

¿POR QUÉ ES LA CIENCIA MODERNA TECNOLÓGICAMENTE EXPLOTABLE?

WHY IS MODERN SCIENCE TECHNOLOGICALLY EXPLOITABLE?

Paul Hoyningen-Huene*

Resumen

Este artículo aborda la siguiente pregunta: ¿qué características de la ciencia natural moderna son responsables del hecho de que, de todas las formas de ciencia, esta forma en particular sea tecnológicamente explotable? Tres nociones: concepto de naturaleza, ideal epistémico y experimento, sugieren los componentes más importantes de mi respuesta. Argumentaré, primero, que solo la peculiar interacción del concepto moderno de naturaleza con un ideal epistémico acorde con él puede darle al experimento el rol altamente central y específico y que desempeña en la búsqueda del conocimiento acerca de la naturaleza. Quedará entonces claro que el tipo de ciencia en el que los experimentos desempeñan un rol de esta manera, necesariamente, será tecnológicamente explotable.

Palabras clave: experimento, ley natural, ideal epistémico, confirmación, Aristóteles, ciencia natural moderna.

Abstract

This paper deals with the following questions: What features of modern natural science are responsible for the fact that, of all forms of science, this form is technologically exploitable? The three notions: concept of nature, epistemic ideal, and experiment, suggest the most important components of my answer. I will argue, first, that only the peculiar interplay of the modern concept of

* Leibniz Universität Hannover, Institut für Philosophie. E-Mail: hoyningen@ww.uni-hannover.de

nature with an epistemic ideal attuned to it can cast experiment in the specific, highly central role it plays in the pursuit of knowledge about nature. It will then become clear that the form of science in which experiment plays such a role will, necessarily, prove technologically exploitable.

Keywords: experiment, natural law, epistemic ideal, confirmation, Aristotle, modern natural science.

Recibido: octubre 2018

Aceptado: noviembre 2018

I. Introducción

La pregunta que este ensayo intenta responder es la siguiente: ¿qué características de la ciencia natural moderna son responsables del hecho de que, de todas las formas de ciencia, esta forma particular sea tecnológicamente explotable? Tres conceptos jugarán un papel preeminente en mi respuesta: el concepto de naturaleza, el ideal epistémico y el experimento. Estos conceptos denotan los componentes más importantes de mi respuesta. Argumentaré, primero, que solo la peculiar interacción del concepto *moderno* de naturaleza con un ideal epistémico acorde con él puede dar al experimento el papel central y específico que desempeña en la búsqueda del conocimiento sobre la naturaleza. Entonces quedará claro que el tipo de ciencia en la que el experimento desempeña un rol de esta manera, es decir, la ciencia moderna, se demostrará, necesariamente, tecnológicamente explotable.

Para enfocar la atención en la especificidad del concepto *moderno* de naturaleza, comienzo en la sección 2 con la exposición de un concepto antiguo de naturaleza, a saber, el de la ciencia aristotélica. El contraste entre el concepto más antiguo y el más nuevo de naturaleza mostrará ser altamente iluminador. Continúo, en la sección 3, con una discusión del concepto moderno, en la que se harán evidentes las continuidades y las discontinuidades con el concepto aristotélico. En la sección 4, considero los ideales epistémicos divergentes entre la ciencia aristotélica y la ciencia moderna. Sobre esta base, puedo explicar en la sección 5 por qué los experimentos pueden desempeñar su papel fundamental en la ciencia moderna. Finalmente, la sección 6 ilustrará por qué dicha ciencia, que procede, como lo hace, vía experimentos, debe necesariamente ser tecnológicamente explotable. La sección 7 recapitula la línea central de este ensayo.

2 El concepto de naturaleza en la ciencia natural aristotélica

La ciencia natural aristotélica¹ no se ocupa del conjunto de todas las cosas en principio perceptibles, como la física actual, sino solo de un subconjunto en particular: el conjunto de objetos que existen por naturaleza; estos objetos son llamados “objetos naturales”. Colectivamente, este conjunto es llamado “naturaleza”, y la palabra griega para ello, *physis*, derivada de *phyein* que significa crecer, expresa el contraste con los artefactos. En este sentido, la naturaleza abarca, sobre todo, animales, plantas y sus partes naturales, así como el Sol, la Luna, las estrellas y lo que se denominó los “elementos”, la tierra, el fuego, el agua y el aire. Lo que todo esto tiene en común, según Aristóteles, es que contienen la base del cambio y el movimiento que les es propio dentro de sí mismos, y que ejemplifican tal movimiento y cambio por sí mismos². Esta característica común parece bastante plausible cuando el movimiento normal y el cambio de tales objetos naturales se contrastan con el movimiento y el cambio de artefactos. Comparemos, por ejemplo, el crecimiento de un árbol con el crecimiento de un rascacielos. Mientras que el árbol crece por sí mismo, en tanto se den ciertas condiciones, el crecimiento del rascacielos depende de un ímpetu externo persistente: la actividad de construir. De manera similar, los cuerpos masivos caen por sí mismos, el fuego se eleva por sí mismo, el Sol, la Luna y las estrellas rondan los cielos por sí mismos, y las personas y los animales pueden moverse o irse a descansar por sí mismos. Los artefactos se excluyen del dominio de las ciencias naturales desde un principio por el hecho de que no se convierten en lo que son por sí mismos. Sin duda, también se someten a movimientos y cambios “naturales”, como cuando un jarrón cae al piso o se pudre una viga de madera, pero dicho movimiento y cambio no tienen que ver con su estado como artefactos, sino con las cualidades naturales de sus componentes materiales. Los objetos naturales llevan dentro de sí mismos el fundamento de su movimiento

¹ La fuente principal en esta sección es la *Física* de Aristóteles, especialmente el Libro II (Aristóteles (1980); además de la traducción, Charlton (1970) incluye un comentario muy útil. Una llana y adecuada introducción es la Solmsen (1970); Broadie (1982) y Judson (1991) ofrecen importantes discusiones sobre temas particulares. Todas estas obras incluyen extensas bibliografías.

² Aristóteles tiene una sola palabra para lo que yo interpreto como “movimiento y cambio”, a saber, *kinesis*, y la vio como un género natural [*natural kind*]. En la transición a la ciencia moderna, la noción de *kinesis* fue desmembrada, se separó fundamentalmente la loco-moción, es decir, el movimiento en el espacio, del cambio cualitativo, del cambio cuantitativo, de la generación y de la decadencia.

y de su cambio; estos movimientos y cambios les son característicos, o son determinados por su naturaleza. La palabra “naturaleza”, evidentemente, debe ser usada en un segundo sentido aquí; primero, la usamos para significar la totalidad de los objetos naturales, y luego, para referirnos a las características de los objetos naturales. En términos aristotélicos, podemos decir que los fundamentos del movimiento y del cambio propios de los objetos naturales residen en sus esencias. Tales movimientos y cambios esenciales o naturales incluyen, por ejemplo, las órbitas de los cuerpos celestes, el movimiento hacia abajo de los cuerpos masivos y el crecimiento de plantas y animales hasta su estatura plena. La esencia o naturaleza de un objeto natural, tal como se expresa en una definición esencial dada en respuesta a la pregunta “¿qué es esto?” es algo universal; se aplica en común a todos los objetos de esa clase.

