

Reflexión y crítica

La teleología en física¹

Andrés Rivadulla

Resumen

Este artículo muestra la diversidad de formas que presenta el tema de la teleología en la ciencia contemporánea. Voy a analizar en primer lugar el papel de las explicaciones funcionales en biología, en particular si éstas establecen algún tipo de diferencia fundamental con las ciencias físicas. La física propiamente dicha muestra tres flancos que permiten estudiar la posibilidad de una orientación teleológica de la misma: el principio antrópico, el uso de principios extremos y el de principios de simetría. Ahora bien, como el asunto de la teleología no es ajeno al debate epistemológico en filosofía de la ciencia, estudio también el tema de la meta de la ciencia en el marco de la polémica realismo-antirrealismo. Finalmente, el desarrollo de modelos computacionales del descubrimiento en física marca un nuevo objetivo de la ciencia, la automatización del conocimiento científico.

Palabras clave: teleología, biología, física, filosofía de la ciencia, descubrimiento automático.

Key words: Teleology, Biology, Physics, Philosophy of Science, Automated Discovery.

Abstract

This paper shows the diversity of ways displayed by the issue of teleology in contemporary science. I am going to analyze in the first place the role played by functional explanations in biology, in particular the question whether these ones substantiate some fundamental difference with the physical sciences. Three theoretical principles invite to the study of teleology in physics: the anthropic principle, the use of extremal principles and the existence of symmetry principles. Moreover the issue of teleology is not foreign to the epistemological debate in the philosophy of science. Thus I address the question of the aim of science inside the framework of the realism-antirealism debate. Finally, the development of the computational models of scientific discovery in physics points to a new aim in science: automated scientific knowledge.

¹ Artículo realizado en el marco del Grupo Complutense de Investigación de *Filosofía del Lenguaje, de la Naturaleza y de la Ciencia*, Ref. 930174 y del proyecto FFI-2009-10240 sobre *Modelos Teóricos en Ciencia*, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Reino de España.

Introducción

El término *teleología* fue empleado por vez primera por Christian Wolff (1679-1754) en *Philosophia rationalis sive logica*, 1728, § 85, como aquella parte de la filosofía natural que explica los fines de las cosas, no sus causas. La teleología indica la dirección de un proceso hacia un fin. Cuando nuestra especie comenzó a filosofar, o sea, cuando se produjo el paso del Mito al Logos, se entendía que todo proceso natural estaba orientado hacia una meta. Así, para Aristóteles la teleología está implícita en la Naturaleza. La causa final es la causa del movimiento, y en la esencia o naturaleza de cada cosa está el «haber sido hecha para algo». Por ejemplo, las hojas de los árboles están para proteger los frutos. Y toda la Naturaleza es explicada en términos teleológicos, sin distinción entre física y biología. También para Tomás de Aquino la finalidad es la causa de la causalidad. Siguiendo a Aristóteles afirma que si se elimina esta causa primera, todas las demás causas (eficiente y formal) desaparecen.

Con Galileo Galilei y Francis Bacon las explicaciones teleológicas, aquéllas en las que la existencia del *explanandum* se justifica en vistas a la del *explanans*, dejan de tener importancia en ciencia, sustituidas por las explicaciones causales. La causalidad final cedió el paso a la causalidad eficiente. Bacon en *De augmentis scientiarum* afirmó la esterilidad de las causas finales. Y la contribución de Hume a la causalidad dejaría asentado que no se puede demostrar que las cosas se produzcan objetivamente según un fin o una meta. Y esto es asumido por Kant en su *Crítica del Juicio*. Para mayor abundamiento, la teoría de Darwin de la evolución de las especies por selección natural se desmarcaba de toda consideración teleológica, incluido el supuesto de un diseñador inteligente. No obstante el tema de la teleología siguió interesando a los filósofos y, aunque en la actualidad el análisis teleológico se centra en el estudio de las llamadas explicaciones funcionales, sigue estando presente en formas diferentes en los aledaños de la filosofía de la ciencia.

La teleología puede entenderse en un sentido pasivo: la Naturaleza, y tal vez la ciencia, tendrían fijadas intrínsecamente una serie de metas. La teleología en la Naturaleza a su vez habría que entenderla en un sentido fuerte como el efecto causal del futuro sobre el presente –algo así como que las berenjenas son ovaladas para poder ser cortadas a rodajas–, o como la orientación hacia unas metas u objetivos. En un sentido trivial de teleología, gran parte de los procesos naturales serían teleológicos, pues son del tipo medios-fines: ácidos

se unen con bases *a fin de* formar sales. Todas las leyes naturales serían teleológicas en este sentido.

Ni siquiera en términos de explicaciones *funcionales* parecería aceptable a los ojos de un físico expresar la Ley de Boyle-Mariotte: «A temperatura constante, el volumen de un gas varía inversamente con la presión a que está sometido», como «La *función* de la variación de la presión de un gas a temperatura constante es producir una variación inversa de su volumen», o incluso «Todo gas a temperatura constante, sometido a una variación de presión, altera su volumen *a fin de* mantener constante el producto de la presión por el volumen.» Como señala Nagel (1961: 401-402), sería una excentricidad que un físico afirmara que los átomos poseen una capa exterior de electrones *a fin de* facilitar el enlace químico de los átomos entre sí. Nagel (1961: 406) asevera que muchos físicos considerarían ridículas y confusas estas formulaciones. Su opinión (Nagel 1961, 402-403) es que «Teleological explanations are sometimes suspect in modern natural science because they are assumed to invoke purposes or ends-in-view as causal factors in natural processes. Purposes and deliberate goals admittedly play important roles in human activities, but there is no basis whatever for assuming them in the study of physicochemical and most biological phenomena».

