\Pr(E_1|E_2 \& \neg T \& K) / \Pr(E_1|\neg T \& K)]$, esto es, justamente, si la teoría consigue unificarlas de forma más satisfactoria que $\neg T$, entonces, $\Pr_U(E_1, E_2; T|K) > \Pr_U(E_1, E_2; \neg T|K)$, por lo que, *ceteris paribus*, $\Pr(T|E_1 \& E_2 \& K) > \Pr(T|K)$. En suma, concluimos que el modelo de la diferencia entre las *likelihoods* muestra que, si hay dos evidencias conocidas que, en ausencia de T , parecían independientes; y, si, incluso, las dos incrementan, individualmente, en igual medida el grado de confirmación de T y de $\neg T$; si el grado de unificación de T es mayor que el de $\neg T$, entonces, la acomodación de esas evidencias incrementa el grado de confirmación de la teoría.

En el capítulo 4, introdujimos dos conceptos, el de *heterogeneidad* y el de *cantidad de información de una evidencia*, que, en el contexto de ese esquema bayesiano, también pueden emplearse para apoyar un predictivismo moderado. En cuanto al concepto de heterogeneidad, mostramos que, si bien esta interpretación bayesiana permite sostener una posición según la cual la acomodación de la evidencia ya conocida, pero heterogénea respecto del resto de la evidencia conocida, incrementa significativamente el grado de confirmación de una teoría, lo que permite mostrar, principalmente, es una ventaja confirmatoria de las predicciones, ya que, justamente, las predicciones tienen un contenido más heterogéneo que la evidencia conocida. En efecto, si E_1 y E_2 son dos evidencias que poseen un contenido similar o un contenido que no es heterogéneo, entonces, $\Pr(E_1|E_2) \cong 1$. Ahora bien, por una parte, si E_2 ya se conoce, y $\neg T$ da cuenta de ella, entonces, $\Pr(E_2|\neg T \& K) = 1$; mientras que, por otra, si E_1 es similar a E_2 , entonces, $\Pr(E_1|\neg T \& K) \cong 1$. Con esas *likelihoods*, $\Pr(E_1|\neg T \& K) \cong \Pr(E_1|T \& K)$. En cambio, si E_1 es heterogénea respecto de E_2 , el valor del cociente $\Pr(E_1|\neg T \& K) / \Pr(E_1|T \& K) < 1$, por lo que, según el modelo de la diferencia entre las *likelihoods*, la acomodación de la evidencia conocida, pero heterogénea respecto del resto del conocimiento previo, confirma una teoría. Sin embargo, mostramos que, si E_1 es una predicción novedosa, no solo no ocurre que $\Pr(E_1|E_2) \cong 1$, sino que, en cambio, es epistémicamente razonable que se cumpla $\Pr(E_1|E_2) \ll 1$. Por ello, con esas *likelihoods*, el valor del cociente $\Pr(E_1|\neg T \& K) / \Pr(E_1|T \& K) \ll 1$, por lo que la verificación de una predicción incrementa *en mayor medida* el grado de confirmación de una teoría que la acomodación de la evidencia conocida pero heterogénea.

Respecto del concepto de cantidad de información de una evidencia también mostramos que la interpretación bayesiana permite sostener una posición según la cual la verificación de las predicciones novedosas tiene mayor valor confirmatorio. En efecto, cuanto mayor cantidad de contenido, y más preciso, posea una evidencia, sea conocida o no, menor será el valor de $\Pr(E|\neg T \& K)$. Por ejemplo, si E_1 y E_2 son dos predicciones, pero E_2 posee mayor contenido informativo que E_1 , entonces, por una parte, $\Pr(E_2|T \& K) < \Pr(E_1|T \& K)$; y, por otra, $\Pr(E_2|\neg T \& K) < \Pr(E_1|\neg T \& K)$. Con esas *likelihoods*, el valor del cociente $\Pr(E_2|\neg T \& K) / \Pr(E_2|T \& K)$ es mucho menor que el del cociente $\Pr(E_1|\neg T \& K) / \Pr(E_1|T \& K)$, por lo que la verificación de una predicción con mayor contenido informativo incrementa en mayor medida el grado de confirmación de una teoría que la verificación de una predicción con menor contenido. En el caso de dos evidencias conocidas ocurre algo semejante. Si E_1 y E_2 son dos evidencias conocidas, pero E_2 posee mayor contenido que E_1 , entonces, por una parte, $\Pr(E_2|T \& K) = \Pr(E_1|T \& K) = 1$; y, por otra, $\Pr(E_2|\neg T \& K) < \Pr(E_1|\neg T \& K)$. Con esas *likelihoods*, el valor del cociente $\Pr(E_2|\neg T \& K) / \Pr(E_2|T \& K)$ es mucho menor que el del cociente $\Pr(E_1|\neg T \& K) / \Pr(E_1|T \& K)$,

por lo que la acomodación de la evidencia conocida incrementa el grado de confirmación de una teoría, pero la que ofrece mayor contenido lo hace en mayor medida. Por último, si E_1 es una evidencia conocida y E_2 es una predicción novedosa, entonces, por una parte, $\Pr(E_2|T \& K) \leq \Pr(E_1|T \& K)$; y, por otra, $\Pr(E_2|\neg T \& K) < \Pr(E_1|\neg T \& K)$. Con esas *likelihoods*, el valor del cociente $\Pr(E_2|\neg T \& K) / \Pr(E_2|T \& K)$ es mucho menor que el del cociente $\Pr(E_1|\neg T \& K) / \Pr(E_1|T \& K)$, por lo que la verificación de una predicción novedosa incrementa en mayor medida el grado de confirmación de una teoría que la acomodación de una evidencia conocida.

Conviene señalar algunas reservas respecto de esta defensa bayesiana del predictivismo. Según el bayesianismo subjetivista, no existe ninguna restricción, más allá de la coherencia probabilística, para asignar un valor a las probabilidades previas, entre ellas, a las *likelihoods*. En esta tesis, sin embargo, adoptamos un bayesianismo moderado que admite otro tipo de restricciones, como, por ejemplo, la coherencia estricta, que no pueden justificarse mediante la teoría de la probabilidad, sino sobre la base de otros criterios que creemos epistémicamente razonables. La adopción de la coherencia estricta, por ejemplo, implica una revisión del núcleo básico del bayesianismo, ya que implica una revisión de la regla de condicionalización simple. Como señalamos en el capítulo 4, la coherencia estricta permite condicionalizar por medio de evidencia incierta (esto es, $\Pr(E|K) < 1$), lo cual no es posible con la regla de condicionalización simple. Señalamos que, desde hace varias décadas, hay bayesianos que están trabajando en estos problemas y, por nuestra parte, consideramos que estas revisiones son epistémicamente razonables y conducen a una descripción más adecuada de la práctica científica.

Como señalamos, las mismas consideraciones se aplican a las *likelihoods* $\Pr(E|T \& K)$ y $\Pr(E|\neg T \& K)$. Debe advertirse, además, que $\neg T$ es difícil de caracterizar y, en sentido estricto, no es una teoría rival de T , sino algo en general indefinido, por ejemplo, la afirmación de que otra teoría diferente de T es verdadera. En el capítulo 4, indicamos que usualmente la evaluación de $\neg T$ se hace introduciendo el concepto de hipótesis *catchall*, la cual expresa, justamente, que ninguna de las alternativas específicas a T es verdadera. Con todo, señalamos que la asignación de un valor a esas *likelihoods* es una cuestión especialmente problemática porque son independientes entre sí, por lo que, a diferencia de otras probabilidades previas como la esperabilidad, no requieren sumar 1, sino que pueden recibir cualquier valor entre 0 y 1. Además, señalamos que la asignación de un valor a $\Pr(E|\neg T \& K)$ es, incluso, todavía más problemática porque allí interviene la hipótesis *catchall*, cuya naturaleza es diferente de la de las teorías que, de hecho, existen. La hipótesis *catchall* expresa una conjunción de teorías de la que también forman parte las teorías futuras que no han sido formuladas. Como señalamos, la

única manera de constreñir la asignación de un valor a las *likelihoods* es sobre la base de ciertos criterios que creemos epistémicamente razonables, pero que no son obligatorios ya que no hay manera de *imponerles* valores intersubjetivos. Concluimos, entonces, que la posición bayesiana soluciona los problemas epistemológicos planteados *a condición* de que se satisfagan ciertas desigualdades entre las *likelihoods* y, en particular, entre $\Pr(E|T \& K)$ y $\Pr(E|\neg T \& K)$, las cuales no son obligatorias para todo agente individual, sino epistémicamente razonables para un agente no dogmático. Por ello, esta defensa bayesiana del predictivismo moderado no es absoluta, sino condicional.