Para Aristóteles, los movimientos naturales deben ser entendidos teleológicamente, como dirigidos hacia algún objetivo (*télos*). Esta manera de entenderlos es plausible cuando consideramos el crecimiento de animales y plantas; sus procesos de desarrollo pueden parecer organizados (hasta cierto punto) en vista a sus formas adultas. Para nosotros, esto parece menos plausible respecto de los movimientos de las piedras o de las estrellas; para Aristóteles, el movimiento de una piedra se dirige hacia el lugar natural de descanso de la piedra, ubicación dictada por la esencia de la piedra, que coincide con el centro de la Tierra. En cuanto al *télos* del movimiento estelar, su explicación se encuentra tan profundamente arraigada en la metafísica aristotélica que, para los propósitos actuales, podemos ignorarla. En cualquier caso, hemos presentado el objetivo de la ciencia natural aristotélica: la ciencia natural aristotélica examina los objetos naturales en vista a sus movimientos y cambios naturales. Implícito en este proyecto está la sugerencia de que incluso los objetos naturales pueden experimentar cierto tipo de movimientos y cambios cuyo estudio se encuentra fuera del ámbito de las ciencias naturales. Tales movimientos y cambios son aquellos que no están indicados por la esencia del objeto natural en cuestión. Dichos procesos deben atribuirse a la “violencia”, algo que hoy llamaríamos “fuerza externa”. De nuevo, esta atribución se comprende fácilmente dada la concepción aristotélica del movimiento natural de los objetos naturales. Una piedra puede experimentar un movimiento ascendente, pero solo cuando está siendo “forzada” a hacerlo, como por ejemplo, cuando alguien que la arroja. Este es un movimiento antinatural para la piedra. La ciencia natural, en el sentido de Aristóteles no investiga tales movimientos y cambios antinaturales.

Sin duda, tampoco los niega, aunque los excluye de la “naturaleza”, su área de estudio adecuada. Porque la naturaleza abarca solo la totalidad de los objetos naturales, concebidos en términos de sus movimientos y cambios esenciales. Se podría decir que, en cierto sentido, la tarea de la “ciencia natural básica” consiste en encontrar las esencias de los objetos naturales; las otras características de los objetos naturales pueden derivarse de sus definiciones esenciales³.

Para resumir:

1. La ciencia natural aristotélica apunta al conocimiento de los universales.
2. Estos universales son predicados monádicos, es decir, aquellos que especifican los atributos esenciales de los miembros de una clase de objetos naturales dada.

Aún más brevemente, la ciencia natural aristotélica examina la naturaleza con miras a los *universales predicativos*. La comprensión subyacente de la naturaleza es, por lo tanto, que el orden fundamental de la naturaleza está constituido por las propiedades esenciales de los tipos de cosas.

3. El concepto de naturaleza en la ciencia natural moderna

La comprensión moderna de la naturaleza (concebida como el conjunto de todos los objetos naturales) está profundamente moldeada por la aparición de un concepto desconocido para Aristóteles, el concepto de ley natural. La historia precisa de la introducción de este concepto en la ciencia y su filosofía es controversial entre los historiadores⁴. Sin embargo, parece ser que para las ciencias naturales modernas, la discusión de René Descartes en la década de 1630 ha sido más influyente⁵. Hoy, hemos llegado a tomar esta noción

3 Cabe señalar, sin embargo, que Aristóteles, en sus escritos científicos, rara vez sigue este esquema axiomático.

4 Ver, por ejemplo, Zilsel (1942), Reich (1958), Milton (1981), Ruby (1986), Steinle (1995), Henry (2004), Kedar y Hon (2017a), y Kedar y Hon (2017b).

5 La primera aparición del concepto de ley natural en Descartes parece ocurrir en una carta a Mersenne del 15 de abril de 1630: “es Dios quien ha establecido estas leyes en la naturaleza como un rey establece leyes en su reino”, Bennett (2017), p. 16 [“c’est Dieu qui a établi ces lois in the nature, ainsi qu’un Roy établist des loi en son Royaume”, Descartes, Adam and Tannery (1897), p. 145]. En sus escritos publicados, la aparición más temprana parece estar en sus *Discours de la Méthode* de 1637: “También he observado cier-

completamente por sentada, junto con la opinión de que es el trabajo de las ciencias naturales determinar las leyes naturales con cuya ayuda nos involucramos en la explicación y predicción científica. En el siglo XIX, las ciencias naturales (en oposición a las ciencias sociales y humanas) incluso se han definido como las ciencias “nomotéticas”, que significa las ciencias que establecen las leyes. No obstante, se ha mantenido un largo debate sobre la definición precisa de la noción de ley natural, un tema sobre el cual todavía no hay consenso⁶. Dos características de las leyes naturales, sin embargo, no han sido discutidas: las leyes naturales están destinadas a ser tanto *universales* como *relacionales*. Para nuestros propósitos, será suficiente insistir en estas dos características. La *universalidad* de las leyes naturales afirma la constancia de la naturaleza en todos los lugares y tiempos, en el siguiente sentido: *ceteris paribus*, la naturaleza se comportará de la misma manera, independientemente del tiempo o el lugar. La *relacionalidad* de las leyes naturales afirma que tales regularidades se mantienen entre los elementos de una clase y los elementos de otra clase (no necesariamente distinta) de objetos naturales o propiedades de objetos naturales. Por ejemplo, la ley de gravitación universal de Newton establece una relación entre la fuerza gravitacional que actúa sobre una partícula debido a la masa de otra partícula y las dos masas y su distancia. La fórmula que describe esta relación es $F = G \cdot m_1 \cdot m_2 / r^2$, donde F es la fuerza gravitacional, m_1 y m_2 son las dos masas, r es su distancia y G es la llamada constante gravitacional. En general, las relaciones que expresan leyes naturales se pueden describir como funciones, en el caso más simple como la dependencia de una variable (dependiente) y de una variable (independiente) x , por lo tanto $y = f(x)$, donde f denota el tipo de dependencia.

Lo que acabo de plantear merece más atención, a saber, la cuantificación de las variables. Las relaciones a menudo se prestan para la cuantificación, y las funciones relacionadas con las variables cuantificadas hacen posible el uso del cálculo. En el caso aristotélico, las matemáticas no podían desempeñar ningún papel sustancial en la física porque las cualidades esenciales de las cosas son de naturaleza cualitativa. Solo después de la introducción de las relaciones como los elementos fundamentales de la naturaleza en el siglo XVII, las matemáticas tuvieron su punto de entrada más importante en la física y, paralelamente al desarrollo de la física, el cálculo se desarrolló. Las

tas leyes establecidas en la naturaleza por Dios“, Descartes (2008 [1637]), parte V.

6 Ver, por ejemplo, Carroll (2016) para una visión introductoria.

dependencias funcionales cuantificadas universalmente ahora se consideraban como los elementos centrales de la naturaleza a los que se podía aplicar el cálculo y, como consecuencia, la búsqueda de los atributos esenciales de los objetos naturales es excluida del ámbito de la investigación científica. La razón es que las cualidades esenciales ahora se consideran poco importantes en comparación con las leyes naturales, o que se sostiene que las cualidades esenciales son inalcanzables dentro de los límites de la ciencia natural⁷.