La Sección 2. analiza el papel de las explicaciones funcionales en biología, en particular si éstas establecen algún tipo de diferencia fundamental con las ciencias físicas. En la Sección 3. se presentan tres circunstancias que pudieran sugerir una orientación teleología en física: el principio antrópico, el uso de principios extremos y el de principios de simetría. La Sección 4. centra el tema de la meta de la ciencia en el marco del debate realismo-antirrealismo. Y la Sección 5. señala un nuevo objetivo de la ciencia, propiciado por las investigaciones en torno al descubrimiento computacional de conocimiento científico.

Explicaciones funcionales

El análisis teleológico constituye uno de los grandes temas de los metodólogos de la ciencia de los años sesenta, entre los que destacan Carl Hempel y Ernest Nagel, quienes estudian minuciosamente todos sus aspectos. Hempel establece distintos tipos de explicaciones teleológicas –o sea, no causales, e. d., ajenas a las ciencias físicas–. La forma más extrema de explicación teleológica tendría que ver con la determinación del presente por el futuro.

Otra forma de explicación teleológica, e. d. no causal, podría ser en primera instancia la explicación del comportamiento intencional o motivado de un agente. La posición de Hempel (1965: 254) al respecto es que, aunque hagan referencia a metas, como los motivos y creencias forman parte de los antecedentes de una explicación, no hay diferencia formal entre explicaciones causales y motivadas, por lo que el uso del término «teleológico» en este contexto es inapropiado. O sea, que el término «teleológico» puede referirse también a las explicaciones causales de las acciones de agentes en las que las condiciones antecedentes son sus propios motivos.

Otro tipo de explicaciones teleológicas serían aquellas que se consideran propias de la biología. Aquí se supone también que la explicación de las características de un organismo debe hacer referencia a fines o propósitos. La diferencia con respecto a las explicaciones intencionadas o motivadas reside en que el organismo no persigue metas u objetivos. Pero si se supone que tales fines o propósitos son inherentes al diseño del mundo, entonces tales hipótesis teleológicas no serían empíricamente contrastables. (Hempel 1965: 255-256).

Lo que se impone en biología, psicología y ciencias sociales, según Hempel (1965:329-339) es el análisis funcional, cuya contribución principal no consiste en la afirmación general de que los rasgos de un organismo sirven a determinada función, afirmación que por su generalidad bien podría ser tautológica o empíricamente falsa. El análisis funcional debe ser concebido como un programa de investigación orientado a la determinación de en qué medida los sistemas son autorregulativos, formulando las relaciones funcionales en términos de hipótesis testables.

Más concreto es Nagel (1961:23-24) quien sostiene que en biología y ciencias humanas las explicaciones se refieren a las funciones que una unidad determinada cumple dentro del sistema al que pertenece o al papel instrumental que juega una acción en relación a un objetivo determinado. Tales explicaciones se denominan «funcionales» o «teleológicas». Así, muestran características de explicaciones funcionales tanto la insistencia de Cristóbal Colón ante los Reyes Católicos, explicable por su deseo de encontrar una ruta marítima más corta hacia la India, como la presencia de pulmones en mamíferos, explicable por la función bioquímica esencial que cumplen para la vida de los mismos. En el primer caso se trata de un agente consciente que persigue una meta para cuya consecución pone ciertos medios. En el segundo caso, la explicación funcional no depende de la existencia de ningún agente consciente. Por eso, añade Nagel

(1961: 24-25), ni las explicaciones teleológicas en biología muestran ningún signo de antropomorfismo, ni las explicaciones en ciencias humanas suponen una actuación causal del futuro sobre el presente. La conducta de Cristóbal Colón se explica por su deseo para preparar el futuro, no por una acción causal del futuro sobre ella.

Particularizado a la biología, el análisis teleológico, insiste Nagel (1961:401-402), concierne a las funciones de procesos vitales y órganos para el mantenimiento de actividades características de organismos vivos y los procesos dirigidos a la obtención de ciertos objetivos. Y en este sentido parecería haber en principio una clara diferencia entre biología y física, debido a que la ciencia moderna rechazaría como una forma de oscurantismo toda explicación teleológica basada en la idea de que las metas de una actividad son agentes dinámicos.

Ahora bien, si las explicaciones teleológicas sólo hacen referencia a las funciones asociadas a cosas o procesos —«teleological analyses in biology ... deal with the actual functions of definite components in concretely given living systems» (Nagel 1961:404)—, entonces no hay por qué suponer, ni siquiera en biología, propósitos, fines, objetivos o metas conscientes o implícitos. Por ello, aunque las explicaciones teleológicas o funcionales en biología se sirvan de expresiones tales como «la función de», «el propósito de», «en razón de», «a fin de», etc., es decir, expresiones que denotan un nexo medios-fines, tales enunciados pueden ser reformulados, concluye Nagel (1961: 402-403), sin pérdida de contenido, como proposiciones no teleológicas. Por ejemplo, se puede sustituir el enunciado que afirma que «la función de la clorofila en las plantas es la de capacitarlas para realizar la fotosíntesis» por este otro: «La presencia de clorofila es condición para que las plantas lleven a cabo la fotosíntesis». Como este enunciado no atribuye explícitamente ninguna función a la clorofila, no es propiamente teleológico (Nagel 1961: 404-405), aunque su contenido informativo sea el mismo que el teleológico o funcional. Si aceptamos que la diferencia entre explicaciones teleológicas y no teleológicas reside en el énfasis y la perspectiva de las formulaciones, entonces, sentencia Nagel (1961: 421-422), «the use of teleological explanations in the study of directionally organized systems is as congruent with the spirit of modern science as is the use of nonteleological ones», de forma que «the use of such explanations in biology is not a sufficient reason for maintaining that this discipline requires a radically distinctive logic of inquiry» (Nagel 1961: 428). Lo que parece cerrar el debate sobre teleología en ciencias de la Naturaleza.

¿Teleología en física?

