



## Formas de argumentación en ciencia. Conjeturas y tanteos, abducción y preducción

### *Forms of Argumentation in Science. Conjectures and Trials, Abduction and Preduction*

Andrés Rivadulla

<https://orcid.org/0000-0001-5773-7474>

Dpto. de Lógica y Filosofía Teórica

Universidad Complutense de Madrid

Ciudad Universitaria, Pl. Menéndez Pelayo, s/n,

Moncloa- Aravaca, 28040 Madrid

[arivadul@ucm.es](mailto:arivadul@ucm.es)

#### RESUMEN

La meta de este trabajo es presentar las dos formas principales de argumentación de que se sirve la ciencia a fin de lograr sus objetivos de innovación y explicación. Estas son la abducción y la preducción, que ilustro con ejemplos traídos de la física. Pero también destaco el recurso a conjeturas y tanteos como una forma que muestra la fuerza de la imaginación en ciencia. En particular, acentúo el carácter dialógico de la abducción cuando hace posible la sustitución o complementación de hipótesis previas, donde adquiere la forma de un macroargumento al servicio del descubrimiento científico.

**PALABRAS CLAVE:** abducción, argumentación, conjeturas, explicación científica, hipótesis, imaginación, innovación teórica, método científico, preducción, tanteos.

#### ABSTRACT

The aim of this article is to present the two main forms of argument that science uses in order to achieve its objectives of innovation and explanation. These are abduction and preduction, which I illustrate with examples from physics. But I also highlight the use of conjectures and trials as a way that shows the strength of imagination in science. In particular, I emphasize the dialogic nature of abduction when it makes possible the substitution or complementation of previous hypotheses, where it takes the form of a macroargument at the service of scientific discovery.

**KEYWORDS:** abduction, argumentation, conjectures, hypothesis, imagination, preduction, scientific explanation, scientific method, theoretical innovation, trials.

## 1. INTRODUCCIÓN

La ciencia, ese producto humano tan prestigiado socialmente y confiable, se apoya en la argumentación y la prueba, dos elementos identificadores del método científico.

Desde que en los últimos tiempos la pregunta sobre si existe un método científico, en el sentido de un único, está acabando por responderse negativamente, la controversia entre la inducción y su alternativa radical popperiana, el test deductivo de hipótesis, se está diluyendo a pasos agigantados. Pues tanto el carácter ampliativo propio de la inducción, y también de la abducción, como la contrastación rigurosa de hipótesis se aceptan como formas de acceder a propuestas explicativas que pueden acabar consolidándose como innovaciones prometedoras. El *método científico* existe, claro, y aquí vamos a ver algunas de sus formas. Como afirma Steven Weinberg (2015: 221): “Aprendemos a practicar la ciencia no imponiendo reglas acerca de cómo practicarla, sino a partir de la experiencia de trabajar con ella, impulsados por la satisfacción que obtenemos cuando nuestros métodos consiguen explicar algo”, que concuerda con lo que Stephen Toulmin (2007: 324) entiende que debe hacerse, a saber: “examinar la historia de la lógica, la estructura y el *modus operandi* de las ciencias con los ojos del naturalista, sin preconceptos o prejuicios traídos de fuera.”

El método científico es poliédrico. Por ello, además de la abducción, con el peso importante que la imaginación tiene en ella a efectos de explicación y descubrimiento, presentaré también la rigurosamente deductiva *producción teórica*, que también sirve al descubrimiento y la explicación, e incluso el recurso a conjeturas y tanteos.

Apoyándose en Peirce, Jevons, Whewell y Claude Bernard, Peter Medawar (1974: 284) subraya que: “The generative or elementary act in discovery is ‘having an idea’ or proposing a hypothesis.” Con la condición de que “Hypotheses must be tested, that is criticized.” Los orígenes de la física atómica, a los que aquí recorro a efectos de ilustración, ofrecen muestras que Medawar podría haber usado sobre la relevancia del papel de la imaginación y el tanteo hipotético en la creatividad científica. Para Wolfgang Pauli (1946: 215) el asunto estaba bien claro: “The essential advance of physics rests on the creative imagination of the experimental as well as the theoretical investigator, and ... cannot be forced by planning on a grand scale.”