Con la introducción del concepto de ley natural, ciertas distinciones fundamentales para la comprensión de la ciencia natural aristotélica se vuelven intrascendentes⁸. Primero, la distinción entre “lo que es por naturaleza” y los artefactos, es decir, lo que ha sido producido por la intervención humana, pierde su relevancia científica. La universalidad de las leyes naturales hace que sea irrelevante si los objetos surgieron con o sin mediación de los agentes humanos. Todo lo que cuenta es si se cumplen las condiciones bajo las cuales una ley natural determina ciertos valores para sus variables dependientes; de la forma en que pueden haberse cumplido no tiene importancia. En segundo lugar, la noción de movimiento y cambio antinatural se vuelve científicamente sin sentido. En el nuevo sentido de “naturaleza”, en el que se concibe como el conjunto de todos los objetos físicos de acuerdo con la ley natural, no puede haber, por razones puramente lógicas, nada antinatural, ya que esto contradeciría la idea misma de ley natural. Sin embargo, la noción de que algún movimiento es “antinatural” (en el antiguo sentido de la naturaleza) se vuelve obsoleta, por las mismas razones que la distinción entre objetos naturales y artefactos.

Estas consecuencias de la introducción del concepto de ley natural pueden ilustrarse bien con el ejemplo de la mecánica. Para Aristóteles, el movimiento natural de los cuerpos terrestres es siempre vertical; los cuerpos pesados se mueven hacia el centro de la Tierra, y los cuerpos ligeros se alejan de ella. Los cuerpos celestes se mueven naturalmente en órbitas. Cuando buscamos el análogo de tal movimiento natural en la mecánica newtoniana, encontramos la primera ley del movimiento de

7 Consideremos, por ejemplo, la primera oración del Prefacio de Newton a los *Principia*: “... los antiguos (como nos dice Pappus) estimaron la ciencia de la mecánica como de mayor importancia en las investigaciones de las cosas naturales, y los modernos, rechazando las formas sustanciales y las cualidades ocultas, se han esforzado por someter los fenómenos de la naturaleza a las leyes de las matemáticas”, Newton (1934 [1686]).

8 Sobre este tema, compare Heidegger y Gendlin (1985).

Newton, en la cual “todos los cuerpos continúan en su estado de reposo, o en movimiento rectilíneo uniforme, a menos que estén obligados a cambiar ese estado por fuerzas aplicadas sobre él”⁹. Los estados cinéticos “naturales” ahora parecen estar en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme en una dirección arbitraria, donde tales estados ciertamente no son normales en el sentido de que sean observables con frecuencia; de hecho, estrictamente hablando, nunca ocurren en absoluto. Obviamente, sería absurdo restringir la mecánica al examen de tales movimientos al costo de negarle todo objeto de estudio. Y así, bajo la nueva concepción de la naturaleza, las distinciones constitutivas de la concepción aristotélica pierden todo significado.

Después de Descartes, el concepto de ley natural ha sido, en cierto sentido, generalizado. Primero, se introdujeron colecciones unificadas de leyes naturales, como la colección de leyes en la mecánica newtoniana, y se denominaron teorías. Además, se admitieron regularidades generales que no merecían la denominación de “leyes naturales” debido a un alcance algo restringido, a menudo bajo el título de “hipótesis generales”. Además, a partir del siglo XIX, se introdujeron en la ciencia algo así como una simplificación de los supuestos generales y se denominaron “modelos”. Finalmente, también a partir del siglo XIX, las relaciones matemáticas fundamentales de carácter similar a una ley fueron simplemente denominadas “ecuaciones fundamentales”, como “la ecuación de Schrödinger” o “la ecuación de Dirac”, dejando su carácter legaliforme como algo implícito. Lo que todas estas entidades tienen fundamentalmente en común con las leyes naturales es su naturaleza como *relaciones generales*, y esto es lo que más adelante mencionaré en este artículo, aunque su generalidad puede ser de un tipo más local y, por lo tanto, restringida. Además de las leyes naturales originales, estas entidades se han convertido, y lo siguen siendo, en el objetivo central de la investigación científica.

Podemos ahora resumir el concepto de naturaleza según el cual la naturaleza es entendida como el objeto al que se dirige la ciencia natural moderna:

1. La ciencia natural moderna apunta al conocimiento de universales. Este punto sobre el objetivo de la investigación científica es compartido también por el modo predecesor de la ciencia, la ciencia aristotélica. Sin embargo, el segundo

9 Newton (1934 [1686]), Lex I.

punto representa una ruptura profunda y consecuente con la concepción aristotélica.

2. Estos universales son relaciones, es decir, son aquello que especifica las asociaciones legaliformes (o al menos regulares) entre elementos de determinadas clases de objetos físicos o de aspectos de ellos.

Más brevemente, la ciencia natural moderna examina la naturaleza con vistas a las relaciones generales. La comprensión moderna de la naturaleza es, por lo tanto, que el orden fundamental de la naturaleza está constituido por dependencias funcionales universales.

4. Los ideales epistémicos aristotélico y moderno

Hasta ahora, hemos estado considerando qué es lo que la ciencia natural toma como su tópico (es decir, todo lo que uno concibe como naturaleza), sin considerar aún cómo se debiese abordar este tópico. Afrontar esta última pregunta como inquiriendo solo por los métodos de la ciencia sería demasiado apresurado; primero debemos preguntar qué ideal epistémico guía la tradición científica en cuestión¹⁰. Los métodos científicos son significativos y se justifican solo en relación a un objeto de dominio conceptualizado de cierta manera y con un ideal epistémico correspondiente. El ideal epistémico y la conceptualización del objeto de dominio son mutuamente dependientes, ya que el ideal epistémico debe considerarse, en principio, alcanzable, si se trata de proporcionar directrices significativas para los esfuerzos científicos. El ideal epistémico de la ciencia natural moderna, por ejemplo, no exige pruebas apodícticas (en el sentido matemático) de las leyes naturales candidatas, no porque las pruebas apodícticas sean de alguna manera despreciadas, sino porque se consideran inalcanzables en el estudio de la naturaleza. En términos generales, se podría decir que el concepto de naturaleza determina qué preguntas se pueden hacer en un tipo específico de ciencia, mientras que el ideal epistémico determina qué respuestas son legítimas.

El ideal epistémico *aristotélico* es el de la ciencia-como-prueba, exactamente como el de la geometría euclidiana estructurada

¹⁰ Para una descripción esquemática de los cambios históricos de los ideales epistémicos, véase Hoyningen-Huene (2013), pp. 2-6.

axiomáticamente¹¹. Exige “principios básicos”, que incluyen las definiciones esenciales de los objetos de estudio del campo científico dado. La definición esencial de un objeto enumera aquellos atributos que necesariamente pertenecen al objeto, en virtud de ser lo que es. Adicionalmente, necesitamos reglas generales de deducción (lógica formal). Otras proposiciones pueden entonces ser deducidas lógicamente de los primeros principios. Una proposición aceptable de la ciencia es, pues, una que ha sido probada desde los primeros principios. Los primeros principios en sí mismos no pueden, por supuesto, justificarse de esta manera. Estamos convencidos de su verdad necesaria mediante un proceso especial de inducción, distinto tanto de la inducción matemática completa como de la inducción generalizadora de la ciencia moderna. En este proceso, el intelecto de alguna manera extrae lo que es esencial de un rango de percepciones individuales recordadas, lo que nos permite determinar la definición esencial, una verdad necesaria¹².