Tal vez uno de los aspectos más llamativos sobre la posibilidad de la teleología en física es su presencia en cosmología a través del llamado *principio antrópico*. Sugerido inicialmente por el físico teórico Robert Dicke en 1961, para explicar que la edad actual del universo no puede ser casual, este «principio» cautivó, al menos en ciertos momentos, a mentes tan privilegiadas como Steven Weinberg, Stephen Hawking, Brandon Carter, John Barrow, Frank Tipler, Archibald Wheeler, etc. En aras de la brevedad me voy a limitar a añadir a los planteamientos críticos de George Gale (1982), José Manuel Alonso (1989), Brian Greene (2001), Jesús Mosterín (2005) y Lee Smolin (2007), entre muchos otros, los míos propios.

Lo primero que llama la atención en lo relativo al «principio antrópico» es la variedad de interpretaciones del mismo, según el autor que lo proponga, y también el hecho de que cada interpretación admita una versión débil y otra fuerte. Esto hace sospechar que tal idea difícilmente pueda ser aceptada como un principio genuinamente científico. No es posible, por ejemplo en física, que principios tales como el de conservación del momento, o de la momenergía, o el de relatividad, o del de equivalencia en relatividad general, admitan diferentes formulaciones según quién los formule, y mucho menos aún que para cada uno de ellos exista una versión débil y otra versión fuerte. Para mayor abundamiento, si hay versiones tautológicas del «principio antrópico», como muchas veces se critica, y otras que no lo son, parece difícil que estemos hablando del mismo principio.

Resumidamente diremos que Brandon Carter, en 1974, y John Barrow y Frank Tipler, conjuntamente, en 1986, propusieron formulaciones diferentes del «principio antrópico», cada una con sus correspondientes versiones débil y fuerte (PAD y PAF respectivamente en adelante), y que John Archibald Wheeler propuso la versión quizás mas teleológica del mismo en 1977:

1. El PAD de Carter afirma: «our location in the universe is necessarily privileged to the extent of being compatible with our existence as observers.»
2. El PAF de Carter asevera: «The Universe (and hence the fundamental parameters on which it depends) must be such as to admit the creation of observers within it at some stage.»
3. El PAD de Barrow-Tipler enuncia que «The observed values of all physical and cosmological quantities are not equally proba-

ble but they take on values restricted by the requirement that there exist sites where carbon-based life can evolve and by the requirements that the universe be old enough for it to have already done so.»

4. El PAF de Barrow-Tipler dice que «The universe must have those properties which allow life to develop within it at some stage in its history.»

Desde mi punto de vista 1. es, según se mire, un completo truísmo o es falso. La condición de observadores privilegiados no tiene por qué producirse necesariamente en el presente. Empezando por el hecho de que la mayor parte de los animales desarrollados, sean mamíferos, aves, reptiles o peces, son observadores. Por lo que respecta a los mamíferos esta situación comenzó a gestarse hace unos 60 millones de años. Pero como la evolución no está programada, si no hubieran existido los dinosaurios, los mamíferos podrían haber evolucionado hace cientos de millones de años. Y si los dinosaurios no hubieran desaparecido, los mamíferos probablemente no se hubieran desarrollado hasta su fase actual de «observadores». O sea que nuestra localización en el mundo pudo llegar a ser 'privilegiada' o no serlo. Y a no ser que creamos en un diseño inteligente que haya incluso previsto la colisión de un meteorito devastador sobre Yucatán hace 60 millones de años, todo el proceso evolutivo es aleatorio.

Por su parte 2. plantea la pregunta de si no es imaginable que alguna de las extinciones, que en épocas anteriores vaciaron la Tierra, hubiera podido ser la última, de forma que no hubiera habido ya más ocasión de desarrollarse observadores. 2. parece incontrastable empíricamente.

Por lo que a 3. respecta, se podría interpretar que pretende explicar el significado de «privilegiado» en 1. Ahora bien, 3. es claramente tautológico. Parece que afirma algo como lo siguiente: si no fuera así, o si no hubiera sido así, no sería, o no habría sido, como es. Y 4. no es sino una versión de 2.

Finalmente el Principio Antrópico Participativo (PAP) de Wheeler: «Observers are necessary to bring the Universe into being.» Parece una consecuencia exagerada de la mecánica cuántica ortodoxa. No valdría desde luego en el caso de la mecánica bohmiana, donde los objetos poseen al menos, independientemente de la observación, posiciones determinadas. En todo caso, tampoco parece que valiera si no hubiera habido observadores en general, o si los hubiera habido, pero sin la capacidad para desarrollar ciencia. Pensemos por

ejemplo qué hubiera pasado si la última rama de homínidos hubiera sido *neanderthalensis*, quienes no hubieran llegado a desarrollar mecánica cuántica antes de extinguirse. Parece que PAP carece de validez universal, y sólo sería aceptable *ex post facto*. Vale tanto como decir que las bicicletas son necesarias para explicar el desarrollo de la bipedestación.

Nagel sostiene, sin embargo, que no sería del todo preciso mantener que la física no emplea nunca formulaciones que al menos *parecen* teleológicas. Por ejemplo el uso de «principios extremos» que afirman que determinados sistemas tienden a minimizar o maximizar ciertas magnitudes podría ser interpretado como que en la Naturaleza existen metas, quizás incluso previstas por un diseñador inteligente. Ahora bien, señala Nagel (1961:407-408): «with rare exceptions, physicists today do not accept the earlier claim that extremal principles entail the assumption of a plan or purpose animating physical processes». O como precisa más adelante: «It is true that a physical system develops in such a way as to minimize or maximize a certain magnitude which represents a property of the system as a whole. But physical systems are not organized to maintain, in the face of considerable alterations in their environment, some *particular* extremal values of such magnitudes, or to develop under widely varying conditions in the direction of realizing some particular values of such magnitudes» (408-409).