Tratándose este de un trabajo sobre la argumentación científica me parece pertinente presentar lo que entiendo por *ciencia* desde mi perspectiva como filósofo de la ciencia. Para ello distingo entre la *ciencia como práctica* o actividad humana y la *ciencia como producto* o resultado de esta actividad. Entendida como *práctica*, la ciencia

es una actividad desarrollada individual y colectivamente con pleno rigor metodológico y honestidad intelectual; enraizada en y condicionada por una historia precedente; encauzada a la solución de problemas específicos y capaz de aportar innovación y explicación; guiada por la búsqueda de verdades acerca del mundo, o, más modestamente, de éxito en nuestra interacción intelectual con la Naturaleza, así como una mejor inserción de nuestra especie en su entorno y un cuidado escrupuloso del mismo, a fin de preservarlo mejorado para las generaciones futuras.

El resultado de la práctica científica es la ciencia como *producto*, un conjunto provisionalmente aceptado de conjeturas, hipótesis, teorías y modelos acerca de los aspectos más variados del mundo, susceptibles de contrastación empírica severa, y que, en el mejor de los casos, parecen desvelarnos aspectos de la realidad a la que pertenecemos.

## 2. LA PREDUCCIÓN TEÓRICA

La *preducción* es una forma rigurosamente deductiva de argumentación científica a los efectos de descubrimiento y explicación. Toma como modelo el razonamiento deductivo *intrateórico*, que permite la predicción de consecuencias comprobables que se siguen de una teoría, de lo que resulta la aceptación tentativa de esta o el rechazo de su aplicabilidad irrestricta. Así, el fracaso de la mecánica celeste newtoniana a la hora de explicar el avance anómalo del perihelio de Mercurio o la desviación de la luz por el Sol, restringieron su dominio de aplicación, mientras que el éxito empírico de la relatividad general en ambos casos y otros, contribuyeron a la aceptación de esta teoría alternativa.

La *preducción* toma la forma de argumentación *interteórica* consistente en combinar, respetando la homogeneidad dimensional, resultados aceptados de teorías diferentes, al objeto de deducir un resultado nuevo u ofrecer una explicación de hechos ya conocidos, lo que en el caso de fenómenos complejos suele ocurrir vía la construcción de modelos teóricos adecuados que permiten construir una imagen y dar una explicación teórica de objetos tales como enanas blancas y supernovas, por mencionar solo dos. Veamos entonces dos casos de aplicación de la *preducción* teórica:

*Primero.* Que el espacio es continuo es una idea acendrada en nuestra intuición original, ligada a la concepción clásica del espacio como marco en el que se desenvuelve todo. Ahora bien, para Lee Smolin (2001: 166) “there is a minimum value to the uncertainty in position, and this means that there is an absolute limit to the precision with which any object can be located in space”, y para Carlo Rovelli (2007:

1289) “gravity, relativity and quantum theory, taken together – o sea, intercalo yo, procediendo productivamente –, appear to prevent position to be determined more precisely than the Planck scale.” Un argumento a favor de esta afirmación sería el siguiente:

1. Si  $x$  y  $v$  designan respectivamente las indeterminaciones en la posición y velocidad de una partícula, por el Principio de Indeterminación de Heisenberg de la

mecánica cuántica  $x \geq \frac{\hbar}{2mv}$ .

2. En Relatividad General, el *radio gravitacional* de un cuerpo (Landau 1992, 97.13), que

tiene dimensiones de longitud, vale  $x = \frac{2Gm}{c^2}$ .

3. De 1. y 2. resulta, simplificando, que  $x^2 \geq \frac{G \hbar}{c^2 v}$ .

4. En Relatividad Especial, ahora, toda velocidad  $v$  está limitada por  $c$ , la de la luz en el

vacío. Tomando  $v \approx c$  en 3. resulta  $x \geq \sqrt{\frac{G\hbar}{c^3}}$ .

5. En el Sistema de Unidades de Planck la unidad de longitud, conocida como *longitud*

*de Planck* es  $\ell_p = \sqrt{\frac{G\hbar}{c^3}}$ .

6. De 4. y 5. se sigue finalmente que  $x \geq \ell_p$ . O sea: la indeterminación de la posición de una partícula está limitada por la longitud de Planck y nunca puede ser menor que  $\ell_p = 10^{-35} m$ , que se instituye como longitud mínima en la Naturaleza. Para este resultado teórico, novedoso y sorprendente, no hay prueba experimental posible. Resulta empero difícil resistir la tentación a imaginar la discontinuidad del espacio.