Sin duda, uno podría dudar de si este ideal epistémico puede alcanzarse alguna vez, o si las explicaciones que ayudó a proporcionar nos satisfacen. Sin embargo, estas cuestiones no nos conciernen necesariamente aquí. Para nuestros actuales propósitos, debemos recordar dos características de este ideal epistémico. Primero, éste corresponde al concepto aristotélico de la naturaleza en el sentido de que cualquier investigación guiada por este ideal epistémico podría explorar legítimamente todas las características conocidas de la naturaleza aristotélica. En segundo lugar, si bien este proyecto de investigación exige algún esfuerzo empírico en el sentido de observación sistemática, no requiere experimentación. La observación sistemática puede incluir, como lo hace en Aristóteles, la disección de organismos, por ejemplo, con el propósito de determinar ciertas diferencias entre especies. Sin embargo, el estudio aristotélico de la naturaleza no otorga a la experimentación científica ningún lugar de honor en particular. Discutiré esta característica de la ciencia de Aristóteles en la siguiente sección, después de haber discutido las principales características del experimento.

11 La más importante fuente de esta cuestión es *Posterior Analytics*, Aristóteles (1960). Barnes (1975) contiene, además de la traducción, comentarios muy útiles. Un excelente libro que contiene un amplio estudio es McKirahan (1992). Berti (1981) contiene discusiones de varios temas relevantes. La identificación de los ideales epistémicos aristotélicos y euclidianos, por supuesto, no es accidental. Surgieron aproximadamente al mismo tiempo, y la geometría euclidiana era el paradigma indiscutible de una ciencia exitosa.

12 Ver Aristóteles (1960), II.19 y el Capítulo XVIII de McKirahan (1992).

El ideal epistémico de la *ciencia natural moderna* es una consecuencia del aspecto “hipotético-deductivo” de la ciencia¹³. Este aspecto consiste, en primer lugar, en el hecho de que en la ciencia moderna, las premisas más importantes de las derivaciones científicas son las leyes naturales, las teorías (posiblemente las fundamentales), las hipótesis generales, los modelos o las ecuaciones fundamentales, a las que me refiero como “relaciones generales”. Sin embargo, es imposible certificar de manera alguna estas premisas generales directamente, en contra de lo que Aristóteles habría esperado. En cambio, toda confirmación de las relaciones generales en la ciencia debe ser indirecta¹⁴. Para este propósito, las afirmaciones empíricas concretas sobre la realidad deben derivarse (aproximadamente) de las relaciones generales, comúnmente con la ayuda de condiciones concretas adicionales (iniciales o de frontera) y de teorías auxiliares (se propone un ejemplo concreto en la siguiente sección). Son estas afirmaciones empíricas derivadas y concretas las que pueden confrontarse con datos empíricos. Si las afirmaciones no están de acuerdo con los datos, entonces algo en las premisas debe estar equivocado (algo cuya localización precisa puede ser difícil de determinar). Si las premisas concuerdan con los datos, entonces resulta una confirmación parcial de las premisas, de las cuales se derivaron las afirmaciones. Sin embargo, esta confirmación nunca puede ser definitiva; nunca se puede excluir que otras consecuencias empíricas de dichas premisas puedan resultar ser incorrectas. El resultado es que las premisas más superiores de la ciencia, es decir, las relaciones generales en el sentido dado, siempre permanecen hipotéticas, y esto explica por qué el ideal epistémico de la ciencia moderna se califica como hipotético. En resumen, podemos describir la transición del ideal epistémico aristotélico al moderno como una transición del ideal de certeza del conocimiento científico debido a la prueba, a la validez hipotética del conocimiento científico debido al apoyo inductivo.

Sin embargo, debe destacarse que, en la ciencia moderna, la percepción de la naturaleza hipotética y permanente de las relaciones científicas generales, especialmente de las leyes y teorías naturales,

13 Soy consciente del hecho de que el aspecto hipotético-deductivo de la ciencia es muy burdo, incompleto y potencialmente engañoso. Sin embargo, es útil en este momento porque abarca características del ideal epistémico de la ciencia que son relevantes para nuestra comprensión del papel de la experimentación.

14 Estoy utilizando el término “confirmación” en su sentido amplio y cotidiano, no en el sentido técnico de la teoría de la confirmación filosófica. Por lo tanto, la confirmación en este sentido amplio puede, por ejemplo, resultar de una refutación fallida.

surgió históricamente tarde comparativamente. Desde mediados del siglo XVIII hasta finales del siglo XIX, acerca del carácter definitivo de las leyes científicas descubiertas, es decir, de la física newtoniana, fue prácticamente universal. Sólo a fines del siglo XIX surgieron dudas entre algunos físicos sobre la finalidad de la física clásica¹⁵. Después de la introducción de la teoría de la relatividad especial, la teoría de la relatividad general y la mecánica cuántica y la consiguiente conmoción de los fundamentos de la física, el clima científico cambió drásticamente, al menos en física. La mayoría de los físicos que se preocupan por el tema han renunciado a la idea de que la física podría alcanzar resultados inquebrantables¹⁶.

Hay que destacar tres características del ideal epistémico de la ciencia moderna. Primero, como en el caso aristotélico, encaja con el concepto de naturaleza, haciendo justicia al papel central específico de las relaciones generales. En segundo lugar, este ideal epistémico es claramente más débil que el de Aristóteles, ya que se contenta con una verdad hipotética, mientras que Aristóteles requería una aprehensión de la verdad necesaria de los primeros principios. En tercer lugar, el experimento ahora se vuelve relevante en adición a la observación sistemática, circunstancia que debemos considerar más detenidamente.

5. El papel del experimento en la ciencia moderna

Antes de que podamos analizar el rol del experimento en la ciencia moderna, debemos aclarar qué es un experimento¹⁷. Es esencial distinguir entre observación, medición y experimento. Una *observación* puede involucrar un instrumento, como la observación de una célula bajo un microscopio, o puede que no involucre ninguno, como la observación de un eclipse lunar a simple vista. Una observación usualmente no interfiere con los objetos observados¹⁸; no es una intervención en el curso

15 Ver, por ejemplo, Schiemann (2009).

16 Sin embargo, cabe señalar que también hay un contra-movimiento en física. Muchos teóricos de cuerdas creen que están al menos en el camino hacia una teoría final de todo; ver, por ejemplo, Weinberg (1992) y Greene (2000).

17 Existe una extensa literatura sobre los experimentos, ver, por ejemplo, Franklin (1986), Franklin (1989), Franklin (1999), Franklin (2008), Galison (1987), Gooding (1990), Hacking (1983), y mucho antes el poco discutido Weizsäcker (1952 [1947]).

18 Digo “usualmente” porque la situación puede ser fundamentalmente diferente en la mecánica cuántica, donde la calidad de un fenómeno observado puede depender del tipo particular de observación.

de la naturaleza. El resultado de una observación puede ser cualitativo o cuantitativo; este último es principalmente el caso si se numera algo. Una *medición* tampoco suele interferir con el objeto medido; se pretende que produzca un resultado que no depende del acto de medir¹⁹, sino solo de las propiedades del objeto medido. Una medición siempre implica un instrumento de medición, y su resultado es principalmente cuantitativo. El instrumento de medición incorpora y representa la unidad en la que se mide la cantidad pertinente. Por ejemplo, una regla es el instrumento más simple para medir longitudes, y la longitud de la unidad está grabada en su superficie. En contraste con la observación y la medición, un experimento siempre implica una intervención intencionada en el curso de la naturaleza. Típicamente, un experimento apunta a crear un fenómeno bajo condiciones bastante bien definidas, y ese fenómeno se observa o mide posteriormente. En un experimento, el experimentador controla el fenómeno observado o medido, al menos hasta cierto punto, porque crea las condiciones bajo las cuales ocurre el fenómeno, lo cual no es el caso en las meras observaciones de mediciones. De forma más esquemática, el experimentador crea las condiciones C, y luego se produce el fenómeno P. Si el experimento es reproducible, es decir, si la creación de C produce regularmente P, entonces podemos escribir $C \rightarrow P$.