En el capítulo 5, concluimos la evaluación del “problema de la justificación del predictivismo” analizando un argumento a favor del predictivismo que se sustenta en una inferencia a la mejor explicación. Como advertimos en los capítulos previos, la defensa del predictivismo, tanto para las teorías deductivistas, como para la bayesiana, tiene obstáculos. Por ello, hay filósofos que recurrieron a argumentos no deductivos, sino abductivos en un sentido amplio, que, si bien no lo prueban concluyentemente, proporcionan buenas razones para creer en él. En este capítulo, reconstruimos y evaluamos el argumento que, en definitiva, sostiene que la verificación de las predicciones novedosas de una teoría y la acomodación de la evidencia conocida confirman dicha teoría (puesto que explican por qué la teoría implica la evidencia), pero que aquella tiene una ventaja epistémica sobre ésta porque ofrece una mejor explicación, esto es, una razón independiente y adicional, de por qué la teoría implica esa evidencia. La premisa central del argumento es que la conexión explicativa entre el éxito sistemático de las predicciones novedosas de una teoría y su verosimilitud le proporciona mayor peso inductivo al predictivismo. Evaluamos las principales críticas al argumento y mostramos que la imposición de circularidad es la más fuerte ya que apunta a la corrección del argumento: si no aceptamos esa premisa implícita, la conclusión no se sigue.

Finalmente, mostramos que existe una especie de tensión entre la teoría bayesiana y la inferencia a la mejor explicación y concluimos que el bayesianismo no solo evita las dificultades de ésta, sino que, principalmente, proporciona un argumento que, en su estructura general, es comparativamente superior. Por una parte, probamos que la teoría bayesiana y la inferencia a la mejor explicación son posiciones incompatibles. Si adoptamos la teoría bayesiana y, a la vez, inferimos de acuerdo con algún tipo de regla sustentada en una inferencia a la mejor explicación, nos comportaremos de una manera probabilísticamente incoherente. El argumento interpreta ese tipo de regla como una regla que introduce en el esquema bayesiano, esto es, en las probabilidades previas, cierta consideración respecto de las virtudes explicativas de la teoría. En

ese contexto, mostramos que, si un agente bayesiano calcula sus probabilidades posteriores aplicando esa regla, entonces, tomará decisiones probabilísticamente incoherentes, por ejemplo, aceptará apuestas sabiendo que, si las evalúa en su conjunto, siempre perderá. La otra crítica bayesiana a la inferencia a la mejor explicación sostiene que incorporar esa regla en la evaluación de las probabilidades es *evidencialmente irrelevante*. En otras palabras, si sabemos que la evidencia es verdadera y ya calculamos la probabilidad de la teoría dada esa evidencia, entonces, saber que esa teoría ofrece una buena explicación de esa evidencia es irrelevante respecto de la credibilidad de la teoría. Como podemos advertir, el objetivo de esos argumentos es desconectar todo tipo de relación entre la *credibilidad* de una teoría (o el grado de confirmación) y su virtud explicativa.

En el capítulo 6, evaluamos la relación entre el predictivismo y el debate acerca del realismo científico y concluimos que el éxito sistemático de las predicciones novedosas de una teoría permite la adopción de un realismo moderado. Ante todo, analizamos el denominado “argumento definitivo a favor del realismo”, que también se sustenta en la inferencia a la mejor explicación, y examinamos las principales críticas que se le han dirigido. Mostramos que las críticas, si bien son plausibles, no afectan de modo significativo la fuerza inductiva del argumento, ya que, en ese contexto, la defensa de una posición antirrealista es igualmente problemática. En cambio, argumentamos que la aceptación de la premisa implícita del argumento, esto es, que, si una hipótesis es la mejor explicación de un hecho, entonces, es *razonable* creer en ella, es problemática porque, como ya señalamos, conduce a una circularidad. El argumento es circular porque presupone lo que hay que justificar. La creencia en los compromisos realistas (esto es, en la verosimilitud de una teoría de las ciencias maduras y en la referencia de sus términos teóricos típicos) *solamente está justificada* si aceptamos que la capacidad explicativa de dichos compromisos (por ejemplo, que son la mejor explicación del éxito sistemático de las predicciones novedosas) ofrece una buena razón *para creer* en ellos.

Mostramos, entonces, que la teoría bayesiana evita esas objeciones, ya que no recurre a las virtudes explicativas de una hipótesis, por lo que concluimos que ofrece un argumento que, si bien no está exento de problemas (en particular, las dificultades relacionadas con la asignación de un valor a las probabilidades previas y a las *likelihoods*), es comparativamente superior a favor de un realismo moderado. En efecto, analizamos dos escenarios: el de un agente que adopta los compromisos realistas y el de uno que los rechaza; y mostramos que, en ambos escenarios, el éxito sistemático de las predicciones novedosas de una teoría incrementa el grado de confirmación de la hipótesis realista. Incluso si partimos de una posición antirrealista, el éxito

predictivo incrementa nuestra creencia en la verosimilitud de dicha teoría y en la referencia de los términos teóricos típicos introducidos por la teoría. Este tipo de realismo es moderado porque no se compromete con la verdad de las teorías ni con la referencia de todos sus términos teóricos. Asimismo, tampoco implica que las descripciones que puedan realizarse empleando los términos teóricos típicos sean exhaustivas.

Por nuestra parte, creemos que la controversia entre el realismo y el antirrealismo está lejos de haber concluido. La defensa de un realismo moderado *está condicionada* a la aceptación del esquema bayesiano y de los valores asignados a las previas, los cuales, como hemos señalado no son obligatorios. Como advertimos, en la disputa entre “el argumento definitivo a favor del realismo”, “la metainducción pesimista” y sus réplicas, los argumentos y contraargumentos son no demostrativos, sino inductivos en un sentido amplio y, en principio, todos son igualmente plausibles, por lo que no parece probable que haya un final para ese debate. Por otra parte, no es esperable que pueda ofrecerse un argumento demostrativo a favor de cualquiera de esas posiciones que concluya el debate, ya que deberían sustentarse en premisas de naturaleza metateórica, las cuales podrían ser razonablemente cuestionadas.

En la segunda parte, estudiamos los problemas epistemológicos planteados en dos casos de la historia de la ciencia y mostramos que apoyan la adopción de un predictivismo moderado. En el capítulo 7, estudiamos la invención de la tabla periódica de Mendeléiev y señalamos que es el ejemplo más citado por los filósofos predictivistas como caso paradigmático a favor del predictivismo, pero, a diferencia de ellos, mostramos que la acomodación de la evidencia conocida también confirmó la hipótesis periódica, por lo que, en consecuencia, no apoya la adopción del predictivismo más fuerte, sino de uno moderado. Tampoco apoya una posición neutralista puesto que, de hecho, la verificación de sus predicciones novedosas incrementó *en mayor medida* el grado de confirmación de la hipótesis periódica que la acomodación de la evidencia conocida. Entre las predicciones novedosas de la teoría, señalamos las siguientes: el descubrimiento de tres elementos desconocidos, además de la determinación experimental de algunas de sus propiedades fundamentales, y la corrección experimental del peso atómico de algunos elementos conocidos. También identificamos la evidencia conocida que acomodó: dispuso los 62 elementos conocidos en una sucesión ordinal según el incremento en el peso atómico de cada uno de los elementos que componen la sucesión. Por esa razón, la hipótesis periódica consiguió acomodar la mayoría de la evidencia conocida acerca de las propiedades fundamentales de los elementos conocidos.