Un *segundo* caso es la anticipación teórica por Louis de Broglie (1925) de la dualidad onda-corpúsculo de la materia, resultante de la combinación de resultados aceptados de la teoría ondulatoria, la relatividad especial, la física cuántica y la hipótesis de la dualidad onda-partícula de la radiación anticipada por Einstein; o sea, aplicando la predicción teórica como forma de argumentación. Transcurridos dos años, Clinton Davisson (1881-1958) y Lester Germer (1896-1971) confirmaron experimentalmente esta revolucionaria innovación teórica, que, como el propio De Broglie (1941: 84-85) reconoce “nos ha permitido prever e interpretar hechos completamente inesperados, como la difracción de los electrones por los cristales”; esto es adivinar y explicar el

comportamiento ondulatorio de la materia.

### 3. CONJETURAS Y TANTEOS

La física teórica de finales del XIX precisaba de una renovación por la acumulación de problemas a que se enfrentaba. El principal era ofrecer una explicación teórica de la *radiación del cuerpo negro*: un tipo de objetos que absorben toda la radiación que incide sobre ellos y que, dependiendo de su temperatura, también pueden radiar; a igual temperatura, e independientemente de su naturaleza, todos los cuerpos negros radian de la misma manera.

Jožef Stefan (1835-1893) había establecido empíricamente en 1879 que la radiación total emitida por un cuerpo negro era proporcional a la cuarta potencia de su temperatura. Cinco años después Ludwig Boltzmann (1844-1906), analizando termodinámicamente un gas de radiación electromagnética, ofreció una explicación de la Ley de Stefan; y diez años después, Wilhelm Wien (1864-1928) dedujo su *Ley del desplazamiento*, según la cual a medida que aumenta la temperatura de un cuerpo negro su radiación se *desplaza* hacia las longitudes de onda más cortas. Ahora bien, su aplicación a longitudes de onda mayores despertaba serias dudas, y su tabla de salvación, la *Ley de Rayleigh-Jeans*, fracasaba estrepitosamente para frecuencias altas: *catástrofe del ultravioleta*. Como Rivadulla (2002: 43) resume: “Lo máximo que la termodinámica y el electromagnetismo habían logrado ofrecer eran dos leyes que salvaban parcialmente el fenómeno, una para ondas cortas y otra para ondas largas.” Así que la radiación del cuerpo negro seguía adoleciendo de una explicación teórica satisfactoria. Y aquí es donde interviene Max Planck, justo a comienzos del siglo XX.

Planck (1949: 21) empieza *suponiendo* una relación de dependencia de la entropía respecto de la energía, para lo que acaba *atraído* (Planck 1900: 2) por una de entre las diferentes relaciones *construidas arbitrariamente* al efecto. En realidad, la *suerte* le llevó a Planck (1920: 92) a adoptar una fórmula de interpolación, cuyo valor limitado acabaría por llevarle, tras cambiar a favor de la relación entre entropía y probabilidad, al establecimiento del cuanto elemental de acción. Pero para Sommerfeld (1923: 37) la propuesta de la hipótesis de los cuantos de energía no dejaba de ser un *paso atrevido*, que sin embargo le permitió a Einstein ofrecer una *explicación simple* de las observaciones, y a Bohr su teoría atómica.

Que la energía de la luz se distribuye en el espacio de forma discontinua a través de un número finito de cuantos de energía lo plantea Einstein (1905: 133) como un *supuesto*. Y el cuanto elemental de acción de Planck le proporciona a Bohr la base para

una explicación satisfactoria de la constitución atómica. Aunque Bohr (1913: 7) mismo reconoce el carácter *hipotético* de sus supuestos, la teoría de Planck le ofrece la mejor explicación de hechos experimentales frente a la electrodinámica clásica. Y mientras que para Sommerfeld (1923: 66) los postulados atómicos de Bohr a primera vista pudieran parecer *grotescos*, están apoyados empíricamente. Refiriéndose precisamente a Sommerfeld, Pauli (1946: 213. Mis cursivas.) dice que este ofreció “una interpretación directa de las leyes espectrales en términos de números enteros, siguiendo ... una *sensación interior de armonía*.”

En resumidas cuentas, la física cuántica y atómica primitivas inician su andadura a base de tanteos y conjeturas – quizás la forma de argumentación más rudimentaria – pero que, sin embargo, físico a físico, acabaron resultando imprescindibles para el desarrollo teórico.