El famoso matemático francés Pierre Fermat (1601-1665) había enunciado el Principio del Mínimo Camino Óptico como «la luz va desde un punto a otro por el camino por el que tarda menos tiempo, incluso si sufre reflexiones y refracciones» (Cf. Fernández Rañada 1994: 94). Este principio sirvió de inspiración en 1744 al también francés Pierre Louis de Maupertuis (1698-1759), que lo aplicó a la mecánica y lo denominó Principio de la Mínima Cantidad de Acción. Citado por Fernández Rañada (1994:96): «Cuando hay cualquier cambio en la Naturaleza, la cantidad de acción necesaria para ese cambio es la más pequeña posible». Posteriores precisiones de este principio se debieron a Leonhard Euler (1707-1783), Joseph Louis de Lagrange (1736-1813) y William Rowan Hamilton (1805-1865), quien le dio la forma definitiva de Principio de Acción Estacionaria. Entendida la acción como el producto de la masa, la velocidad y la distancia recorrida por un sistema mecánico, una acción se expresa también como el producto de energía por tiempo. En la formulación moderna este principio afirma que es estacionaria la integral de la función de Lagrange —la diferencia entre las energías cinética y po-

tencial de un sistema mecánico— definida entre dos instantes de tiempo en los que el sistema ocupa posiciones diferentes. Así, por ejemplo, en el caso de caída libre de un cuerpo de masa m en un campo gravitacional homogéneo, la integral de acción definida entre 0 y t toma el valor mínimo posible., donde g es la intensidad del campo y t el tiempo de caída (cf. Fernández Rañada 1994: 83).

Aunque Maupertuis interpretara teleológicamente su principio como un ejemplo de que «la Naturaleza, en la producción de sus efectos, actúa siempre por los medios más simples» (Cfr. Fernández Rañada 1994: 96), el principio de mínima acción, o de acción estacionaria, no se distingue ni ontológica ni epistémicamente de otros principios de la física, como por ejemplo el segundo principio de la termodinámica, el de inercia, el de conservación de la carga eléctrica, o el de indeterminación. Por no hablar de la invariancia de las constantes de la Naturaleza, sea la de gravitación universal, la de Planck o la de la velocidad de la luz en el vacío. Dicho de otro modo: en la Naturaleza no sólo reina el caos, donde lo hay; también hay regularidades que las leyes de la ciencia intentan modelizar, así como constancia de determinadas magnitudes. Y no hay razón para pensar que ella privilegia algunos principios o leyes sobre los demás.

También los llamados principios o leyes de simetría o invariancia de la física merecen una reflexión, pues su existencia podría sugerir la impronta de un diseño inteligente en la Naturaleza, ya que estos principios dan una condición necesaria que tienen que satisfacer todas las ecuaciones fundamentales de la física. La relación entre tales principios de invariancia o simetría y las leyes de la Naturaleza consiste en que su función es «proporcionar una estructura o coherencia a las leyes de la Naturaleza, al igual que las leyes de la Naturaleza proporcionan estructura y coherencia al conjunto de eventos» (Wigner 1995:300). Sirven como guías para la formulación y test de leyes nuevas de la Naturaleza (315). O sea: «dan una estructura a la leyes de la Naturaleza, se puede esperar que actúen como guías también en el futuro y para ayudarnos a refinar y unificar nuestro conocimiento del mundo inanimado» (319).

Hay dos tipos de leyes de invariancia: los principios de invariancia o simetría *clásicos*, también llamados *geométricos*, de la mecánica newtoniana y de la teoría especial de la relatividad (Wigner 1995: 328), y los principios *dinámicos* de invariancia, que, afirma Wigner (300-301), se basan en la existencia de tipos de interacciones específicas, como por ejemplo la invariancia gauge de la interacción elec-

tromagnética, y no son válidos para todas las leyes de la Naturaleza. A estas invariancias «nuevas», confiesa Wigner (315-316), que incluyen la invariancia gauge electromagnética, la Ne'eman-Gell-Mann octava forma, y muchas otras, hubiera sido preferible no llamarlas invariancias. Son invariancias para interacciones específicas como la gravitacional, débil, electromagnética, y, posiblemente, dos tipos de interacciones fuertes, y «cada una de ellas es invariante bajo un grupo específico. El grupo SU_3 para la interacción fuerte, el grupo gauge para la electromagnética, el de expresión $V A$ para la interacción débil, y el grupo general de transformaciones de coordenadas para la interacción gravitacional».

Por el contrario, los principios de invariancia de la teoría especial de la relatividad se basan en la experiencia y de ellos se derivan las leyes de la Naturaleza. Por ejemplo, señala Wigner (330): la derivación de las leyes de conservación de los momentos lineal y angular, y de la energía y del movimiento del centro de masas, sobre la base del Lagrangiano de la mecánica clásica o del espacio de Hilbert de la mecánica cuántica, son consecuencia de estas simetrías.

El principio de invariancia o simetría de la teoría especial de la relatividad de Einstein afirma que todas las leyes de la física son las mismas en cualquier sistema o marco de referencia inercial, es decir, que tanto la forma matemática de las leyes de la física como los valores numéricos de las constantes físicas que contienen las leyes son invariantes. Lo que equivale a decir que los marcos de referencia inerciales son equivalentes. En teoría general de la relatividad este principio toma la forma de Principio de Equivalencia: un objeto dentro de un habitáculo que está siendo acelerado por un campo gravitatorio, o sea, un objeto en caída libre, no siente el efecto del campo. El Principio de Equivalencia afirma que las leyes de la física son las mismas en todos los marcos de referencia acelerados.