Argumentamos, entonces, que el esquema bayesiano más usual, esto es, el modelo de la diferencia ($\mathbf{d}(T, E) = \Pr(T|E \& K) - \Pr(T|K)$), permite justificar la adopción de un predictivismo moderado. Sea T , la teoría de Mendeléiev; E , el descubrimiento de un elemento desconocido; P , la determinación experimental de una de sus propiedades; C , la corrección en el peso atómico de un elemento conocido; y Ac , la acomodación de una evidencia conocida. Según ese modelo bayesiano, ocurre que: $[\Pr(T|P \& K) > \Pr(T|K)] > [\Pr(T|E \& K) > \Pr(T|K)] > [\Pr(T|C \& K) > \Pr(T|K)] > [\Pr(T|Ac \& K) > \Pr(T|K)]$. Como señalamos, en ese modelo es fundamental el análisis de las esperabilidades y es plausible, e históricamente adecuado, considerar que $\Pr(Ac|K) > \Pr(C|K) > \Pr(E|K) > \Pr(P|K)$. Mostramos, así, que la probabilidad de acomodar la evidencia conocida, dado que se contaba con otras teorías periódicas, es mayor que la probabilidad de verificar las predicciones novedosas. Entre ellas, que la probabilidad de corregir el peso atómico de un elemento conocido, dado que se contaba con un método confiable de medición, es mayor que la probabilidad de descubrir un elemento aún no conocido. Y, claramente, la probabilidad de descubrir un elemento desconocido es mayor que la probabilidad de determinar experimentalmente alguna de sus propiedades.

Argumentamos, entonces, que el modelo de la diferencia entre las *likelihoods* ($\mathbf{d}_{\text{lik}}(T, E) = \Pr(E|T \& K) - \Pr(E|\neg T \& K)$), junto con una interpretación bayesiana de la explicación de las anomalías y de los conceptos de simplicidad y de poder unificadorio, apoyan la adopción de un predictivismo moderado, pero, además, también permiten sopesar el apoyo confirmatorio que proporciona la acomodación de la evidencia conocida. Respecto de la acomodación de la evidencia anómala, mostramos que, si T es la teoría de Mendeléiev; $\neg T$, las teorías periódicas rivales; y An , la evidencia anómala para esas teorías; si T acomoda An , entonces $\Pr(An|T \& K) = 1$ o $\Pr(An|T \& K) \cong 1$; y si An es anómala, entonces $\Pr(An|\neg T \& K) \ll 1$, ya que esas teorías no podían dar cuenta de ella. Con esas *likelihoods*, el valor del cociente $\Pr(An|\neg T \& K) / \Pr(An|T \& K) \ll 1$, de manera que An confirma T . En relación con la simplicidad y el poder unificadorio, mostramos que el hito de la teoría de Mendeléiev fue, justamente, *unificar* bajo un criterio bien definido la mayoría de las evidencias conocidas acerca de las propiedades de los elementos, las cuales, sin esa teoría, se consideraban independientes. En efecto, si E_1 y E_2 son dos evidencias conocidas que se creían independientes, y T consiguió unificarlas de un modo sorprendente y, además, $\neg T$ no podía dar cuenta de ello, entonces, $\text{Log}_2 [\Pr(E_1|E_2 \& T \& K) / \Pr(E_1|T \& K)] > \text{Log}_2 [\Pr(E_1|E_2 \& \neg T \& K) / \Pr(E_1|\neg T \& K)]$, por lo que $\Pr_U(E_1, E_2; T|K) > \Pr_U(E_1, E_2; \neg T|K)$ y, en consecuencia, la acomodación conjunta de E_1 y E_2 incrementó el grado de confirmación de T .

En relación con la acomodación de la evidencia conocida, pero heterogénea respecto del resto de la evidencia conocida, mostramos que también apoya un predictivismo moderado. En efecto, si E_1 y E_2 son dos evidencias conocidas, pero de contenido disímil, $\Pr(E_1|E_2 \& K) \neq 1$, esto es, su probabilidad dado el resto del conocimiento previo es menor que 1, y cuánto más disímiles sean, menor será esta probabilidad. Señalamos que esto fue lo que ocurrió en el caso de la teoría periódica de Mendeléiev, puesto que la probabilidad de encontrar esa periodicidad dado el conocimiento disponible era particularmente baja. Por estas razones, $\Pr(E_1|T \& K) = 1$ y $\Pr(E_1|\neg T \& K) \neq 1$. Con esas *likelihoods*, $\Pr(E_1|\neg T \& K) / \Pr(E_1|T \& K) < 1$, por lo que E_1 confirma T . Sin embargo, mostramos que este esquema proporciona una razón para creer que la verificación de las predicciones novedosas de la teoría de Mendeléiev incrementó en mayor medida el grado de confirmación de la teoría que la acomodación de la evidencia conocida, puesto que, en última instancia, el contenido de una predicción novedosa es más heterogéneo respecto del resto del conocimiento previo que el de la evidencia conocida.

Por último, mostramos que, en relación con la cantidad de información de una evidencia, este esquema bayesiano también presta apoyo a un predictivismo moderado. Si E_1 y E_2 son dos evidencias conocidas, pero E_2 tiene mayor contenido informativo que E_1 , entonces, por una parte, $\Pr(E_2|T \& K) = \Pr(E_1|T \& K) = 1$; y, por otra, $\Pr(E_2|\neg T \& K) < \Pr(E_1|\neg T \& K)$, puesto que, debido a que el contenido de E_2 es más informativo que el de E_1 , es más probable que $\neg T$ pueda dar cuenta de E_1 que de E_2 . Con esas *likelihoods*, el valor del cociente $[\Pr(E_2|\neg T \& K) / \Pr(E_2|T \& K)]$ es menor que el de $[\Pr(E_1|\neg T \& K) / \Pr(E_1|T \& K)]$, por lo que E_2 incrementa en mayor medida el grado de confirmación de T que E_1 . Sin embargo, también mostramos que la verificación de una predicción incrementa en mayor medida el grado de confirmación de la teoría de Mendeléiev que la acomodación de una evidencia conocida. Si E_1 es una predicción y E_2 una evidencia conocida, entonces, por una parte, $\Pr(E_1|T \& K) < \Pr(E_2|T \& K)$, ya que la probabilidad de que se verificara una predicción dada la teoría de Mendeléiev era mucho más baja que la probabilidad de que la teoría acomodara la evidencia conocida; y, por otra, $\Pr(E_1|\neg T \& K) < \Pr(E_2|\neg T \& K)$, puesto que una predicción novedosa posee mayor contenido informativo que la evidencia conocida, de manera que es plausible que su probabilidad dada $\neg T$ sea más baja que su probabilidad dada la teoría de Mendeléiev. Así, el valor del cociente $[\Pr(E_1|\neg T \& K) / \Pr(E_1|T \& K)]$ es menor que el de $[\Pr(E_2|\neg T \& K) / \Pr(E_2|T \& K)]$, por lo que E_1 incrementa en mayor medida el grado de confirmación de T que E_2 .