#### 4. LA ABDUCCIÓN

Como forma de argumentación científica podemos considerar a la abducción como punto intermedio entre la estrategia de conjeturas y tanteos, inclusive el razonamiento por analogía, y la preducción. Aunque su uso se retrotrae a los orígenes mismos de la ciencia (Rivadulla 2022), hasta que Charles Peirce (1965, 7.202 y ss.) no la identifica como “[the] step of adopting a hypothesis as being suggested by the facts”, no se la reconoce como la forma argumentativa capaz de realizar una doble tarea en ciencia: “forming an explanatory hypothesis” al tiempo que “introduces any new idea” (1965, 5.171). Frente a la inducción – inferencia presuntamente conservadora de la verdad y ampliadora del contenido – la abducción no concluye la verdad, sino la *sospecha* de la verdad de la hipótesis propuesta (1965, 5.189). Esta se afirma “only problematically or conjecturally” (1965, 5.188). Peirce logró pues separar la abducción de la inducción, con la que había sido identificada hasta entonces. (Basta citar a Alfred Wegener, quien hace cien años ofreció el argumento genuinamente *abductivo* que introdujo la hipótesis de la deriva continental en geofísica, para ilustrar esta situación: “The determination and proof of relative continental displacements ... have proceed purely empirically, that is, by means of the totality of geodetic, geophysical, geological, biological and paleoclimate data ... This is the *inductive method*, one which the natural sciences are forced to employ in the vast majority of cases.” (Wegener 1966: 167. Mis cursivas.). Hoy diríamos: Este es el *método abductivo*.)

La abducción – cuyo esquema argumentativo es: “The surprising fact, *C*, is observed; but if *A* were true, *C* would be a matter of course. Hence, there is reason to

suspect that *A* is true.” (Peirce 1965, 5.189) – combina el razonamiento lógico con el tanteo imaginativo. Por eso digo que está a medio camino entre la deducción y la estrategia de conjeturas y tanteos. Otra forma de argumentación que sirve también de guía en el descubrimiento científico y proporciona una base para la abducción es el razonamiento por analogía (Rivadulla 2008: 126-128). Pero de este solo señalo aquí su existencia.

Como argumento que concluye tentativamente una hipótesis – no con *probabilidad de verdad*, pues no es posible justificar la inferencia de la hipótesis más ‘probablemente verdadera’ –, la aplicación de la abducción en la práctica científica, forzada siempre a la revisión de hipótesis a la vista de nuevas evidencias, implementa el procedimiento de eliminación de hipótesis alternativas competidoras (Rivadulla 2022). Una cadena de abducciones sucesivas caracteriza por ejemplo el desarrollo de la geofísica moderna, desde la teoría de la Tierra en contracción de Eduard Suess y la teoría del desplazamiento continental de Wegener hasta el modelo de placas tectónicas de Daniel McKenzie y Xavier Le Pichon, entre otros. Cada una de estas teorías suplanta o completa a la precedente y acaba siendo propuesta como la mejor explicación. Análogamente sucede en paleontología.

Aquí voy a instanciar la argumentación abductiva retrotrayéndome a los inicios de la física atómica.

En 1897 Pieter Zeeman (1865-1943) había publicado un artículo que comienza así: “In consequence of my measurements of Kerr’s magneto-optical phenomena, the thought occurred to me whether the period of the light emitted by a flame might be altered when the flame was acted upon by magnetic force. It has turned out that such an action really occurs.” (Zeeman, 1897: 347). La “notable discovery” de Zeeman recibe por parte de Oliver Lodge (1897: 513) este comentario: “I have set up apparatus suitable-for showing the effect, and have verified its primary feature, viz., that both lines in the ordinary spectrum of sodium are broadened when a magnetic field is concentrated upon the flame emitting the light.” Y en una ampliación en diciembre de ese mismo año, “Further Note on the Influence of a Magnetic Field on Radiation Energy”, Lodge precisa: “when the flame is subjected to a concentrated magnetic field, ... a third bright line, as it were, makes its appearance in the midst of the dark line, giving a triple appearance to each sodium line.”