Dada esta caracterización de los experimentos, ahora podemos ver por qué, en principio, en la ciencia aristotélica los experimentos no pueden desempeñar ningún papel epistémico²⁰. Los posibles puntos de entrada son, por supuesto, las premisas o las reglas de deducción. Podemos descartar de inmediato las reglas de deducción, que son una cuestión de lógica y ciertamente no de experimentación. ¿Qué hay de las premisas, es decir, las definiciones esenciales? Hay dos consideraciones que muestran que la experimentación es necesariamente irrelevante para el establecimiento de las definiciones esenciales buscadas, una más bien metódica y la otra bastante sustantiva.

La consideración más metódica se refiere al hecho de que las definiciones esenciales que se encuentran afirman, para algún atributo

19 Si la medición en sí cambia notablemente el objeto medido, uno intenta compensar ese cambio, por ejemplo, calculando el cambio del objeto medido por la medición y restando el resultado de la medición. Nuevamente, en mecánica cuántica la situación puede ser diferente.

20 Es importante señalar en este punto que aunque los experimentos no jugaron ningún papel para la ciencia aristotélica, sí fueron relevantes para la tecnología de su tiempo. La ciencia y la tecnología se distinguieron claramente en Aristóteles, la ciencia pertenece al dominio de la *theoria* y la tecnología pertenece al dominio de la *poesis*; ver, por ejemplo, Parry (2014).

A, que éste se refiere esencialmente a algún objeto natural S porque es un miembro de cierta clase. Las definiciones esenciales son, pues, afirmaciones de la forma “Todas las S son esencialmente A”. Ahora bien, para mostrar que un atributo A dado es esencial, no es suficiente demostrar que todas las S lo tienen. Por ejemplo, todos y solo los humanos tienen lóbulos en la oreja, sin embargo, los lóbulos en la oreja no son lo que los hace ser lo que son; no son un rasgo esencial en el sentido aristotélico. La percepción de que una característica dada de S es una característica esencial es un logro del intelecto, por lo que es obvio que el experimento no puede ayudar en la producción de tales percepciones²¹.

La consideración más importante se refiere al hecho de que el experimento debe seguir siendo necesariamente irrelevante para la ciencia aristotélica porque se basa en intervenciones en el curso de la naturaleza por “violencia” o fuerza externa²². La ciencia aristotélica tiene como objetivo investigar cómo se comporta la naturaleza por sí misma, sin ser perturbada por influencia externa. Observar la consecuencia de un experimento, es decir, una *intervención* en la naturaleza, es, por lo tanto, necesariamente irrelevante para lo que la ciencia aristotélica quiere lograr. El experimento no puede contribuir ni siquiera heurísticamente a las definiciones esenciales. Por ejemplo, ¿no sería la conductividad eléctrica de los metales, que se muestra más claramente en un experimento, una buena candidata a ser considerada una propiedad esencial de los metales? Desde la perspectiva de la ciencia natural aristotélica, lo más apropiado es que se tenga que objetar que los atributos que se exhiben principalmente en el contexto experimental simplemente no son candidatos para ser considerados atributos esenciales. Porque es precisamente en el contexto experimental que un objeto natural no se comporta de acuerdo con su naturaleza, ya que está sujeto a una fuerza externa. El resultado es que en la ciencia aristotélica el experimento no desempeña ni puede desempeñar ningún papel cognitivo, ya que el tema central de ésta es el curso ininterrumpido de la naturaleza²³.

Esta situación cambia dramáticamente con el advenimiento de la ciencia moderna y su nuevo concepto de la naturaleza. Ya no son las esencias de las cosas naturales las que son responsables del cambio (y

21 Esta es la línea tomada, por ejemplo, en Dingler (1928), p. 214.

22 Sobre este tema, compare Kuhn (1977 [1976]), p. 55.

23 Compárese mi análisis de la ausencia de experimentación en la ciencia natural aristotélica con el de Dijksterhuis (1986 [1950]), pp. 70-71, en el que la conceptualización de la naturaleza no desempeña ningún papel.

la constancia) en la naturaleza, sino las leyes naturales (y relaciones similares) las que conectan los estados y los cambios. Estas relaciones se sostienen universalmente, y en el contexto dado esto significa en particular, independientemente de la génesis de los objetos y estados. En otras palabras, en principio ya no hay diferencia entre los objetos y artefactos naturales, y no hay diferencia principal entre el movimiento y el cambio que ocurre espontáneamente en la naturaleza o el desencadenado por la intervención humana²⁴. Por lo tanto, los experimentos ya no están prohibidos por la naturaleza misma de la ciencia moderna como es el caso en la ciencia aristotélica. Ahora tenemos que preguntarnos cuál es la función de los experimentos en la forma moderna de la ciencia.

Los elementos centrales de la naturaleza, según la concepción moderna de la ciencia, son leyes naturales y teorías, hipótesis generales, modelos y ecuaciones fundamentales. Todos ellos articulan *relaciones generales*, como vimos anteriormente, que expresan el orden de la naturaleza. Sus relata son los elementos de ciertas clases de objetos (o de aspectos de objetos), y generalmente (aunque no siempre) se describen cuantitativamente. Los ejemplos familiares incluyen, por ejemplo, la ley de gravitación universal de Newton, que establece una relación entre fuerza, masas y las distancias entre ellas, o las ecuaciones de Maxwell que articulan una relación entre las cargas eléctricas, sus movimientos y las propiedades del campo eléctrico y magnético. De tales relaciones generales, se pueden derivar relaciones más específicas, acorde a casos específicos, especializando las relaciones generales a esos casos (la derivación puede ser solo aproximada, pero esto no tiene importancia aquí). Por ejemplo, la ley de gravitación universal de Newton anteriormente mencionada

$$F = G \cdot m_1 \cdot m_2 / r^2$$

puede estar especializada para el caso de un cuerpo de masa m_1 situado cerca de la superficie de la Tierra

$$F_E = G \cdot m_1 \cdot m_E / r_E^2,$$

donde F_E es la fuerza gravitatoria que actúa sobre la masa m_1 , m_E es la masa de la Tierra y r_E es el radio de la Tierra, descuidando las diferencias

24 Sin embargo, se debe tener en cuenta que esto no niega la diferencia entre los experimentos *in vitro* e *in vivo*, ni la posibilidad de distorsiones en los estudios de comportamiento (en animales y humanos) debido a las condiciones de laboratorio. Tales distorsiones solo indican que no todas las variables relevantes han sido atendidas adecuadamente.

de la distancia entre m_1 y el centro de la Tierra, porque son muy pequeñas (en términos relativos). Esta última fórmula se puede reescribir como

$$F_E = m_1 \cdot g,$$

con $g = G \cdot m_E / r_E^2$, que es la llamada aceleración gravitacional de la Tierra, relevante para la ley de caída libre de Galileo.

En estas relaciones más especializadas, las variables dependientes pueden distinguirse de las independientes. Sin embargo, esta distinción puede asumirse de manera diferente, dependiendo del contexto. Las variables cuyos valores pueden fijarse arbitrariamente en una situación determinada pueden contabilizarse como variables independientes. Sus valores determinan los valores de las variables dependientes por la relación dada. Matemáticamente, las variables dependientes son *funciones* de las variables independientes, descritas en una *ecuación*. En el caso anterior, la fuerza gravitacional ejercida por la Tierra sobre un cuerpo cerca de su superficie es una función de la masa del cuerpo (es proporcional a la masa), descrita por la ecuación anterior $F_E = m_1 \cdot g$.