En el capítulo 8, estudiamos el origen y el desarrollo inicial de la teoría *cuántica* de la luz, entre los años 1905 y 1927, y señalamos que, en este caso, no se ha evaluado con detalle el

problema de la predicción *versus* la acomodación de la evidencia conocida. A partir de nuestro análisis, concluimos que también apoya la adopción de un predictivismo moderado. Señalamos que solo tomamos en cuenta dos evidencias fundamentales que confirmaron la hipótesis del cuanto de luz: el *efecto fotoeléctrico* y el *efecto Compton*. Mostramos, entonces, de qué forma el modelo de la diferencia entre las *likelihoods* y la interpretación bayesiana de los conceptos de anomalía, simplicidad y poder unificador de la teoría y de heterogeneidad y cantidad de información de la evidencia apoyan la adopción de un predictivismo moderado. Señalamos que el efecto fotoeléctrico y el efecto Compton son dos casos de acomodación de la evidencia conocida, puesto que, justamente, los dos fenómenos ya se habían observado y se contaba con datos experimentales sobre ellos. Sin embargo, mostramos que las dos acomodaciones incrementaron el grado de confirmación de la teoría cuántica porque la evidencia acerca de esos efectos era anómala para la teoría ondulatoria de la luz. Mostramos, además, que esas acomodaciones incrementaron el grado de confirmación de la teoría cuántica porque la teoría pudo acomodarlas, a diferencia de la teoría ondulatoria, de una manera simple y porque, además, también logró unificarlas bajo una clase general de fenómenos concernientes a la interacción entre la materia y la radiación. Por ejemplo, la hipótesis del cuanto de luz mostró que los fenómenos concernientes al efecto fotoeléctrico y los fenómenos concernientes a la radiación de cuerpo negro y a la fotoluminiscencia que, antes de la formulación de esa hipótesis, parecían independientes, estaban relacionados entre sí.

Sin embargo, argumentamos que el efecto fotoeléctrico y el efecto Compton son, además, dos casos de predicciones exitosas. Mostramos que la teoría cuántica de la luz no solo logró acomodar la evidencia conocida acerca del efecto fotoeléctrico, sino que, además, también realizó algunas predicciones cuantitativas acerca de él, entre ellas, estableció una dependencia lineal entre la energía y la frecuencia de los cuantos de luz. Por otra parte, la teoría cuántica no solo acomodó la evidencia conocida acerca del efecto Compton, sino que también realizó una predicción cualitativa, esto es, predijo la existencia de un fenómeno que todavía no había sido observado: el retroceso de los electrones eyectados de los átomos. Argumentamos, entonces, que el esquema bayesiano de la diferencia entre las *likelihoods* muestra que la verificación de esas predicciones de la teoría cuántica incrementó en mayor medida su grado de confirmación que la acomodación de la evidencia conocida acerca del efecto fotoeléctrico y del efecto Compton. Asimismo, mostramos que el modelo de la diferencia entre las *likelihoods*, también muestra que la verificación de la predicción cualitativa del efecto Compton incrementó en mayor medida el grado de confirmación de la teoría cuántica de la luz que la verificación de la predicción cuantitativa del efecto fotoeléctrico. El punto central, como ya señalamos, es que

una predicción cualitativa tiene un contenido más preciso e informativo que una cuantitativa, por lo que su probabilidad dada $\neg T$ es menor que la probabilidad de la predicción cuantitativa dada $\neg T$. Además, la esperabilidad de una predicción cualitativa es mucho menor que la de una predicción cuantitativa.

Por último, mostramos que la teoría bayesiana de la confirmación apoya, al menos en este caso, la adopción de un realismo moderado. En efecto, argumentamos que la verificación de las predicciones novedosas del efecto fotoeléctrico y, particularmente, del efecto Compton (esto es, el éxito cada vez mayor de las predicciones novedosas de la teoría cuántica de la luz) incrementó el grado de confirmación o de creencia en los compromisos realistas de la teoría, en particular, en la referencia de su término teórico central: el de cuanto de luz. Consideramos que la cautela científico-epistemológica de Einstein respecto de la existencia de los cuantos de luz, inicialmente justificada, fue debilitándose a medida que la teoría cuántica de la radiación incrementaba su grado de confirmación y que exhibía mejores virtudes epistémicas que las teorías alternativas disponibles en la época. Creemos que, por esas razones, su grado de creencia con respecto a la existencia de, al menos, ciertas características corpusculares de la radiación, se incrementó significativamente.

En definitiva, concluimos que la teoría bayesiana de la confirmación, si bien tiene problemas y anomalías como todo programa de investigación en desarrollo, permite una defensa de un predictivismo y de un realismo moderados que resulta muy superior, desde un punto de vista comparativo, a la ofrecida por las teorías deductivistas de la confirmación y por los argumentos abductivos sustentados en una inferencia a la mejor explicación. El tratamiento de las posibles soluciones para aquellos problemas y anomalías quedará, justamente, como objetivo de futuras investigaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Akeroyd, M. (2003). "Prediction and the Periodic Table: A Response to Scerri and Worrall". *Journal for General Philosophy of Science*, **34**: 337-355.
- Alai, M. (2014). "Novel Predictions and the No Miracle Arguments". *Erkenntnis*, **79**: 297-326.
- Arrhenius, S. (1922). "Presentation Speech". En *Nobel Lectures, Physics 1901-1921*, pp. 479-481. Amsterdam: Elsevier, 1967.
- Bamford, G. (1993). "Popper's Explications of Ad Hocness: Circularity, Empirical Content, and Scientific Practice". *The British Journal for the Philosophy of Science*, **44**: 335-355.
- Barnes, E. (2000). "Ockham's Razor and the Anti-Superfluity Principle". *Erkenntnis*, **53**: 353-374.
- Barnes, E. (2002). "Neither Truth nor Empirical Adequacy Explain Novel Success". *Australasian Journal of Philosophy*, **80**: 418-431.
- Barnes, E. (2005). "On Mendeleev's Predictions: Comments on Scerri and Worrall". *Studies in History and Philosophy of Science*, **36**: 801-812.
- Barnes, E. (2008). *The Paradox of Predictivism*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften. (s.f.). "Heuristik". En *Digitales Wörterbuch der deutschen Sprache*. Recuperado el 26 de marzo de 2021, de <https://www.dwds.de/wb/Heuristik>
- Bohr, N. (1922). "The Structure of the Atom". En *Nobel Lectures, Physics 1922-1941*, pp. 7-43. Amsterdam: Elsevier, 1965.
- Bohr, N., Kramers, H. y Slater, J. (1924). "The Quantum Theory of Radiation". *Philosophical Magazine*, **47**: 785-802.
- Bothe, W. y Geiger, H. (1924). "Experimental Test of the Theory of Bohr, Kramers and Slater". En R. Lindsay (ed.), 1979, pp. 230-231 (trad. del original en alemán, "Ein Weg zu experimentellen Nachprüfung der Theorie von Bohr, Kramers und Slater". *Zeitschrift für Physik*, **25**: 44, 1924).
- Boudry, M. y Leuridan, B. (2011). "Where the Design Argument Goes Wrong: Auxiliary Assumptions and Unification". *Philosophy of Science*, **78**: 558-578.
- Boyd, R. (1973). "Realism, Underdetermination, and Causal Theory of Evidence". *Noûs*, **7**: 1-12.
- Boyd, R. (1980). "Scientific Realism and Naturalistic Epistemology". *PSA 1980*, **2**: 613-662.
- Boyd, R. (1983). "On the Current Status of the Issue of Scientific Realism". *Erkenntnis*, **19**: 45-90.