El *efecto Zeeman* es el desdoblamiento de las líneas espectrales emitidas por un conjunto de átomos cuando se los somete externamente a un campo magnético uniforme, y se mide “cuando los átomos decaen de algún nivel de energía mayor al nivel



de energía de su estado base. El desdoblamiento de la línea ocurre debido a que los niveles mismos se desdoblan según los diferentes valores de la energía potencial de los átomos.” (Eisberg & Resnick 1996: 425)

Según Max Jammer (1989: 121) la explicación clásica por Lorentz del efecto Zeeman permitía concluir que “in the fall of 1897 the agreement between experiment and theory was perfect.” No obstante, en diciembre de ese mismo año Thomas Preston (1860-1900) informó de sus experimentos, según los cuales, como refiere Jammer (op. cit.: 121): “From 1898 on, when Lorentz attempted unsuccessfully to interpret Preston’s and Cornu’s observations by generalizing his theory of the normal effect, until the end of the older quantum theory, the anomalous Zeeman effect remained an unsolved problem.” De hecho, como indican Mehra y Rechenberg (1982: 446): “instead of always finding the Zeeman triplet, one observed in general what Lorentz called the ‘more complex types of the Zeeman effect’ or Friedrich Paschen and Ernst Back ultimately named the ‘anomalous Zeeman effect’.” Y es que cuando el que actúa es un campo magnético externo *débil* se produce el desdoblamiento añadido de líneas espectrales conocido como *efecto Zeeman anómalo*.

De *catastrófico* califica Helge Kragh (2007:153) *el efecto Zeeman anómalo* refiriendo una carta de Pauli a Sommerfeld en 1923, cuando se desconocía la explicación teórica del mismo. En realidad, dice Kragh (op. cit.:154), existían muchos “experimentos relevantes y hechos que la teoría de Bohr-Sommerfeld era incapaz de explicar y, en este sentido, eran anomalías.” Y precisa, a modo de resumen, líneas después: “Varios físicos concluyeron que la teoría de Bohr-Sommerfeld era irremediamente errónea y debía reemplazarse con alguna otra teoría.” Citado por Mehra y Rechenberg (1982: 458), Sommerfeld afirmaba en su libro de 1919, *Atombau und Spektrallinien*, pp. 438-439, que “A genuine theory of the Zeeman effect in the case of non-hydrogen-like atoms cannot be given until the reason for the multiplicity of spectral lines has been clarified.” La situación se complicó aún más cuando el zaragozano Miguel Catalán Sañudo (1894-1957) descubrió los multipletes, término acuñado por él mismo en 1922, en el espectro del manganeso. Algunos multipletes de otros átomos podían llegar a constar de hasta quince líneas.<sup>1</sup>

El efecto Zeeman anómalo aparece pues ante la comunidad de físicos atómicos como un reto que reclamaba urgentemente una explicación teórica. Esta provendrá primero de la asunción anticipada del Principio de Exclusión, y de la hipótesis del espín

---

<sup>1</sup> Mehra y Rechenberg (1982: 480, nota 760) ofrecen una reseña biográfica de Miguel Catalán y Sánchez Ron glosa su vida y obra en un libro de 1994.



electrónico, después. Hasta que finalmente Paul Dirac (1928) logrará deducir el espín en el marco de su mecánica cuántica relativista, proporcionándole así a esta entidad misma una explicación teórica. Pues la no relativista de Erwin Schrödinger no podía predecirlo.

Instalado en Copenhague como colaborador de Bohr en 1922, preocupado por el *efecto Zeeman anómalo*, Pauli (1946: 214) recuerda que “The anomalous type of splitting was ... hardly understandable, since very general assumptions concerning the electron, using classical theory as well as quantum theory, always led to the simple triplet. A closer investigation of this problem left me with the feeling that it was even more unapproachable.” Mehra y Rechenberg (1982: 671-2) describen la situación así: “the failure of classical mechanics – i.e., of an essential part of the fundamental principles of atomic theory – which was reflected...by the inability (of the Bohr-Sommerfeld theory) to explain the phenomena of the anomalous Zeeman effects, made it obvious that the known difficulties of the existing theory could not be resolved by a slight modification of the assumptions or equations that had been used so far.”