El punto fundamental ahora es que, bajo ciertas circunstancias, tales dependencias funcionales pueden ser testeadas por experimentos. Si ciertos valores de las variables independientes son obtenibles prácticamente, y si los valores correspondientes para las variables dependientes pueden medirse, entonces estos valores medidos pueden compararse con los valores predichos por la ecuación. El experimento consiste entonces en producir ciertos valores de las variables independientes y medir los valores de las variables dependientes. En términos generales, si los valores medidos concuerdan razonablemente con los pronosticados por la ecuación, la ecuación se “confirma” y, de lo contrario, se “no confirma”. La confirmación o desconfirmación, respectivamente, ahora puede subir a la relación general de la que se derivó. La razón es que la (no-)confirmación de una consecuencia lógica de algunas premisas también (no-)confirma estas premisas. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que especialmente la confirmación de la relación general nunca puede convertirse en una verificación, es decir, en prueba de su verdad. En principio, el estado de las relaciones generales permanece para siempre como hipotético, sin importar cuántas confirmaciones indirectas se puedan aportar.

Ahora podemos entender por qué los experimentos pueden desempeñar el papel epistémico en la ciencia moderna que acabo de discutir. Un experimento reproducible establece una relación empírica $C \rightarrow P$. La (no-)confirmación de una relación general requiere probar

una relación de la forma $y = f(x)$. Si los valores de x pueden fijarse experimentalmente y los valores de y pueden medirse, entonces se da una situación experimental: C es la fijación de los valores de x mediante la intervención experimental, y P es medido por y . Por lo tanto, el carácter *relacional* de las leyes naturales, las teorías, las hipótesis generales, los modelos y las ecuaciones fundamentales se ajusta al carácter relacional de los experimentos. Todas las relaciones especiales derivadas de las relaciones generales confirmadas por el experimento conducen, de manera ascendente, hacia la confirmación de las relaciones generales. Si el ideal epistémico se ajusta ahora a esta situación al abandonar la rigurosa exigencia (aristotélica) de la absoluta certeza de las premisas para la deducción, entonces la confirmación (parcial) de las relaciones generales se vuelve realmente relevante desde un punto de vista científico. Las relaciones generales pueden, en principio, confirmarse mediante un experimento, y esto es exactamente lo que se necesita de acuerdo con el ideal epistémico de la ciencia moderna. Por lo tanto, el ideal epistémico de la ciencia moderna se ha sintonizado precisamente con lo que se puede lograr epistémicamente con una ciencia que utiliza fundamentalmente el experimento.

Hasta ahora, solo he discutido el rol del experimento para la (no)-confirmación de relaciones generales. Sin embargo, el experimento tiene muchas más funciones para la ciencia, y una de las importantes entre ellas es la exploración científica²⁵. En situaciones en las que todavía no se conocen generalizaciones empíricas sobre un determinado tema, las variables que varían experimentalmente y la observación de su efecto en otras variables, es una práctica experimental común con fines heurísticos²⁶. Por lo tanto, la experimentación no solo es importante para

25 Durante mucho tiempo, la filosofía de la ciencia discutió solo el papel (no)-confirmatorio de los experimentos. Especialmente el trabajo de Friedrich Steinle puso de relieve el posible papel exploratorio de los experimentos, comenzando con Steinle (1997). Puedo notar que también tomé conciencia de la experimentación exploratoria cuando, en diciembre de 1992, después de una charla en el Instituto de Fisiología de la Universidad de Berna, los miembros del Instituto me criticaron solo por hablar sobre el papel (no)-confirmatorio de los experimentos y no sobre su función. El papel exploratorio, que es fundamental en la fisiología. Más tarde, apliqué lo que había aprendido de los fisiólogos y criticé al filósofo de la tecnología Friedrich Rapp por descuidar la experimentación exploratoria; ver Hoyningen-Huene (1996), p. 453.

26 Este es el caso más simple. Se puede encontrar más, por ejemplo, en Steinle (1997) y Franklin (2005).

la (no-)confirmación de conocimiento, sino también para la generación de conocimiento²⁷.

Permítaseme resumir la estructura del argumento en esta sección. El concepto moderno de ciencia conceptualiza la naturaleza fundamentalmente como un conjunto de relaciones generales (leyes, teorías, etc.). Estas relaciones se sostienen independientemente de la génesis particular de los objetos o de la forma en que se obtienen los valores de ciertas variables, es decir, con o sin intervención humana. Debido a la estructura relacional de los experimentos, las relaciones especiales derivadas de las relaciones generales pueden confrontarse con experimentos, lo que lleva a su confirmación o no confirmación. Esto se sostiene solo si los medios tecnológicos están disponibles para fijar los valores de las variables independientes y medir los valores de las variables dependientes. En el caso de confirmación, este resultado subir a la relación general, proporcionándole una confirmación (hipotética y parcial). Porque, según el ideal epistémico de la ciencia moderna, esto es todo lo que se puede lograr en el nivel más general, esta confirmación es vista como científicamente suficiente, aunque hipotética en sentido estricto y de ahí que provisional.

6. Explotabilidad tecnológica

Ahora quiero argumentar que las relaciones generales que han sido confirmadas por los procedimientos experimentales recién descritos son necesariamente explotables desde un punto de vista tecnológico. La “explotabilidad tecnológica” de X significa que X puede ser utilizada para realizar acciones tecnológicas. ¿Qué es una acción tecnológica? En términos generales, en una acción tecnológica, alguna acción A se realiza con la ayuda de un dispositivo tecnológico para lograr un determinado objetivo O. Desatornillar un tornillo con un destornillador es un ejemplo simple de una acción tecnológica: uno gira el destornillador después de colocarlo en la ranura del tornillo (acción A) para extraer el tornillo de su orificio (objetivo G).

Supongamos ahora que tenemos una relación general R que ha sido confirmada experimentalmente. Esto quiere decir que un número de relaciones especiales R_1, \dots, R_n fueron derivadas de la relación general R y

²⁷ Para una discusión más general sobre el conocimiento (no-)confirmado, hay la llamada “la defensa de las afirmaciones de conocimiento” y la generación de conocimiento, véase Hoyningen-Huene (2013), secciones 3.4 y 3.8.

se sometieron a pruebas experimentales. Supongamos por simplicidad que cada R_i reclama una dependencia funcional de la variable y_i de una variable independiente x_i , es decir, $y_i = f_i(x_i)$. Testear experimentalmente las relaciones $y_i = f_i(x_i)$ significa realizar experimentalmente un número de valores de x_i y luego medir los valores resultantes de y_i . La confirmación de f_i quiere decir que en un rango de valores obtenidos experimentalmente de x_i , los valores medidos de y_i están razonablemente de acuerdo con los valores de y_i pronosticados por la ecuación $y_i = f_i(x_i)$, y que el experimento es reproducible.

Téngase en cuenta que la finalidad de realizar el experimento anterior fue puramente epistémica. Debido a que la finalidad de la ciencia natural moderna son las relaciones generales, éstas se intentan confirmar mediante testeos experimentales. Sin embargo, cualquier experimento reproducible se puede repetir con un objetivo diferente en vista, a saber, la creación de ciertos valores de y_i mediante la producción de los valores apropiados de x_i . Por lo tanto, al usar la configuración experimental, puedo lograr un objetivo G , es decir, ciertos valores de y_i , haciendo una acción A , es decir, produciendo los valores apropiados de x_i . Ahora es obvio que esta es una acción tecnológica como se describe anteriormente, que utiliza la configuración experimental como un dispositivo tecnológico. Por lo tanto, cada experimento exitoso, es decir, reproducible con resultados positivos puede ser usado para la acción tecnológica.