- Brock, W. (1992). *The Norton History of Chemistry*. New York: Norton.
- Brush, S. (1994). "Dynamics of Theory Change: The Role of Predictions". *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, **2**: 133-145.
- Brush, S. (1996). "The Reception of Mendeleev's Periodic Law in American and Britain". *Isis*, **87**: 595-628.
- Brush, S. (2007). "How Ideas Became Knowledge: The Light-Quantum Hypothesis 1905–1935". *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, **37**: 205-246.
- Brush, S. (2015). *Making 20th Century Science: How Theories Became Knowledge*. New York: Oxford University Press.
- Bunge, M. (ed.) (1964). *The Critical Approach to Science and Philosophy*. London: The Free Press.
- Campbell, R. y Vinci, T. (1983). "Novel Confirmation". *The British Journal for the Philosophy of Science*, **4**: 315-341.
- Carnap, R. (1950). *Logical Foundations of Probability*. Chicago: University of Chicago Press.
- Carnap, R. (1966). *Philosophical Foundations of Physics*. New York: Basic Books.
- Cassebaum, H. y Kauffman, G. (1971). "The Periodic System of the Chemical Elements: The Search for Its Discoverer". *Isis*, **62**: 314-327.
- Cassini, A. (2003). "Confirmación hipotético-deductiva y confirmación bayesiana". *Análisis Filosófico*, **23**: 41-84.
- Cassini, A. y Levinas, M. L. (2007). "La hipótesis del cuanto de luz y la relatividad especial ¿Por qué Einstein no las relacionó en 1905?". *Scientiae Studia*, **5**(4): 425-452.
- Cassini, A. y Levinas, M. L. (2008). "La explicación de Einstein del efecto fotoeléctrico: un análisis histórico-epistemológico". *Revista Latinoamericana de Filosofía*, **34**: 5-38.
- Cassini, A., Levinas, M. L. y Pringe, H. (2013). "Einstein y el efecto Compton". *Scientiae Studia*, **11**(1): 185-209.
- Cassini, A., Levinas, M. L. y Pringe, H. (2015). "Einstein y la evidencia experimental a favor de la hipótesis del cuanto de luz". *Scientiae Studia*, **13**(1): 73-96.
- Cheyne, C. y Worrall, J. (eds.) (2006). *Rationality and Reality*. Dordrecht: Springer.
- Chihara, C. (1987). "Some Problems for Bayesian Confirmation Theory". *The British Journal for the Philosophy of Science*, **38**: 551-560.
- Christensen, D. (1999). "Measuring Confirmation". *Journal of Philosophy*, **96**: 437–461.

- Clarke, S. y Lyons, T. D. (eds.) (2002). *Recent Themes in the Philosophy of Science: Scientific Realism and Commonsense*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Cohen, E. y otros. (2007). *Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry, IUPAC Green Book (3a ed.)*. Cambridge: IUPAC & RSC Publishing.
- Collins, R. (1994). "Against the Epistemic Value of Prediction Over Accommodation". *Noûs*, **28**: 210-224.
- Colodny, R. (ed.) (1970). *The Nature and Function of Scientific Theories*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- Compton, A. H. (1922a). "A Secondary Radiation Produced by X-Rays, and Some of their Applications to Physical Problems". *Bulletin of the National Research Council*, **4**: 1-56.
- Compton, A. H. (1922b). "The Spectrum of Secondary X-Rays". *Physical Review*, **19**: 267-268.
- Compton, A. H. (1923a). "A Quantum Theory of the Scattering of X-Rays by Light Elements". *Physical Review*, **21**: 483-502.
- Compton, A. H. (1923b). "Recoil of Electrons from Scattered X-Rays". *Nature*, **122**: 435-435.
- Compton, A. H. (1924). "The Scattering of X-Rays". *Journal of the Franklin Institute*, **198**: 57-72.
- Compton, A. H. (1925). "Light Waves or Light Bullets?". *Scientific American*, **133**: 246-247.
- Compton, A. H. y Simon, A. W. (1925). "Directed Quanta from Scattered X-Rays". *Physical Review*, **26**: 289-299.
- Cushing, J. y otros (eds.) (1984). *Science and Reality: Recent Work in the Philosophy of Science*. Notre Dame, IN: Notre Dame University Press.
- de Broglie, L. (1924). "A Tentative Theory of Light and Quanta". *Philosophical Magazine*, **47**: 446-458.
- Debye, P. (1923). "X-Rays Scattering and Quantum Theory". En P. Debye, 1954, pp. 80-88 (trad. del original en alemán, "Zerstreuung von Röntgenstrahlen und Quantentheorie". *Physikalische Zeitschrift*, **24**: 161-166, 1923).
- Debye, P. (1954). *The Collected Papers of Peter J. W. Debye*. New York: Interscience.
- de Finetti, B. (1937). "Foresight: Its Logical Laws, Its Subjective Sources". En H. Kyburg y H. Smokler (eds.), 1964, pp. 93-158. (Original en francés, "La prévision: ses lois logiques, ses sources subjectives", *Ann. Inst. Henri Poincaré*, **7**: 1-68, 1937).
- Devitt, M. (1991). *Realism and Truth (2a ed. rev.)*. Oxford: Blackwell (1a ed., 1984).
- Dorling, J. (1992). "Bayesian Conditionalization Resolves Positivist/Realist Disputes". *The Journal of Philosophy*, **89**: 362-382.

- Douglas, H. y Magnus, P. D. (2013). "State of the Field: Why Novel Prediction Matters". *Studies in History and Philosophy of Science*, **44**: 580-589.
- Duhem, P. (1906). *La théorie physique: son objet et sa structure*. Paris: Chevalier & Rivière.
- Dunn, J. y Gupta, A. (eds.) (1990). *Truth or Consequences*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Dyson, F. (2004). "A meeting with Enrico Fermi". *Nature*, **427**: 297.
- Earman, J. (ed.) (1983). *Testing Scientific Theories*. Minneapolis: The University of Minnesota Press.
- Earman, J. (1992). *Bayes or Bust? A Critical Analysis of Bayesian Confirmation Theory*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Earman, J. y Glymour, C. (1978). "Einstein and Hilbert: Two Months in the History of General Relativity". *Archive for History of Exact Sciences*, **19**: 291-308.
- Earman, J. y Janssen, M. (1993). "Einstein's Explanation of the Motion of Mercury's Perihelion". En J. Earman, M. Janssen y J. D. Norton (eds.), 1993, pp. 129-172.
- Earman, J. y Salmon, W. (1992). "The Confirmation of Scientific Hypotheses". En M. Salmon y otros (eds.), 1992, pp. 42-103.
- Earman, J., Janssen, M. y Norton, J. D. (eds.) (1993). *The Attraction of Gravitation: New Studies in the History of General Relativity*. Boston: Birkhäuser.
- Eells, E. (1985). "Problems of Old Evidence". *Pacific Philosophical Quarterly*, **66**: 283-302.
- Eells, E. y Fitelson, B. (2000). "Measuring Confirmation and Evidence". *The Journal of Philosophy*, **97**: 663-672.
- Einstein, A. (1905). "Concerning on a Heuristic Point of View Toward the Emission and Transformation of Light". En J. Stachel y otros (eds.), 1990, pp. 86-103 (trad. A. Beck del original en alemán, "Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt", *Annalen der Physik*, **17**: 132-148, 1905).
- Einstein, A. (1909). "On the Development of Our Views Concerning the Nature and Constitution of Radiation". En J. Stachel y otros (eds.), 1990, pp. 379-394 (trad. A. Beck del original en alemán, "Über die Entwicklung unserer Anschauungen über das Wesen und die Konstitution der Strahlung", *Physikalische Zeitschrift*, **10**: 817-825, 1909).
- Einstein, A. (1917). "The Quantum Theory of Radiation". *Physikalische Zeitschrift*, **18**: 121-128 (reimpresión del original en alemán, "Zur Quantentheorie der Strahlung". *Mitteilungen der Physikalischen Gesellschaft*, **16**: 47-62, 1916).
- Einstein, A. (1949). "Autobiographical Notes". En P. A. Schilpp (ed.), 1949, pp. 1-95.