La identidad de las leyes físicas es compatible con la existencia de valores diferentes de magnitudes físicas en marcos de referencia inerciales. Así por ejemplo aunque las leyes de las fuerzas sean las mismas no lo son los valores medidos de las fuerzas. Cuando se trata de magnitudes que no son invariantes, las Transformaciones de Lorentz relacionan las coordenadas de tales magnitudes. No obstante hay magnitudes que sí son invariantes, se denominan invariantes relativistas, y su valor es independiente del sistema o marco de referencia en que se miden, p. e.: la velocidad de la luz, los intervalos del espacio-tiempo, el valor de la masa en un sistema aislado, y la carga eléctrica, entre otros. Si bien en el último caso, la ley de con-

servación de la carga —que se manifiesta en el hecho de que no es posible crear o destruir cargas, por lo que la suma de las cargas de los productos de una reacción tiene que ser la misma que la suma de las cargas de las partículas que reaccionan— es una consecuencia de invariancia gauge. (Wigner 1995: 300-301)

En ningún caso parece haber nada misterioso en el hecho de que observadores inerciales diferentes postulen la misma forma para las leyes de la física. Por otra parte, los principios *dinámicos* de simetría están propuestos para interacciones específicas y no son válidos para todas las leyes de la Naturaleza. A veces hasta es necesario que algunas de estas simetrías se rompan. Una de estas rupturas, asociada con el bosón de Higgs propició el origen de la materia, y por ende, de la vida.

La meta de la ciencia y la epistemología

La filosofía de la ciencia es el campo donde el tema de la teleología en ciencia se ha discutido más ampliamente, en concreto si la ciencia está orientada hacia una meta. Ya en su *Lógica de la Investigación Científica* (LIC) Karl Popper (§ 4) destaca que la finalidad de la ciencia no consiste en el establecimiento de «un sistema de enunciados absolutamente ciertos, irrevocablemente verdaderos». Y en su nota *8 de LIC, § 83, asevera que lo que los científicos quieren es explicar el mundo: «su meta es encontrar teorías explicativas satisfactorias (bien contrastables, esto es, sencillas) y contrastarlas».

Las siguientes citas de Popper de LIC, § 85, dejan bien a las claras cuál es su concepción acerca de la meta de la ciencia:

- «El antiguo ideal científico de la *episteme* —de un conocimiento absolutamente seguro y demostrable— ha mostrado ser un ídolo. La petición de objetividad científica hace inevitable que todo enunciado científico sea *provisional para siempre*: sin duda, cabe corroborarlo, pero toda corroboración es relativa a otros enunciados que son, a su vez, provisionales».
- «lo que hace al hombre de ciencia no es su *posesión* del conocimiento, de la verdad irrefutable, sino su *indagación* de la verdad persistente y temerariamente crítica».
- «La ciencia nunca persigue la meta ilusoria de que sus respuestas sean definitivas, ni siquiera probables; antes bien, su avance se encamina hacia una finalidad infinita —y, sin embargo,

alcanzable: la de descubrir incesantemente problemas nuevos, más profundos y más generales, y de someter nuestras respuestas (siempre provisionales) a contrastaciones constantemente renovadas y cada vez más rigurosas».

Por su parte en 1983, § 15: «The Aim of Science», reimpresa como Capítulo 5 en *Objective Knowledge*, 1972, Popper relaciona teleología con epistemología, la meta de la ciencia con el realismo científico: «I will now offer some positive arguments for realism ... The positive arguments I have in mind rest on the relation between realism and the aim of science» (p. 131). Más ampliamente: «The task of science, which, I have suggested, is to find satisfactory explanations, can hardly be understood if we are not realists. ... once we have been told that the aim of science is to explain, and that the most satisfactory explanation will be the one that is most testable and most severely tested, we know all that we need to know as methodologists» (Popper 1983: 145).

Popper (1983: Introduction 1982, p. xxv) se muestra optimista sobre que la mayoría de los científicos «share my realist view of the world and also understand the aims of science as I do: to achieve better and better explanations». Y en la p. xxxvi insiste de nuevo en su «theory of the aims of science»: «the theory that science aims at truth *and* the solving of problems of explanation, that is, at theories of greater explanatory power, greater content, and greater testability». Teleología, epistemología y metodología se relacionan pues estrechamente en la popperiana filosofía de la ciencia.

En un planteamiento opuesto, Thomas Kuhn se manifiesta claramente en contra de la orientación de la ciencia hacia la verdad: «es preciso que exista esa meta? —se pregunta Kuhn (1962: 263)— (...) Si podemos aprender a sustituir la-evolución-hacia-lo-que-deseamos-conocer por la-evolución-a-partir-de-lo-que-conocemos, muchos problemas difíciles desaparecerán en el proceso». Kuhn (1962: 265-266) coincide con Popper en una concepción evolucionista de la epistemología, pero, eso sí, sin meta final: «El proceso descrito como la resolución de las revoluciones... constituye, dentro de la comunidad científica, la selección, a través de la pugna, del mejor camino para la práctica de la ciencia futura. El resultado neto de una secuencia de tales selecciones revolucionarias, separado por periodos de investigación normal, es el conjunto... que denominamos conocimiento científico moderno. ... Y todo el proceso pudo tener lugar, como suponemos actualmente que ocurrió la evolución biológica, sin el be-

neficio de una meta establecida, de una verdad fija y permanente, de la que cada etapa del desarrollo de los conocimientos científicos fuera un mejor ejemplo». La meta de la ciencia se reduce pues para Kuhn a objetivos prácticos tales como salir de situaciones de estancamiento, esto es, capacidad para resolver problemas.

También éste es el punto de vista de Larry Laudan (1998: 36-37), quien no obstante coincide con Popper en la idea de la retención del éxito: «La ciencia puede o no buscar la verdad; ... lo importante es que la verdad, ..., es sólo uno de entre los varios valores que los científicos buscan fomentar. Tampoco es *primus inter pares* de estos valores cognoscitivos. La retención del éxito del predecesor es, ..., por lo menos tan importante como el hecho de que la teoría apruebe los exámenes específicos que podamos imaginar acerca de su verdad. En consecuencia, la idea de que el núcleo de la actividad racional de la ciencia pueda subsumirse en, o ser reducida a, la rúbrica axiológica, “los científicos se proponen descubrir teorías verdaderas”, simplemente no resulta adecuada». La máxima aspiración de la ciencia para Laudan es la de salvar los fenómenos por medio de teorías capaces de retener el éxito de sus predecesoras, o sea, teorías eficaces en la resolución de problemas.

