

De la física cualitativa basada en los sentidos a la matematización de la ciencia

Francisco Covarrubias Villa, Ph.D.^a
Ma. Guadalupe Cruz Navarro, Ph.D.^b
Policarpo Chacón Ángel, Ph.D.^c

RESUMEN

El artículo busca explicar cómo se dio el tránsito de la física cualitativa de Aristóteles a la física matemática de Galileo, mostrando el sustrato filosófico de los cambios. El método empleado para realizar esta investigación desarrolló las siguientes fases: delimitación del objeto y diseño del esquema de investigación; determinación, análisis y fichado de fuentes de información; codificación de fichas de trabajo; y redacción de los resultados. Se concluyó que los problemas de la ciencia son problemas planteados en una filosofía, que toda teoría científica está sustentada en concepciones ontológicas y epistemológicas afiliadas a Platón o a Aristóteles y que la ciencia ha transitado del conocimiento sensorial aristotélico al conocimiento matemático abstracto. Este artículo es producto de la investigación denominada: *La filiación epistemológica de las teorías científicas*, Clave: SIP 20100181, financiada por el Instituto Politécnico Nacional, México.

PALABRAS CLAVES: matematización, filiación filosófica, teoría, racionalidad.

^{a-b} Instituto Politécnico Nacional, México.

^c Normal de Educación Preescolar de Oaxaca, México.

CORRESPONDENCIA AL AUTOR

^a pancheco@prodigy.net.mx

^b lupitacruz63@hotmail.com

^c polichacon@gmail.com

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 28.01.2011

Revisado: 04.03.2011

Aceptado: 14.03.2011

• Para citar este artículo

• To cite this article

• Para citar este artículo:

Covarrubias, F., Cruz, M. G., & Chacón, P. (2011).

De la física cualitativa basada en los sentidos a la matematización de la ciencia. *Paradigmas*, 3, 9-29.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de Creative Commons Reconocimiento-No comercial- Sin obras derivadas 2.5 Colombia, la cual permite su uso, distribución y reproducción de forma libre siempre y cuando el o los autores reciban el respectivo crédito.



From qualitative physics based on the senses to the mathematization of science

SUMMARY

This article seeks to explain the shift from the qualitative physics of Aristotle to the mathematical physics of Galileo, demonstrating the philosophical underpinnings of the changes. The method used for conducting this research consists of the following stages: definition of the object and design of the research model; identification, analysis and recording of information sources; codification of research note cards; and drafting of research results. The study concluded that the problems of science are problems posed by a philosophy; that all scientific theory is based on ontological and epistemological concepts related to Plato or Aristotle; and that science has shifted from Aristotelian sensorial knowledge to abstract mathematical knowledge. This article is a result of a research project called *The epistemological affiliation of scientific theories*, Code: SIP 20100181, funded by the Instituto Politécnico Nacional. México.

KEYWORDS: mathematization, philosophical affiliation, theory, rationality.

Da física qualitativa baseada nos sentidos à matematização da ciência

RESUMO

O artigo busca explicar como se deu o trânsito da física qualitativa de Aristóteles à física matemática de Galileu, mostrando o substrato filosófico das mudanças. O método empregado para realizar esta pesquisa desenvolveu as seguintes fases: delimitação do objeto e elaboração do esquema de pesquisa; determinação, análise e fichado de fontes de informação; codificação de fichas de trabalho; e redação dos resultados. Concluiu-se que os problemas da ciência são problemas fundamentados em uma filosofia, que toda teoria científica está sustentada em concepções ontológicas e epistemológicas afiliadas a Platão ou a Aristóteles e que a ciência transitou do conhecimento sensorial aristotélico ao conhecimento matemático abstrato. Este artigo é produto da pesquisa denominada: *La filiación epistemológica de las teorías científicas*, Senha: SIP 20100181, financiada pelo Instituto Politécnico Nacional. México.

PALAVRAS-CHAVES: matematização, filiação filosófica, teoria, racionalidade.

Introducción

Las teorías científicas son constructos categórico-conceptuales que implican concepciones determinadas de lo real y de su conocimiento, es decir, una concepción sobre qué es la realidad y otra sobre cómo se conoce esa realidad, por lo que la ciencia aborda problemas filosóficos implicados en la concepción sobre la que la teoría se sustenta; pero, no necesariamente la concepción ontológica de una teoría proviene de la misma filosofía que su concepción epistemológica.