Para ilustrar con un ejemplo altamente simplificado, supongamos que se prueba un nuevo medicamento en un grupo de pacientes con cierta enfermedad. Los investigadores quieren averiguar si el medicamento conduce a una mejora de la condición de salud de los pacientes²⁸. Supongamos que el resultado del experimento es positivo y reproducible, es decir, que el estado de salud de los pacientes mejora significativamente debido al fármaco. Luego, el medicamento puede ser usado para el tratamiento. Las acciones dirigidas al tratamiento son exactamente las mismas que las del experimento: administrar el medicamento a los pacientes. Sin embargo, el propósito de estas acciones es significativamente diferente; en el primer caso, el tratamiento de los pacientes, en este último caso, el conocimiento del potencial efecto terapéutico del fármaco.

²⁸ Adviértase que esta es una simplificación de un investigación clínica porque omite los controles, los efectos secundarios, la dosis, etc. Sin embargo, dados los propósitos del ejemplo estas omisiones no son perjudiciales.

Sin embargo, la explotabilidad tecnológica del conocimiento experimentalmente confirmado va más allá de la simple repetición literal de experimentos particulares como acciones tecnológicas. Hasta ahora, solo he demostrado que cada experimento reproducible que confirme la ecuación $y_i = f_i(x_i)$ para un valor *particular* de x_i puede repetirse como una acción tecnológica que apunta a la producción del valor particular correspondiente de y_i . Sin embargo, el experimento conduce a una confirmación de la ecuación $y_i = f_i(x_i)$ para *todos* los valores de x_i dentro de un cierto rango²⁹. Mediante esta confirmación, estamos autorizados a asumir que la obtención de *cualquier* valor de x_i en el rango permitido producirá el valor de y_i tal como se indica en la ecuación $y_i = f_i(x_i)$. De este modo, obtenemos un continuo de posibles acciones tecnológicas permitiéndonos producir todos los valores de y_i dentro del rango de validez de la ecuación $y_i = f_i(x_i)$.

Sin embargo, toda la fuerza de la explotabilidad tecnológica del conocimiento experimentalmente confirmado se hace visible cuando observamos que las acciones tecnológicas pueden estar concatenadas. La razón es simple. Si tengo, para un cierto rango de valores de x , una ecuación experimentalmente confirmada $y = f(x)$, no es importante cómo se obtienen los valores de x , ya sea por un experimentador humano o por algún *otro experimento*. Por lo tanto, si tengo otro experimento que confirma la ecuación $x = g(z)$ para ciertos valores de z , puedo usar esta ecuación para tecnológicamente producir valores de x realizando ciertos valores de z . Entonces puedo introducir estos valores de x en la acción tecnológica (o más precisamente ahora: en el proceso tecnológico) basado en la ecuación $y = f(x)$, produciendo así ciertos valores de y . Las máquinas son artefactos que utilizan la concatenación de los procesos tecnológicos de esta manera, y estos procesos tecnológicos pueden basarse en regularidades que provienen de dominios muy diferentes. Por ejemplo, un motor de combustión explota las regularidades de la mecánica, la termodinámica, la química, la electrodinámica, la ciencia de los materiales, etc., concatenándolos de tal manera que produzcan el rendimiento deseado.

Cierro esta sección con tres comentarios sobre la explotabilidad tecnológica de las regularidades confirmadas experimentalmente. Primero, debe notarse que, históricamente, la explotación tecnológica

29 Cómo funciona exactamente esa confirmación es una cuestión extremadamente compleja que no voy a abordar en este trabajo; implica el problema de la inducción. Presupongo que este tipo de confirmación de hecho funciona en las ciencias naturales.

del conocimiento científico confirmado experimentalmente comenzó comparativamente tarde. Desde el siglo XVII hasta mediados del siglo XIX, el conocimiento adquirido experimentalmente tenía pocas aplicaciones tecnológicas, si es que las tenía. O simplemente no había una posible aplicación tecnológica, o el conocimiento ya había sido producido por la tradición tecnológica que, a lo largo de milenios, era independiente de la tradición científica. El inicio de la explotación sistemática del conocimiento científico con fines tecnológicos tuvo lugar a mediados del siglo XIX, comenzando quizás con la química agrícola: en 1840, el químico Justus von Liebig comenzó una investigación sistemática de las condiciones de crecimiento de las plantas, que era una aplicación de la química orgánica. Esto fue desencadenado por la hambruna (mundial) de 1816, el “año sin verano”. Descubrió que las plantas absorbían el fósforo mucho más rápido si lo liberaba el llamado superfosfato. En 1846, se fundó la primera empresa para producir superfosfato para la fertilización. Mejoró enormemente la nutrición en la segunda mitad del siglo XIX y todavía se usa hoy en día. Los ejemplos posteriores para la explotación sistemática del conocimiento científico con fines tecnológicos incluyen el teñido orgánico-químico, que se descubrió en 1856 y que condujo muy rápidamente al desarrollo de la industria de los colorantes sintéticos.

Segundo, es importante ver qué papel juega el ideal epistémico en la explotabilidad tecnológica de la ciencia moderna. Supongamos que somos capaces de probar, sin recurrir a experimentos, la verdad de las leyes naturales (o relaciones generales similares), y de este modo podríamos lograr un progreso epistémico. Tal progreso epistémico, a pesar de la estructura relacional de las leyes naturales, no implicaría necesariamente ningún progreso tecnológico. Si bien la comprensión de las leyes naturales solo nos permite derivar las relaciones entre variables independientes y dependientes, nada en esta situación hipotética garantiza que podamos alcanzar algún valor para las variables independientes, ni medirlos de las variables dependientes. Tal conocimiento sería, en principio, tecnológicamente explotable, pero no para nosotros, ya que todavía careceríamos de los requisitos tecnológicos para tal explotación. Sin embargo, cuando el progreso teórico está vinculado, en virtud de su ideal epistémico guía, a las pruebas experimentales, al menos algunas consecuencias de las relaciones generales confirmadas serán tecnológicamente explotables.

Tercero, cabe señalar que la conexión necesaria entre la confirmación experimental y la explotación tecnológica resultante del

conocimiento científico es un factor primordial para el sorprendente crecimiento de la ciencia a lo largo de los siglos. Esto se debe al mecanismo de retroalimentación incorporado en la ciencia. Los experimentos involucran dispositivos tecnológicos, a menudo de una complejidad asombrosa. Desde finales del siglo XIX, el desarrollo de dispositivos tecnológicos se ha beneficiado enormemente del progreso de las ciencias naturales con apoyo experimental. Por lo tanto, los resultados de la ciencia en una etapa se suman al progreso de la ciencia en la siguiente etapa, y la explotabilidad necesariamente tecnológica de los resultados de la ciencia experimental desempeña un papel preeminente en este proceso.