El desencadenante del Principio de Exclusión reside en el hecho, que Pauli (1925, §1) recoge, de que “especially the doublet structure of the alkali spectra and their anomalous Zeeman effect are caused by a classically undescrivable two-valuedness of the quantum theoretical properties of the optically active electron.” Pauli avanza pues la existencia de cuatro números cuánticos, que Sánchez Ron (2001: 349, nota a p.p. 42) explica. La adición del cuarto número cuántico de momento magnético, aunque se trata de un “tentative point of view”, le lleva a Pauli a la presentación de su principio, la “more general rule about the occurrence of equivalent electrons in an atom: *There can never be two or more equivalent electrons in an atom for which in strong fields the values of all quantum numbers ... are the same. If an electron is present in the atom for which these quantum numbers (in an external field) have definite values, this state is ‘occupied’.*” (Pauli 1925, §2. Mis cursivas). Sin embargo, la siguiente confesión de Pauli, líneas después, es estremecedora: “We cannot give a further justification for this rule, but it seems to be a very plausible one.” Que, en el contexto de este trabajo, nos lleva a asumir que el Principio de Exclusión es el resultado de una inferencia abductiva. Porque, como seguidamente señala Pauli, “the consequences of our rule agree with experiment in the simplest cases.” O sea, se trata claramente de una *inferencia de la mejor explicación*.

Así, sentencian Mehra y Rechenberg (1982: 682 y 683. Mis cursivas): “By the end of 1925, the exclusion principle belonged to the accepted laws of atomic physics”,

si bien “The physicists worked with the exclusion principle *in spite of the fact that Pauli was unable to provide ‘a more precise justification’ for it.*”

Las primeras dificultades para aceptar este principio se superaron, como Pauli (1946: 214. Mis cursivas) con elegancia reconoce, gracias a “*Uhlenbeck and Goudsmit’s idea of electron spin, which made it possible to understand the anomalous Zeeman effect*”. Ello, a pesar de que, como señalan Mehra y Rechenberg (1982: 684): “The spin, an extra mechanical property of the electron, was not in the spirit of the ideas which the author of the exclusion principle developed.”

Estos jóvenes físicos – según un texto de Uhlenbeck recogido en Max Jammer (1989: p.144. Mis cursivas) – reconocieron la contribución del artículo de Pauli de 1925 “in which the famous exclusion principle was formulated and in which, for the first time, *four* quantum numbers were ascribed to the electron”, si bien “This was done rather formally; no concrete picture was connected with it. *To us this was a mystery ... We could understand it only if the electron was assumed to be a small sphere that could rotate.*” Una hipótesis que ellos mismos reconocen que ya había sido anticipada por A. H. Compton en 1921. Que el electrón intrínsecamente rota justificaría la anticipación previa de Pauli de un cuarto número cuántico, lo que desde nuestra perspectiva ofrece un ejemplo excelente de una nueva hipótesis postulada abductivamente. O sea, un argumento abductivo sucede o completa a otro anterior.

El propio Pauli (1946: 215. Mis cursivas) acabaría reconociendo que “Bohr was able to show on the basis of wave mechanics that *the electron spin cannot be measured by classically describable experiments (...) and must therefore be considered as an essentially quantum mechanical property of the electron.*” De hecho, en fecha tan temprana como 1927 Walter Heitler y Fritz London explicaron la molécula de H<sub>2</sub> como el enlace químico covalente en el que un electrón tiene espín arriba y el otro espín abajo (Shaik et al. 2021: 5).

Los anticipos imaginativos de Pauli y Goudsmit-Uhlenbeck forman una cadena de inferencias hipotéticas de la mejor explicación, muy útiles en su momento. La hipótesis del espín electrónico es resultado de un proceso argumentativo en el que la fuerza de la imaginación y el contraste de opiniones lleva en pasos sucesivos a su establecimiento. Se trata de una argumentación larga en la que intervienen muchos protagonistas – desde luego bastantes más de los aquí mencionados – aportando pros y contras y que poco a poco acaban alcanzando consenso sobre lo que consideran que ofrece la mejor explicación del fenómeno observado experimentalmente, el *efecto*

*Zeeman anómalo*. Que, en definitiva, se debe a que un campo magnético externo débil no puede anular la interacción espín-órbita responsable del efecto.

Es verdad, como ha quedado dicho, y el propio Pauli (1996: 220. Mis cursivas) reconoce en relación al principio de exclusión que: “Para buscar una *explicación teórica* de esta ley debemos trasladarnos al ámbito de la mecánica ondulatoria relativista ya que, ..., no se la puede explicar mediante la mecánica ondulatoria no relativista.” Esta es ciertamente una explicación teórica en toda regla pues se produce en el marco de una teoría nueva. Pero, desde luego, es harina de otro costal. En todo caso el recurso imaginativo a la rotación del electrón resultó providencial en su momento.