En el Prólogo a la edición española Laudan (1986: 11) ya expresaba este punto de vista: «Mi propuesta ... es que el objetivo de la ciencia consiste en obtener teorías con una elevada efectividad en la resolución de problemas. Desde esta perspectiva, la ciencia progresa sólo si las teorías sucesivas resuelven más problemas que sus predecesoras». Idea en la que insiste más adelante (p. 19): «Una teoría es más adecuada (esto es, más aceptable) que una teoría rival sólo si la primera ha mostrado una mayor eficacia en la resolución de problemas que la segunda» (Idénticamente se expresa en Laudan (1996:78 y 84).

La elección racional de teorías no depende para nada de su verdad, de su verosimilitud, o de su probabilidad, objetivos utópicos, pues nunca será posible saber si han sido logrados. Así Laudan (1986:164-166): «nadie ha sido capaz de demostrar que se pueda garantizar que un sistema como la ciencia, con los métodos a su disposición, pueda alcanzar la “Verdad”, ya sea a corto o a largo plazo. *Si la racionalidad consiste en creer sólo lo que razonablemente podemos presumir que es cierto, y si definimos la “verdad” en sentido clásico y no pragmático, entonces la ciencia es (y así seguirá siendo siempre) irracional.* Percibiendo este dilema, algunos filósofos (de modo notable Peirce, Popper y Reichenbach) han buscado ligar la racionalidad científica y la verdad de un modo diferente, sugiriendo

que, aunque nuestras teorías actuales no son ni verdaderas ni probables, son *mayores aproximaciones a la verdad* que sus predecesoras. Una perspectiva tal ofrece, sin embargo, poco consuelo, puesto que nadie ha sido siquiera capaz de decir qué significaría estar “más cerca de la verdad”, por no hablar de ofrecer criterios para determinar cómo podríamos evaluar esa proximidad. Así pues, si el progreso científico consiste en una serie de teorías que representan una aproximación siempre mayor a la verdad, no se puede entonces mostrar que la ciencia es progresiva. Si, por otra parte, ... adoptamos la perspectiva de que la ciencia es un sistema de investigación para la solución de problemas, y de que el progreso científico consiste en la solución de un número creciente de problemas importantes, si aceptamos la propuesta de que la racionalidad consiste en hacer elecciones que aumentarán al máximo el progreso de la ciencia, puede que podamos entonces mostrar si la ciencia en general, y las ciencias específicas en particular, constituyen un sistema racional y progresivo, y, si es así, en qué medida».

Tampoco para Bastiaan van Fraassen la meta de la ciencia es la verdad, sino la *adecuabilidad empírica*. Así lo manifiesta en (1980:12): «*Science aims to give us theories which are empirically adequate; and acceptance of a theory involves as belief only that it is empirically adequate. This is the statement of the anti-realist position I advocate; I shall call it constructive empiricism.*» (p. 12). Donde «a theory is empirically adequate exactly if what it says about the *observable* things and events in this world is true –exactly if it “saves the phenomena”». Esto es, si describe correctamente lo observable (p. 4). Su empirismo constructivo manifiesta un compromiso exclusivo con lo observable: «I use the adjective “constructive” to indicate my view that scientific activity is one of construction rather than discovery: construction of models that must be adequate to the phenomena, and not discovery of truth concerning the unobservable» (p. 5). Un compromiso que supone, pues, la renuncia a la verdad como meta de la ciencia: «empirical adequacy does not require truth; in my view, science aims only at empirical adequacy and anything beyond that is not relevant to its success» (197-198).

Ajenos a estos planteamientos, los realistas científicos contemporáneos mantienen sus posiciones típicas sobre las metas de la ciencia. Así, Jarret Leplin (1984: tesis 10), sostiene frente a Van Fraassen que «Science aims at a literally true account of the physical world, and its success is to be reckoned by its progress toward achieving

this aim». Por su parte Philip Kitcher (2001: 135-136) mantiene que «La meta epistémica pura más obvia es la verdad». Si bien lo que queremos es la verdad *significativa*. En este aspecto coincide también con Popper, para quien no cualquier verdad es la meta, sino verdades interesantes. Lawrence Sklar (2000: 87) admite también: «I believe, the naive idea of truth as the aim, or at least one of the aims, of scientific theorizing is the correct idea, and I think that we can say a good deal more about how this idea of aiming at the truth plays out in our scientific method. In particular we can, I think, say much more about how we may try to reconcile the claims that our ideal cognitive attitude toward a theory would be to believe it, that is, to believe it to be true, with our fallibilist conviction that none of our best available theories have been or are worthy of such epistemic esteem». Y Stathis Psillos (2009:5-6) confiesa: «Here the cue is taken from Karl Popper's (1982). Take realism to be a thesis about the aim of science (truth), leaving entirely open the issue of whether this aim is (or can ever be) achieved. Implicit in this strand is that truth is understood realist-style (in the sense of correspondence with the world) in order not to compromise modesty as well. ... Musgrave (1996, 23) agrees with Popper that realism is primarily an *axiological thesis*: science aims for true theories».

En dos ocasiones he argumentado contra la concepción realista de la ciencia. En Rivadulla (2004) contra el realismo científico típico. En (2010a) contra el realismo estructural. Aunque en este segundo trabajo trato de confirmar la muerte anunciada del realismo científico, no pretendo haber contribuido a la conclusión definitiva de una disputa epistemológica más que bimilenaria.