7. Sumario

Como hemos visto, el concepto moderno de naturaleza ha sido moldeado por la noción de ley natural, concebida ésta como relación universal. Debido a que el ideal epistémico de la ciencia natural moderna no exige la prueba rigurosa de las leyes naturales, el experimento se convierte en el proceso central en la (no-)confirmación de las leyes naturales y de otras relaciones generales. Las relaciones que han sido confirmadas experimentalmente pueden necesariamente ser convertidas en acciones tecnológicas. Desde el punto de vista de este ensayo, el elemento fundamental en la transición hacia la ciencia moderna es el concepto de ley natural, o más generalmente hablando, el concepto de *relaciones* generales en la naturaleza. Dado el papel fundamental de las relaciones generales en la naturaleza, otros tres elementos pueden ser introducidos como elementos característicos de la ciencia moderna: la *matematización* de las relaciones que involucran cálculo, la (no-)confirmación *experimental* de estas relaciones, pero esta última solo si se da al mismo tiempo el *ideal epistémico debilitado* desde la certeza absoluta a la confirmación por apoyo inductivo. Es este paquete de cuatro elementos lo que conduce necesariamente al tipo de tecnología cuantitativa que hoy, y durante más de un siglo, ha influido tan fuertemente en nuestro mundo³⁰.

30 Traducción del inglés de Rolando Núñez Pradenas.

References bibliográficas

- Aristotle (1960). *Posterior Analytics*. Translated by Hugh Tredennick. Edited by G. P. Goold, *Loeb Classical Library*. Cambridge: Harvard University Press.
- (1980). *Aristotle IV, Physics, Books I - IV*. Translated by P.H. Wicksteed and F.M. Cornford, *Loeb Classical Library*. Cambridge MA: Harvard UP.
- Barnes, J. (1975). *Aristotle's 'Posterior analytics'*. Oxford: Clarendon Press.
- Bennett, J. (2017): *Selected Correspondence of Descartes*. http://www.earlymoderntexts.com/assets/pdfs/descartes1619_1.pdf.
- Berti, E. (1981). *Aristotle on science, the "Posterior analytics"*, *Studia aristotelica*. Padova: Editrice Antenore.
- Broadie, S. (1982). *Nature, change, and agency in Aristotle's Physics: a philosophical study*. Oxford: Clarendon Press.
- Carroll, J. W. (2016). "Laws of Nature". In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, edited by E. N. Zalta. URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/fall2016/entries/laws-of-nature/>>.
- Charlton, W. (1970). *Aristotle's Physics. Books 1 & 2*, *Clarendon Aristotle series*. Oxford: Clarendon Press.
- Descartes, R. (2008 [1637]). *Discourse on method of rightly conduction the reason, and seeking truth in the sciences*. <https://www.gutenberg.org/files/59/59-h/59-h.htm#part5>.
- Descartes, R., Adam, C. and Tannery, P. (1897). *Oeuvres de Descartes. Correspondence I*. Paris: Vrin. Available at http://ia800208.us.archive.org/5/items/uvresdedescartesoidesc/uvresdedescartesoidesc_bw.pdf.
- Dijksterhuis, E. J. (1986 [1950]). *The mechanization of the world picture: Pythagoras to Newton*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Dingler, H. (1928). *Das Experiment. Sein Wesen und seine Geschichte*. München: Reinhardt.
- Franklin, A. (1986). *The neglect of experiment*. Cambridge: Cambridge University Press.
- (1989). "The Epistemology of Experiment". In *The Use of Experiment. Studies in the Natural Sciences*, edited by D. Gooding, T. Pinch and S. Schaffer. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 437-460.
- (1999). *Can that be right? Essays on experiment, evidence, and science*. Boston: Kluwer.

- (2008). *Experiment, right or wrong*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Franklin, L. R. (2005). “Exploratory Experiments”. *Philosophy of Science* 72 (5):888-899.
- Galison, P. (1987). *How Experiments End*. Chicago: University of Chicago Press.
- Gooding, D. (1990). *Experiment and the making of meaning: human agency in scientific observation and experiment*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Greene, B. R. (2000). *The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory*. London: Vintage.
- Hacking, I. (1983). *Representing and intervening. Introductory topics in the philosophy of natural science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Heidegger, M. and Gendlin, E. T. (1985). *What is a thing?* Lanham Md.: University Press of America.
- Henry, J. (2004). “Metaphysics and the origins of modern science: Descartes and the importance of laws of nature”. *Early Science and Medicine* 9 (2):73-114.
- Hoyningen-Huene, P. (1996). “Vermischte kritische Bemerkungen [zu Friedrich Rapp: Technik und Naturwissenschaft]”. *Ethik und Sozialwissenschaften* 7 (2/3):453-454.
- (2013). *Systematicity: The Nature of Science*. New York: Oxford University Press.
- Judson, L. (1991). *Aristotle’s Physics: A Collection of Essays*. Oxford: Clarendon Press.
- Kedar, Y. and Hon, G. (2017a). “‘Natures’ and ‘Laws’: The making of the concept of law of nature – Robert Grosseteste (c. 1168–1253) and Roger Bacon (1214/1220–1292)”. *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 61:21-31.
- (2017b). “Roger Bacon (c. 1220–1292) and his System of Laws of Nature: Classification, Hierarchy and Significance”. *Perspectives on Science* 25 (6):719-745.
- Kuhn, T. S. (1977 [1971]). “The Relations between History and the History of Science”. In *The Essential Tensions: Selected Studies in Scientific Tradition and Change*, edited by T. S. Kuhn. Chicago: University of Chicago Press, pp. 127-161.
- (1977 [1976]). “Mathematical versus Experimental Traditions in the Development of Physical Science”. In *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change*, edited by T. S.

- Kuhn. Chicago: University of Chicago Press, pp. 31-65.
- McKirahan, R. D. (1992). *Principles and Proofs: Aristotle's Theory of Demonstrative Science*. Princeton: Princeton University Press.
- Milton, John R. (1981). "The origin and development of the concept of the 'laws of nature'". *Arch. europ. sociol.* XXII:173-195.
- Newton, I. (1934 [1686]). *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. London: Engl. ed. by Florian Cajori, Berkeley: University of California Press, 1934.
- Parry, R. (2014). "Episteme and Techne". In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Fall 2014 Edition)*, edited by E. N. Zalta. URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/fall2014/entries/episteme-techne/>>.
- Reich, K. (1958). "Der historische Ursprung des Naturgesetzbegriffs". In *Festschrift Ernst Kapp zum 70. Geburtstag*, edited by H. Diller and H. Erbse. Hamburg, pp. 121-134.
- Ruby, J. E. (1986). "The Origins of Scientific "Law"". *Journal of the History of Ideas* 47 (3):341-359.
- Schiemann, G. (2009). *Hermann von Helmholtz's mechanism: the loss of certainty. A study on the transition from classical to modern philosophy of nature*. Dordrecht: Springer.
- Solmsen, F. (1970). *Aristotle's system of the physical world; a comparison with his predecessors*. New York: Johnson Reprint Corp.
- Steinle, F. (1995). "The amalgamation of a concept -- Laws of nature in the new sciences". In *Laws of Nature. Essays on the Philosophical, Scientific and Historical Dimensions*, edited by F. Weinert. Berlin: de Gruyter, pp. 316-368.
- (1997). "Entering New Fields: Exploratory Uses of Experimentation". *Philosophy of Science* 64:S65-S74.
- Weinberg, S. (1992). *Dreams of a Final Theory*. New York: Pantheon.
- Weizsäcker, C. (1952 [1947]). "The Experiment". In *The world view of physics*. Chicago: University of Chicago Press.
- Zilsel, E. (1942). "The Genesis of the Concept of Physical Law". *The Philosophical Review* 51 (3):245-279.