- Eisberg, R. y Resnick, R. (1985). *Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei, and Particles (2da ed.)*. New York: John Wiley & Sons.
- Feigl, H. y Maxwell, G. (eds.) (1962). *Minnesota Studies in the Philosophy of Science, Vol 2*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Feyerabend, P. (1962). "Explanation, Reduction, and Empiricism". En H. Feigl y G. Maxwell (eds.), 1962, pp. 28-97.
- Fitelson, B. (1999). "The Plurality of Bayesian Measures of Confirmation and the Problem of Measure of Sensitivity". *Philosophy of Science*, **66**: S362-S378.
- Forster, M. y Sober, E. (1994). "How to Tell when Simpler, More Unified, or Less *Ad Hoc* Theories will Provide More Accurate Predictions". *The British Journal for the Philosophy of Science*, **45**: 1-35.
- Frankel, H. (1979). "The Career of Continental Drift Theory". *Studies in History and Philosophy of Science*, **10**: 21-66.
- Friederich, S., Harlander, R. y Karaca, K. (2014). "Philosophical Perspectives on Ad Hoc Hypotheses and the Higgs Mechanism". *Synthese*, **191**: 3897-3917.
- Gabbay, D., Hartmann, S. y Woods, J. (eds.) (2011). *Handbook of the History of Logic. Volume 10: Inductive Logic*. Amsterdam: Elsevier.
- Gänderfors, P. y otros (eds.) (2002). *In the Scope of Logic, Methodology and Philosophy of Science*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Garber, D. (1983). "Old Evidence and Logical Omniscience in Bayesian Confirmation Theory". En J. Earman (ed.), 1983, pp. 99-131.
- Gardner, M. (1982). "Predicting Novel Facts". *The British Journal for the Philosophy of Science*, **33**: 1-15.
- Gillies, D. (2000). *Philosophical Theories of Probability*. New York: Routledge.
- Glymour, C. (1980). *Theory and Evidence*. Princeton: Princeton University Press.
- Good, I. J. (1983a). *Good Thinking: The Foundations of Probability and Its Applications*. Minneapolis: The University of Minnesota Press.
- Good, I. J. (1983b). "Some Logic and History of Hypothesis Testing". En I. J. Good, 1983a, pp. 129-148.
- Greenberger, D., Hentschel, K. y Weinert, F. (eds.) (2009). *Compendium of Quantum Physics*. Springer.
- Grünbaum, A. (1959). "The Falsifiability of the Lorentz-Fitzgerald Contraction Hypothesis". *The British Journal for the Philosophy of Science*, **37**: 48-50.

- Grünbaum, A. (1962). "The Special Theory of Relativity as a Case Study of the Importance of the Philosophy of Science for the History of Science". *Annali di Matematica*, **57**: 257-282.
- Grünbaum, A. (1976). "Ad Hoc Auxiliary Hypothesis and Falsificationism". *The British Journal for the Philosophy of Science*, **27**: 329-362.
- Hanson, N. R. (1958). *Patterns of Discovery*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Harker, D. (2006). "Accommodation and Prediction: The Case of the Persistent Head". *The British Journal for the Philosophy of Science*, **57**: 309-321.
- Harker, D. (2008). "On the Predilections for Predictions". *The British Journal for the Philosophy of Science*, **59**: 429-453.
- Hempel, C. G. (1945a). "Studies in the Logic of Confirmation I". *Mind*, **54**: 1-26.
- Hempel, C. G. (1945b). "Studies in the Logic of Confirmation II". *Mind*, **54**: 97-121.
- Hempel, C. G. (1966). *Philosophy of Natural Science*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Hermann, A. (1971). *The Genesis of Quantum Theory*. Cambridge, MA: The MIT Press (trad. C. Nash del original en alemán, *Frühgeschichte der Quantentheorie*, Physik Verlag, 1969).
- Hitchcock, C. (ed.) (2004). *Contemporary Debates in the Philosophy of Science*. Oxford: Blackwell.
- Hitchcock, C. y Sober, E. (2004). "Prediction versus Accommodation and the Risk of Overfitting". *The British Journal for the Philosophy of Science*, **55**: 1-34.
- Holden, N. (1979). "Atomic Weight of the Elements 1979". *Pure and Applied Chemistry*, **52**: 2349-2384.
- Holton, G. (1969). "Einstein, Michelson, and the 'Crucial' Experiment". *Isis*, **2**: 132-197.
- Holton, G. (1973). *Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Hon, G. y Rakover, S. (eds.) (2001). *Explanation: Theoretical Approaches and Its Applications*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Horwich, P. (1982). *Probability and Evidence*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Horwich, P. (ed.) (1993). *World Changes: Thomas Kuhn and the Nature of Science*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Howson, C. (1984). "Bayesianism and Support by Novel Facts". *The British Journal for the Philosophy of Science*, **35**: 245-251.
- Howson, C. (1985). "Some Recent Objections to the Bayesian Theory of Support". *The British Journal for the Philosophy of Science*, **36**: 305-309.

- Howson, C. (1991). "The 'Old Evidence' Problem". *The British Journal for the Philosophy of Science*, **42**: 547-555.
- Howson, C. (2000). *Hume's Problem: Induction and the Justification of Belief*. New York: Oxford University Press.
- Howson, C. y Franklin, A. (1991). "Maher, Mendeleev and Bayesianism". *Philosophy of Science*, **58**: 574–585.
- Howson, C. y Urbach, P. (2006). *Scientific Reasoning: The Bayesian Approach (3a ed. rev)*. Chicago: Open Court. (1a ed., 1989).
- Hudson, R. (2007). "What's Really at Issue with Novel Predictions". *Synthese*, **155**: 1-20.
- Hunt, C. (2012). "On Ad Hoc Hypothesis". *Philosophy of Science*, **79**: 1-14.
- Huygens, C. (1690). *Traité de la lumière*. Paris: Gauthier-Villars.
- Jaynes, E. (1968). "Prior Probabilities". *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, **3**: 227-241.
- Jeffrey, R. (1983a). "Bayesianism with a Human Face". En J. Earman (ed.), 1983, pp. 133–156.
- Jeffrey, R. (1983b). *The Logic of Decision (2a ed. rev)*. Chicago: University of Chicago Press (1a ed., 1965).
- Jensen, W. (ed.) (2002). *Mendeleev on the Periodic Law: Selected Writings, 1869-1905*. Mineola, NY: Dover.
- Joyce, J. (2011). "The Development of Subjective Bayesianism". En D. Gabbay, S. Hartmann y J. Woods (eds.), 2011, pp. 415-476.
- Kahn, J., Landsburg, J. y Stockman, A. (1992). "On Novel Confirmation". *The British Journal for the Philosophy of Science*, **43**: 503-516.
- Keynes, J. M. (1921). *A Treatise on Probability*. London: Macmillan.
- Klein, M. (1963). "Einstein's First Paper on Quanta". *The Natural Philosopher*, **2**: 59-86.
- Klein, M. (1964). "Einstein and the Wave-Particle Duality". *The Natural Philosopher*, **3**: 3-49.
- Klein, M. y otros (eds.) (1995). *The Collected Papers of Albert Einstein. Volume 5: The Swiss Years: Correspondence, 1902 – 1914 (English translation supplement)*. Princeton: Princeton University Press (trad. A. Beck).
- Kolmogórov, A. (1956). *Foundations of the Theory of Probability*. New York: Chelsea. (Original en alemán, *Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung*, 1933).

- Kragh, H. (2009). "Bohr-Kramers-Slater Theory". En D. Greenberger, K. Hentschel y F. Weinert (eds.), 2009, pp. 62-64.
- Kuhn, T. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kuhn, T. (1978). *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894 – 1912*. Oxford: Oxford University Press.
- Kuhn, T. (1984). "Revisiting Planck". *Historical Studies in the Physical Science*, **14**: 231-252.
- Kukla, A. (1998). *Studies in Scientific Realism*. Oxford: Oxford University Press.
- Kukla, A. y Walmsley, J. (2004). "A Theory's Predictive Success does not Warrant Belief in the Unobservable Entities it Postulates". En C. Hitchcock (ed.), 2004, pp. 133-148.
- Kyburg, H. y Smokler, H. (eds.) (1964). *Studies in Subjective Probability*. New York: John Wiley and Sons.
- Lakatos, I. (1968a). "Changes in the Problem of Inductive Logic". En I. Lakatos (ed.), 1968b, pp. 315-417.
- Lakatos, I. (ed.) (1968b). *The Problem of Inductive Logic*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
- Lakatos, I. (1970). "Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes". En I. Lakatos y A. Musgrave (eds.), 1970, pp. 91-196.
- Lakatos, I. y Musgrave, A. (eds.) (1970). *Criticism and the Growth of Knowledge*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lakatos, I. y Zahar, E. (1975). "Why did Copernicus' Research Programme Supersede Ptolemy's?". En R. Westman (ed.), 1975, pp. 354-383.
- Lange, M. (2001). "The Apparent Superiority of Prediction to Accommodation as a Side Effect: A Reply to Maher". *The British Journal for the Philosophy of Science*, **52**: 575-588.
- Laudan, L. (1977). *Progress and Its Problems: Towards a Theory of Scientific Growth*. Berkeley, CA: University of California Press.
- Laudan, L. (1981). "A Confutation of Convergent Realism". *Philosophy of Science*, **48**: 19-49.
- Laudan, L. (1984a). "Explaining the Success of Science". En J. Cushing y otros (eds.), 1984, pp. 83-105.
- Laudan, L. (1984b). *Science and Values: The Aims of Science and their Role in Scientific Debate*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.
- Laudan, L. (1996). *Beyond Positivism and Relativism: Theory, Method and Evidence*. Boulder, CO: Westview Press.