## 5. CONCLUSIÓN

La imagen que en nuestros días consideramos ideal de la física teórica es que esta consiste en un entramado rigurosamente deductivo en el que hechos o resultados empíricos conocidos acaban siendo ‘redescubiertos’ en el contexto de una teoría o teorías vigentes. Cuando esto ocurre, decimos que reciben una explicación teórica, tanto si son resultado de un proceso intrateórico, es decir en el contexto de una única teoría, como si el proceso es interteórico, interviniendo en él resultados aceptados de diferentes teorías, lo que se conoce como *producción teórica*. A efectos de innovación y explicación el razonamiento preductivo juega un papel muy importante en ciencia.

A veces lo que se consolida teóricamente resulta de la asimilación de un resultado experimental, a veces una apuesta, que a partir de un momento dado ya no se cuestiona. Cuando esto ocurre la base empírica, la fuerza imaginativa, la suerte, a la que determinados conceptos teóricos deben su origen, se olvida. Solo cuenta que se trata de elementos teóricos que han devenido imprescindibles. En general para la metodología de la ciencia tan importante es el proceso de postulación de una nueva idea como el de su contrastación empírica o experimental, una vez incorporada a la teoría, aunque sea tentativa.

La ciencia, preferentemente las de la naturaleza, adquiere también el carácter de una construcción colectiva que se apoya en un diálogo en el que los protagonistas participan no sólo aportando hipótesis imaginativas, sino sobre todo aquéllas que, al menos tentativamente, parecen ofrecer la mejor explicación del fenómeno desencadenante del diálogo, de entre varias alternativas. Es así como opera el argumento abductivo. En realidad, como un macroargumento que, con frecuencia a lo

largo del tiempo, adopta la forma de una cadena de hipótesis o modelos, que se suceden o complementan en pro de la mejor explicación por el momento.

En el mejor de los casos, la hipótesis abducida acaba recibiendo ella misma una explicación teórica cuando se logra su inserción en el marco de una teoría nueva. El logro de una explicación teórica es la meta de la práctica científica y cierra, al menos pasajeramente, todo el proceso argumentativo. Coincido plenamente con Toulmin (2007: 326) en que “La comprensión de la lógica de la física va de la mano de la comprensión de la física.”

## REFERENCIAS

- Bohr, N. (1913). “On the Constitution of Atoms and Molecules”. *Phil. Mag.* 26, I, 467, 857.
- De Broglie, L. (1925). *Recherches sur la Théorie des Quanta*. Annales de Physique 10<sup>e</sup> Série, Tome III. Reimpreso en Annales de la Fondation Louis de Broglie, Vol. 17, N<sup>o</sup> 1, 1992.
- (1941). *Continu et Discontinu en Physique Moderne*. Paris: Albin Michel. Versión española, *Continuidad y Discontinuidad en Física Moderna*. Madrid: Espasa-Calpe 1957.
- Dirac, P. (1928). “The Quantum Theory of the Electron”. *Proceedings of the Royal Society of London*. Series A. Vol. 117. Issue 778, 610-624. Doi: 10.1098/rspa.1928.0023.
- Einstein, A. (1905). “Über einen die Erzeugung und Verwendung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt”, *Annalen der Physik* 322, 6, 132-148.
- Eisberg, R. y Resnick, R. (1996). *Física Cuántica. Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos y Partículas*. México, D.F.: Limusa, Noriega Editores.
- Jammer, M. (1989). *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, 2<sup>nd</sup> edition, American Institute of Physics.
- Kragh, H. (2007). *Generaciones Cuánticas. Una historia de la física en el siglo XX*. Madrid: Akal.
- Landau, L. & Lifshitz, E. (1992). *Teoría Clásica de los Campos*. Segunda Edición. Barcelona: Editorial Reverté.
- Lodge, O. (1897). “The influence of a magnetic field on radiation frequency”. *Proc. R. Soc. Lond.* 60, 1897, 513–514.
- Medawar, P. (1974). “Hypothesis and Imagination”. En Arthur Schilpp (ed.), *The Philosophy of Karl Popper*, Vol. I, 274-291. La Salle, Ill.: Open Court.
- Mehra, J. & Rechenberg, H. (1982). *The Historical Development of Quantum Theory*. Vol. 1, Part 2. New York: Springer Verlag.
- Pauli, W. (1925). “On the Connexion between the Completion of Electron Groups in an Atom with the Complex Structure of Spectra”, *Zeitschrift für Physik* 31. Reimpreso en D. ter Haar, *The Old Quantum Theory*, New York: Pergamon Press, 1967, 184-203.
- (1946). “Remarks on the History of the Exclusion Principle”, *Science*, Vol. 103, No. 2669, 213-215.
- (1996). *Escritos sobre física y filosofía*. Madrid: Debate Pensamiento.
- Peirce, Ch. S. (1965). *Collected Papers*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Planck, M. (1900). “On an Improvement of Wien’s Equation for the Spectrum”, *Verhandl. Dtsch. Phys. Ges.*, 2, 202. Reimpreso en D. ter Haar, *The Old Quantum Theory*, New York: Pergamon Press, 1967, 79-81.
- (1920). “The Genesis and Present State of Development of the Quantum Theory”. Nobel Lecture. *Nobelprize.org*. Nobel Media AB 2014. Web. 4 Jun 2017.
- (1949). “Zur Geschichte der Auffindung des physikalischen Wirkungsquantum”. *Vorträge und Erinnerungen*. Fünfte Auflage, Stuttgart: S. Hirzel Verlag.
- Rivadulla, Andrés (2002). “La solución revolucionaria de Planck del problema de la radiación del cuerpo negro”. En Carmen Mataix y Andrés Rivadulla (Eds.), *Física Cuántica y Realidad/Quantum Physics and Reality*. Philosophica Complutensia. Madrid: Editorial Complutense.
- (2008). “Discovery Practices in Natural Sciences: From Analogy to Predution”. *Revista*