Resolución de problemas y descubrimiento automático

Aunque el desinterés por el contexto del descubrimiento científico era palpable en la filosofía académica de la ciencia desde los tiempos de Popper y Reichenbach (Cfr. Rivadulla (2008: 118-125), entre notables excepciones destaca Herbert Simon, quien en Simon *et al.* (1962), postula que el descubrimiento puede ser modelado por medio de procesos de solución de problemas. La hipótesis de trabajo de Simon (1962:145-146) es que «creative thinking is simply a special kind of problem solving behavior». O sea: «scientific discovery is a form of problem solving, and that the processes whereby science is carried on can be explained in the terms that have been used to

explain the processes of problem solving». En particular, insiste Simon (1995: 197), «discovery emerges as a gradual, cumulative problem-solving process of searching large problem spaces for incompletely defined goal objects (e.g., “a function that will fit the data”, “interesting concepts”)». La variedad de actividades que Simon (1992:8) incluye bajo el rótulo de «resolución de problemas» es: «Scientists discover and define problems, they find appropriate representations for problems, they design experimental procedures and strategies, and plan and execute experiments, they obtain data by observation, they formulate laws and theories to account for data, using mathematical and other forms of reasoning, they deduce consequences from their theories, they invent instruments for making observations, and they devise explanatory theories to give deeper accounts of descriptive laws. ... My claim is that all of these are problem solving activities».

Lo más interesante es que para Simon *et al.* (1962:146) la resolución de problemas se vincula con la existencia de programas informáticos: «the theory of problem solving we are putting forth derives from mechanisms that solve problems in the same manner as humans ... The only available technique for constructing problem solvers is to write programs for digital computers; no other physical mechanisms are complex enough». Los programas diseñados para computadores digitales, insisten Simon *et al.* (1962:172 y 145), simulan el comportamiento humano en la resolución de problemas. Ahora bien, Simon (1966:15-16) reconoce que «human problem solvers and the computer programs that simulate them do not search for the “best” solution, but for a solution that is “good enough” by some criterion. Heuristics that proceed on this basis are sometimes called “satisficing” heuristics». La razón es que «Thinking is activity directed towards goals, and ... involves considerations of whether a proposed solution is the best, or is good enough, in terms of a criterion» (Simon 1966:16-17) .

Ahora bien, si la meta de la ciencia es la resolución de problemas, no nos extraña que para Simon (1995: 175) esta meta se separe tajantemente de una concepción realista de la ciencia: «Nor is exact truth the realistic goal of discovery. ... The task of discovery is to create theories that explain the data “well enough”, with the hope that tomorrow they can be explained better. ... A theory of discovery that relinquishes unattainable guarantees of success or convergence becomes a special case of the theory of problem solving by heuristic search. ... an empirical theory of discovery is a theory of

how novel and valuable (or interesting) problem solutions are in fact found».

La implementación de métodos de IA para el descubrimiento científico permite la automatización de inferencias inductivas y abductivas. En los últimos cuarenta años los investigadores en aprendizaje automático han desarrollado sistemas computacionales capaces tanto de redescubrir muchas leyes empíricas de la física y la química, como de posibilitar el descubrimiento de ecuaciones en bases de datos. Los científicos computacionales Paul Thagard, Herbert Simon, Pat Langley, Jeff Shrager, Bernd Hordhausen, Brian Falkenhainer, Jan Zytkow, Raúl Valdés Pérez y muchos otros, han generado grandes expectativas en la automatización de sistemas inductivos y abductivos de descubrimiento científico. Muchos sistemas como BACON, DENDRAL, FAHRENHEIT, IDS, LAGRANGE, PI, etc., han sido aplicados con éxito.

Ahora bien, el descubrimiento científico no se agota con la implementación en metodología de la ciencia y en ciencia computacional de inferencias ampliativas como inducción y abducción. También el razonamiento deductivo puede ser puesto a su servicio. En efecto, con harta frecuencia la anticipación de propuestas nuevas (hipótesis, leyes, modelos teóricos) en física teórica procede *more* interteórico o transversal teórico. Este modo deductivo de descubrimiento (y/o explicación) se denomina *producción teórica* o simplemente *producción* (Cfr. Rivadulla 2010b: 272-275), y consiste en anticipar propuestas nuevas a partir de la combinación matemática, compatible con el análisis dimensional, de resultados aceptados de disciplinas o teorías diferentes de la totalidad de la física.

Pues bien, la existencia desde los años setenta del siglo pasado de métodos computacionales para la automatización de descubrimientos científicos sugiere también la hipótesis de la *producción computacional*. Ésta supone asumir la automatización de mecanismos de producción, que facilitarían la anticipación de resultados nuevos en física teórica. Una nueva meta de la ciencia se abre camino decididamente: el desarrollo de procedimientos computacionales al servicio de la creatividad científica.

En todo caso, el sueño del descubrimiento científico computacional es el robot científico. La idea de un robot descubridor capaz de crear autónomamente conocimiento científico es el objetivo final de la teoría de la automatización del descubrimiento.

Conclusión

He intentado mostrar que el tema de la teleología en física es poliédrico. En primer lugar he apuntado a la cuestión de si las explicaciones teleológicas o funcionales en biología propician un enfoque metodológico diferenciado entre biología y física. Respondida negativamente esta cuestión, he analizado cada uno de los tres flancos que supuestamente ofrece la física a una injerencia de la orientación teleológica. Mi respuesta ha sido que ni el denominado «principio antrópico», ni el uso de principios extremos ni de principios de simetría justifican que la física teórica sea proclive a análisis teleológicos. Por otra parte, un estudio sobre la teleología en ciencia no podía descuidar la presentación de los argumentos en pro y en contra de la existencia de metas generales en ciencia, condicionadas por marcos epistemológicos. Así, un aspecto del debate realismo-antirrealismo es el de los objetivos de la ciencia: la verdad, la verosimilitud o simplemente la resolución de problemas. Pues bien, la creencia de que la meta de la ciencia es la resolución de problemas subyace a la teoría del descubrimiento científico computacional, que establece como meta de la ciencia el desarrollo de modelos computacionales puestos al servicio de la creatividad científica.

Bibliografía

ALONSO, José Manuel: *Introducción al Principio Antrópico*. Encuentro, Madrid, 1989.

FERNÁNDEZ RAÑADA, Antonio: *Dinámica Clásica*. Alianza, Madrid, 1994.

GALE, George: «El Principio Antrópico», en *Investigación y Ciencia* 65 (1982), pp. 94-103.