- Lecoq de Boisbaudran, E. (1875). "Caractères chimiques et spectroscopiques d'un nouveau métal, le Gallium, découvert dans un blende de la mine de Pierrefitte, vallée d'Argelès (Pyrénées)". *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, **81**: 493–495.
- Leplin, J. (1975). "The Concept of an Ad Hoc Hypothesis". *Studies in History and Philosophy of Science*, **4**: 309-345.
- Leplin, J. (1982). "The Assessment of Auxiliary Hypotheses". *The British Journal for the Philosophy of Science*, **33**: 235-249.
- Leplin, J. (ed.) (1984). *Scientific Realism*. Berkeley, CA: University of California Press.
- Leplin, J. (1987). "Surrealism". *Mind*, **96**: 519-524.
- Leplin, J. (1997). *A Novel Defense of Scientific Realism*. New York: Oxford University Press.
- Leplin, J. (2004). "A Theory's Predictive Success Can Warrant Belief in the Unobservable Entities it Postulates". En C. Hitchcock (ed.), 2004, pp. 117-132.
- Lindsay, R. (ed.) (1979). *Early Concepts of Energy in Atomic Physics*. Stroudsburg, PA: Dowden, Hutchinson & Ross Inc.
- Lipton, P. (1990). "Prediction and Prejudice". *International Studies in the Philosophy of Science*, **4**: 51-65.
- Lipton, P. (2004). *Inference to the Best Explanation (2a ed.)*. London: Routledge.
- Maher, P. (1988). "Prediction, Accommodation and the Logic of Discovery". *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, **1**: 273-285.
- Maher, P. (1990). "How Prediction Enhances Confirmation". En J. Dunn y A. Gupta (eds.), 1990, pp. 327-343.
- Maher, P. (1993). "Howson and Franklin on Prediction". *Philosophy of Science*, **60**: 329-340.
- Maxwell, G. (1962). "The Ontological Status of Theoretical Entities". En H. Feigl y G. Maxwell (eds.), 1962, pp. 181-192.
- Maxwell, G. (1970). "Theories, Perception and Structural Realism". En R. Colodny (ed.), 1970, pp. 3-34.
- McAllister, J. (1993). "Scientific Realism and the Criteria for Theory-Choice". *Erkenntnis*, **38**: 203-222.
- McAllister, J. (1996). *Beauty and Revolution in Science*. Ithaca, NY: Cornell University Press.
- McIntyre, L. (2001). "Accommodation, Prediction, and Confirmation". *Perspectives on Science*, **3**: 308-323.

- McMullin, E. (1984). "A Case of Scientific Realism". En J. Leplin (ed.), 1984, pp. 8-40.
- McMullin, E. (1993). "Rationality and Paradigm Change in Science". En P. Horwich (ed.), 1993, pp. 55-78.
- Mendeléiev, D. (1869). "On the Relation of the Properties to the Atomic Weights of the Elements". En W. Jensen (ed.), 2002, pp. 16-18 (trad. C. Giunta del original en alemán, "Über die Beziehungen der Eigenschaften zu den Atomgewichten der Elemente", *Zeit. Chem.*, **5**: 405-506, 1869).
- Mendeléiev, D. (1871). "On the Periodic Regularity of the Chemical Elements". En W. Jensen (ed.), 2002, pp. 43-101 (trad. del original en alemán, "Die periodische Gesetzmässigkeit der Chemischen", *Ann. Chem. Pharm.*, **8**: 133-229, 1871).
- Mendeléiev, D. (1895). "Professor Mendeléeff on Argon". *Nature*, **51**: 543.
- Mendeléiev, D. (1897). *The Principles of Chemistry (2da. ed. en inglés, vol. 2)*. London: Longmans, Green & Co (trad. G. Kamensky de la sexta edición en ruso).
- Mill, J. S. (1843). *A System of Logic: Ratiocinative and Inductive*. London: John W. Parker.
- Millikan, R. (1916). "A Direct Photoelectric Determination of Planck's 'h'". *Physical Review*, **7**: 355-388.
- Millikan, R. (1924). *The Electron: Its Isolation and Measurement and the Determination of Some of Its Properties (2da ed. rev.)*. Chicago: University of Chicago Press.
- Murphy, N. (1989). "Another Look at Novel Facts". *Studies in History and Philosophy of Science*, **20**: 385-388.
- Musgrave, A. (1974). "Logical versus Historical Theories of Confirmation". *The British Journal for the Philosophy of Science*, **25**: 1-23.
- Musgrave, A. (1988). "The Ultimate Argument for Scientific Realism". En R. Nola (ed.), 1988, pp. 229-252.
- Myrvold, W. (1996). "Bayesianism and Diverse Evidence: A Reply to Andrew Wayne". *Philosophy of Science*, **63**: 661-665.
- Myrvold, W. (2003). "A Bayesian Account of the Virtue of Unification". *Philosophy of Science*, **70**: 399-423.
- Nickles, T. (1987). "Lakatosian Heuristics and Epistemic Support". *The British Journal for the Philosophy of Science*, **38**: 181-205.
- Nickles, T. (1988). "Truth or Consequences? Generative versus Consequential Justification in Science". *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association 1988*, **2**: 393-405.