- de *Filosofía*, Vol. 33, Núm. 1, 117-137.
- (2022). "Tracking Abductive Reasoning in the Natural Sciences". En Magnani, L. (Eds) *Handbook of Abductive Cognition*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-10135-9\\_75](https://doi.org/10.1007/978-3-031-10135-9_75), 1835-1861.
- Rovelli, C. (2007). "Quantum Gravity". In Jeremy Butterfield and John Earman (Eds), *Handbook of the Philosophy of Science. Philosophy of Physics*. Elsevier.
- Shaik, S.; Danovich, D.; Hiberty, P.C. (2021). "Valence Bond Theory – Its Birth, Struggles with Molecular Orbital Theory, Its Present State and Future Prospects". *Molecules* 26, 1624.
- Sánchez Ron, J. M. (2001). *Historia de la Física Cuántica*. Barcelona: Crítica, Drakontos.
- Smolin, L. (2001). *Three Roads to Quantum Gravity*. New York: Basic Books.
- Sommerfeld, A. (1923). *Atomic Structure and Spectral lines*. Translated from the third German edition by Henry L. Brose, New York: E. P. Dutton and Company Publishers.
- Toulmin, S. (2007). *Los usos de la argumentación*. Barcelona: Ediciones Península.
- Zeeman, Pieter (1897). "The Effect of Magnetisation on the Nature of Light Emitted by a Substance", *Nature* 1424, Vol. 55, 347. Translated by Arthur Stanton from the Proceedings of the Physical Society of Berlin.
- Wegener, A. L. (1966). *The Origin of Continents and Oceans*. New York: Dover.
- Weinberg, S. (2015). *Explicar el Mundo. El descubrimiento de la ciencia moderna*. Barcelona: Taurus Pensamiento.

**AGRADECIMIENTOS:** Grupo de investigación "Lenguaje, pensamiento y realidad", referencia 930174. Estoy muy agradecido a los doctores Juan Campos Quemada y Pablo Soler Ferrán por su lectura y comentarios a una versión previa de este trabajo.

**ANDRÉS RIVADULLA RODRÍGUEZ** es catedrático jubilado de Lógica y Filosofía de la Ciencia de la Universidad Complutense de Madrid. Su labor investigadora se ha centrado en la filosofía de la probabilidad y la inferencia estadística, la filosofía general de la ciencia, la historia y filosofía de la física y el debate epistemológico realismo/instrumentalismo. En sus libros, artículos y colaboraciones ha contribuido entre otros a temas de la filosofía actual de la ciencia como la probabilidad inductiva, la verosimilitud, la inconmensurabilidad, los modelos teóricos, la causalidad y la explicación teórica, el descubrimiento científico (abducción y producción), la incompatibilidad interteórica, el instrumentalismo científico.