GREENE, Brian: *El Universo Elegante*. Crítica, Barcelona, 2001.

HEMPEL, Carl Gustav: *Aspects of Scientific Explanation. And other essays in the philosophy of science*. The Free Press, Nueva York, 1965.

KITCHER, Philip: *El avance de la ciencia*. UNAM, México, 2001.

KUHN, Thomas: *La estructura de las revoluciones científicas*. F.C.E., México, 1962.

LAUDAN, Larry: *El progreso y sus problemas. Hacia una teoría del crecimiento científico*. Encuentro, Madrid, 1986.

LAUDAN, Larry: «Epistemología, realismo y evaluación racional de teorías», en VELASCO GÓMEZ, Ambrosio (coord.): *Progreso, pluralismo*

y racionalidad en ciencia. *Homenaje a Larry Laudan*. UNAM, México, 1998.

LAUDAN, Larry: *Beyond Positivism and Relativism. Theory, method and evidence*. Westview Press, Oxford, 1996.

LEPLIN, Jarret: «Introduction», en LEPLIN, Jarret (ed): *Scientific Realism*. University of California Press, Berkeley, 1984.

MOSTERÍN, Jesús: «Anthropic Explanations in Cosmology», en HÁJEK, P., VALDÉS, L., WESTERSTHAL, D. (eds.): *Logic, Methodology and Philosophy of Science*. College's Publications, Londres, 2005, pp. 441-471.

NAGEL, Ernest: *The Structure of Science. Problems in the Logic of Scientific Explanation*. Routledge & Kegan Paul, Londres, 1961.

POPPER, Karl: *La Lógica de la Investigación Científica*. Tecnos, Madrid, 1935.

POPPER, Karl: *Realism and the Aim of Science*. Hutchinson, Londres, 1983.

PSILLOS, Stathis: *Knowing the Structure of Nature. Essays on Realism and Explanation*. Palgrave Macmillan, Houndmills, 2009.

RIVADULLA, Andrés: *Éxito, Razón y Cambio en Física. Un enfoque instrumental en teoría de la ciencia*. Trotta, Madrid, 2004.

RIVADULLA, Andrés: «Discovery Practices in Natural Sciences, From Analogy to Preduction», en *Revista de Filosofía* vol. 33, 1 (2008), pp.117-137.

RIVADULLA, Andrés: «Two Dogmas of Structural Realism. A Confirmation of a Philosophical Death Foretold», en *Crítica* vol. 24, nº 124 (2010a), pp. 3-29.

RIVADULLA, Andrés: «Complementary Strategies in Scientific Discovery, Abduction and Preduction», en BERGMAN, M., PAAVOLA, S., PIETARINEN, A.-V., & RYDENFELT, H. (eds.): *Ideas in Action. Proceedings of the Applying Peirce Conference*. Nordic Studies in Pragmatism 1. Nordic Pragmatism Network, Helsinki, 2010b, pp. 241-253.

SIMON, Herbert *et al.*: «The Process of Creative Thinking» 1962, en SIMON, Herbert: *Models of Thought*. Yale University Press, New Haven y Londres, 1979s.

SIMON, Herbert: «Thinking by Computers», en COLODNY, Robert G. (ed.): *Mind and Cosmos. Essays in Contemporary Science and Philosophy*. University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, 1966.

SIMON, Herbert: «Scientific Discovery as Problem Solving», en *International Studies in the Philosophy of Science* 6, nº 1 (1992), pp. 3-14.

SIMON, Herbert: «Machine Discovery», en *Foundations of Science* 2 (1995), pp. 171-200. Reimpreso en ZYTKOW, Jan (ed.): *Machine Discovery*. Kluwer Academic Press, Dordrecht, 1997.

SKLAR, Lawrence: *Theory and Truth. Philosophical Critique within Foundational Science*. Oxford University Press, Oxford, 2000.

SMOLIN, Lee: *The Trouble with Physics. The Rise of String Theory, The Fall of a Science, and What Comes Next*. Houghton Mifflin Co., Boston, 2007.

VAN FRAASSEN, Bas: *The Scientific Image*. Clarendon Press, Oxford, 1980.

WIGNER, Eugene Paul: *Philosophical Reflections and Syntheses*. Springer, Berlín, 1995.

Solicitado el 10 de diciembre de 2010

Aprobado el 12 de noviembre de 2011

Andrés Rivadulla
Universidad Complutense de Madrid
arivadulla@filos.ucm.es

Filosofía Contemporánea y Cristianismo: Dios, hombre, praxis

¿Cuáles han sido las contribuciones contemporáneas de la filosofía al cristianismo y del cristianismo a la filosofía? ¿Tiene aún un papel que jugar la sabiduría cristiana en el mundo actual? ¿Cómo desmontar el prejuicio de la incompatibilidad de la filosofía contemporánea con el cristianismo? ¿Es posible y deseable una mutua fecundación o colaboración de ambos?

Autores: Andrés Torres Queiruga, Raúl Gabás, Jacinto Choza, Carlos García Andrade, José Antonio Zamora, Esperanza Bautista Parejo, José María Mardones, Sonia Arribas, Ignacio Quintanilla Navarro, Teófilo González Vila, Augusto Hortal Alonso, Adela Cortina, Ramiro Flórez y otros.

Al reflexionar sobre la relación contemporánea de filosofía y cristianismo, que ha sido conflictiva y tormentosa, los autores de este libro ofrecen propuestas sobre lo que podemos hacer hoy en ese campo a la altura de nuestro tiempo.

Edita: Diálogo Filosófico, Colmenar Viejo (Madrid). 1998. 320 pp. 19,23 euros. 25 % de descuento para los suscriptores de Diálogo Filosófico.

Pedidos: Diálogo Filosófico. Apdo 121. 28770 Colmenar Viejo. Teléfono: 610 70 74 73; Fax: 91 846 29 73. E-Mail: dialfilo@ctv.es