- Niiniluoto, I. (1983). "Novel Facts and Bayesianism". *The British Journal for the Philosophy of Science*, **34**: 375-379.
- Niiniluoto, I. (1999). *Critical Scientific Realism*. Oxford: Oxford University Press.
- Nola, R. (ed.) (1988). *Relativism and Realism in Science*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Nola, R. (2002). "Realism Through Manipulation, and by Hypothesis". En S. Clarke y T. D. Lyons (eds.), 2002, pp. 1-23.
- Nunan, R. (1984). "Novel Facts, Bayesian Rationality, and the History of Continental Drift". *Studies in History and Philosophy of Science*, **15**: 267-307.
- Nunan, R. (1993). "Heuristic Novelty and the Asymmetry Problem in Bayesian Confirmation Theory". *The British Journal for the Philosophy of Science*, **44**: 17-36.
- Pais, A. (1982). *Subtle is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein*. Oxford: Oxford University Press.
- Peterson, M. (2009). *An Introduction to Decision Theory*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Pitt, J. (ed.) (1985). *Change and Progress in Modern Science*. Dordrecht: Reidel.
- Planck, M. (1900). "'On the Theory of the Energy Distribution Law of the Normal Spectrum". En D. ter Haar (ed.), 1967, pp. 82-90 (trad. del original en alemán, "Zur Theorie des Gesetzes der Energieverteilung im Normalspectrum", *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*, **2**: 237-243, 1900).
- Planck, M. (6 de julio de 1907). [Carta a Albert Einstein]. En: M. Klein y otros (eds.), 1995, pp. 30-31.
- Popper, K. R. (1959a). "Testability and 'Ad-Hocness' of the Contraction Hypothesis". *The British Journal for the Philosophy of Science*, **37**: 50.
- Popper, K. R. (1959b). *The Logic of Scientific Discovery*. London: Routledge (original en alemán, *Logik der Forschung*, 1934).
- Popper, K. R. (1963). *Conjectures and Refutations*. London: Routledge.
- Popper, K. R. (1983). *Realism and the Aim of Science*. London and New York: Routledge.
- Psillos, S. (1999). *Scientific Realism*. London: Routledge.
- Puddephatt, R. y Monaghan, P. (1986). *The Periodic Table of the Elements (2a ed.)*. New York: Oxford University Press.
- Putnam, H. (1975). *Philosophical Papers, Vol. 1: Mathematics, Matter and Method*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Putnam, H. (1978). *Meaning and the Moral Science*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Quine, W. V. (1992). *The Pursuit of Truth*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Radnitzky, G. y Andersson, G. (eds.) (1978). *Progress and Rationality in Science*. Dordrecht: Reidel.
- Ramsey, F. (1926). "Truth and Probability". En: Kyburg, H. y Smokler, H. (eds.), 1964, pp. 23-52.
- Rawson, D. C. (1974). "The Process of Discovery: Mendeleev and the Periodic Law". *Annals of Science*, **31**: 181-193.
- Redhead, M. (1978). "Ad Hocness and the Appraisal of Theories". *The British Journal for the Philosophy of Science*, **29**: 355-361.
- Redhead, M. (1986). "Novelty and Confirmation". *The British Journal for the Philosophy of Science*, **37**: 115-118.
- Roche, W. y Sober, E. (2013). "Explanatoriness is Evidentially Irrelevant, or Inference to the Best Explanation Meets Bayesian Confirmation Theory". *Analysis*, **73**: 659-668.
- Salmon, M. y otros (eds.) (1992). *Introduction to the Philosophy of Science*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Salmon, W. (1966). *The Foundations of Scientific Inference*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- Salmon, W. (2001). "Explanation and Confirmation: A Bayesian Critique of Inference to the Best Explanation". En G. Hon y S. Rakover (eds.), 2001, pp. 61-91.
- Sánchez Ron, J. (2001). *Historia de la física cuántica 1: El período fundacional (1860-1926)*. Barcelona: Crítica.
- Sankey, H. (2001). "Scientific Realism: An Elaboration and a Defence". *Theoria*, **48**: 35-54.
- Scerri, E. (1991). "The Electronic Configuration Model, Quantum Mechanics and Reduction". En E. Scerri, 2009, pp. 18-34.
- Scerri, E. (2005). "Response to Barnes's Critique of Scerri and Worrall". *Studies in History and Philosophy of Science*, **36**: 813-816.
- Scerri, E. (2007). *The Periodic Table: Its Story and its Significance*. New York: Oxford University Press.
- Scerri, E. (2009). *Selected Papers on the Periodic Tables*. London: Imperial College Press.
- Scerri, E. y Worrall, J. (2001). "Prediction and the Periodic Table". *Studies in History and Philosophy of Science*, **32**: 407-452.

- Schilpp, P. A. (1949). *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*. Evanston, IL: Library of Living Philosophers.
- Schindler, S. (2014). "Novelty, Coherence, and Mendeleev's Periodic Table". *Studies in History and Philosophy of Science*, **45**: 62-69.
- Schindler, S. (2018). "A Coherentist Conception of Ad Hoc Hypothesis". *Studies in History and Philosophy of Science*, **67**: 54-64.
- Schlesinger, G. (1987). "Accommodation and Prediction". *Australasian Journal of Philosophy*, **65**: 33-42.
- Seelig, C. (1956). *Albert Einstein: A Documentary Biography*. London: Staples Press.
- Shankland, R. S. (ed.) (1973). *Scientific Papers of Arthur Holly Compton: X-Ray and Other Studies*. Chicago: University of Chicago Press.
- Shimony, A. (1993). *Search for a Naturalistic World View. Volume I: Scientific Methodology and Epistemology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Simon, H. (1955). "Prediction and Hindsight as Confirmatory Evidence". *Philosophy of Science*, **22**: 227-230.
- Smart, J. (1963). *Philosophy and Scientific Realism*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Spottiswoode, W. (1882). "President's Address". *Proceedings of the Royal Society of London*, **34**: 302-329.
- Sprenger, J. (2013). "A Synthesis of Hempelian and Hypothetico-Deductive Confirmation". *Erkenntnis*, **78**: 727-738.
- Sprenger, J. (2015). "A Novel Solution of the Problem of Old Evidence". *Philosophy of Science*, **82**: 383-401.
- Sprenger, J. y Hartmann, S. (2019). *Bayesian Philosophy of Science*. Oxford: Oxford University Press.
- Stachel, J. y otros (eds.) (1990). *The Collected Papers of Albert Einstein, Volume 2: The Swiss Years: Writings, 1900-1909 (English translation supplement)*. Princeton: Princeton University Press (trad. A. Beck).
- Stuewer, R. (1970a). "Non-Einsteinian interpretations of the photoelectric effect". En R. Stuewer (ed.), 1970b, pp. 246-263.
- Stuewer, R. (ed.) (1970b). *Historical and Philosophical Perspectives of Science*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Stuewer, R. (1971). "William H. Bragg's Corpuscular Theory of X-Rays and γ -Rays". *The British Journal for the History of Science*, **5**: 258-281.

- Stuewer, R. (1975). *The Compton Effect: Turning Point in Physics*. New York: Science Publications.
- Stuewer, R. (2000). "The Compton Effect: Transition to Quantum Mechanics". *Annalen der Physik*, **9**: 975-989.
- Talbott, W. (1991). "Two Principles of Bayesian Epistemology". *Philosophical Studies*, **62**: 135-150.
- ter Haar, D. (ed.) (1967). *The Old Quantum Theory*. Oxford: Pergamon Press.
- van Fraassen, B. (1980). *The Scientific Image*. Oxford: Oxford University Press.
- van Fraassen, B. (1984). "Belief and the Will". *The Journal of Philosophy*, **81**: 235-256.
- van Fraassen, B. (1989). *Laws and Symmetry*. New York: Oxford University Press.
- van Spronsen, J. (1969). *The Periodic System of the Chemical Elements: The First 100 Years*. Amsterdam: Elsevier.
- Watkins, J. W. N. (1964). "Confirmation, the Paradoxes, and Positivism". En M. Bunge (ed.), 1964, pp. 92-115.
- Watkins, J. W. N. (1984). *Science and Scepticism*. Princeton: Princeton University Press.
- Westman, R. (ed.) (1975). *The Copernican Achievement*. Berkeley, CA: University of California Press.
- White, R. (2003). "The Epistemic Advantage of Prediction over Accommodation". *Mind*, **112**: 653-683.
- Williamson, J. (2010). *In Defense of Objective Bayesianism*. Oxford: Oxford University Press.
- Wilson, C. T. R. (1923). "Investigations on X-Rays and β -Rays by the Cloud Method. Part I. X-Rays". *Proceedings of the Royal Society of London*, **724**: 1-24.
- Worrall, J. (1978). "The Ways in Which the Methodology of Scientific Research Programmes Improves on Popper's Methodology". En G. Radnitzky y G. Andersson (eds.), 1978, pp. 45-70.
- Worrall, J. (1985). "Scientific Discovery and Theory-Confirmation". En J. Pitt (ed.), 1985, pp. 301-332.
- Worrall, J. (2002). "New Evidence for Old". En P. Gärderfors y otros (eds.), 2002, pp. 191-212.
- Worrall, J. (2005). "Prediction and the 'Periodic Law': A Rejoinder to Barnes". *Studies in History and Philosophy of Science*, **36**: 817-826.
- Worrall, J. (2006). "Theory-Confirmation and History". En C. Cheyne y J. Worrall (eds.), 2006, pp. 31-62.

Worrall, J. (2014). "Prediction and Accommodation Revisited". *Studies in History and Philosophy of Science*, **45**: 54-61.

Zahar, E. (1973). "Why did Einstein's Programme Supersede Lorentz's? (I)". *The British Journal for the Philosophy of Science*, **24**: 95-123.

Zahar, E. (1989). *Einstein's Revolution: A Study in Heuristic*. La Salle, IL: Open Court Press.