Son dos las concepciones filosóficas matriciales: Platón y Aristóteles. Los corpus teóricos se construyen en andamiajes categórico-conceptuales híbridos, en los que se mezclan concepciones ontológicas y gnoseológicas de origen platónico y aristotélico. En el caso de Galileo, por ejemplo, el enunciado platónico «el alma está escrita en lenguaje matemático» es substituido por «la naturaleza está escrita en lenguaje matemático», lo cual implica el reconocimiento de la existencia de la realidad exterior al sujeto planteada por Aristóteles, la descalificación del planteamiento aristotélico de los sentidos como medio de reproducción de lo real como figura de pensamiento y la aceptación de la cuantificación platónica como medio más objetivo de construcción del conocimiento de la realidad exterior, cuyo carácter verdadero fue negado por el propio Platón.

No es lo mismo pensar el tiempo, el espacio y el movimiento como absolutos (Newton-Hegel), que pensarlos como contenido real concreto (Aristóteles-Einstein), es decir, como ocupación, mutación, rítmica y cadencia del proceso de desenvolvimiento de los objetos reales. Sin embargo, algunas teorías científicas conciben al espacio como agregación (teoría atómico-molecular) y otras como continuum (mecánica cuántica); unas parten del supuesto de la existencia del tiempo absoluto como medida de todas las cosas y otras se basan en una concepción del tiempo relativo despojado de validez universal; Newton piensa en el movimiento como desplazamiento de un objeto en un plano fijo, Einstein, por su parte, niega la posibilidad del fijo y la anulación del movimiento particular en el movimiento de todo, en tanto Aristóteles lo piensa como mutabilidad de los objetos reales.

El alma y los sentidos

En Pitágoras los números son el ser mismo en todas sus categorías; el elemento material y formal, las causas y los principios que se encuentran en todos los seres de la naturaleza a los cuales son existencialmente anteriores. Los números son trascendentes e immanentes, es decir, son cosas porque las cosas son números, de ahí que estudiar los números es estudiar las cosas y que las cosas han de ser estudiadas como números. Como plantea Brun:

El número pitagórico, puesto que es, sobre todo, una figura, posee una individualidad, incluso una personalidad, que expresa las relaciones de la parte y del Todo en el interior de una armonía. Así, el principio primero es el Uno, que encierra en sí todos los números y se eleva por encima de todos los contrarios, es el número de los números. (2002, p. 32).

Esta manera de concebir los números fue asumida por Platón. En él la matemática es el modo de ser y entender del alma; en ella radica el más alto valor cognitivo alcanzable. Por eso, Larroyo (1976) afirma que «las nociones matemáticas no son adquiridas: nacen con el hombre o, por lo menos, están virtualmente innatas, es decir, sólo se desarrollan más tarde, bien que de la propia razón y por virtud de ésta en su desarrollo» (p. 194). El cálculo proviene de la matemática desarrollada por Pitágoras y recuperada por Platón y de la geometría formulada por Euclides. Si la escritura del alma es matemática, la lógica matemática es ontología pues el ser es en el alma, es decir, en la razón, dado que la racionalidad matemática es el *ontos* de las figuras de pensamiento. Conocer la matemática es conocer la realidad en tanto que ésta es lo matemáticamente pensado, por lo que conocer la matemática es conocer el alma (la razón) y conocer el alma es conocerse a sí mismo.

Las figuras geométricas ideales no tienen medida porque son una línea infinita y son unidimensionales. El círculo, el triángulo o el rectángulo pensados son, cada uno, expresión universal y abstracta de una figura libre de medida y de dimensión. Ninguna figura geométrica puede ser trazada realmente tal como aparece en la conciencia, dado que automáticamente adquiere medida y tridimensionalidad. En el interior de la figura geométrica no hay nada, es un vacío y el movimiento no tiene ni tiempo ni velocidad, pues se trata del punto desplazado. La figura geométrica pensada es ejemplar y la medida de la verdad de las figuras

trazadas. El círculo, el triángulo o el rectángulo pensados jamás podrán ser trazados sobre un pavimento pues,

cuando el alma indaga mediante órganos corpóreos, lo que encuentra es variable, mientras que en cambio cuando indaga mediante sí misma, lo que encuentra es estable, claro, límpido y fijo. No pertenece, pues, a la naturaleza de las cosas variables que aferra con el sentido, sino a las de las invariables que encuentra en sí misma (de Cusa, 2008, p. 105).

Nicolás de Cusa es un parteaguas histórico de tránsito del pensamiento aristotélico al platónico en la Edad Media. Su concepción de la geometría y del cálculo es totalmente platónica, mientras que sus concepciones de tiempo, espacio y movimiento pertenecen al pensamiento aristotélico. En Nicolás de Cusa el tiempo es la rítmica y la cadencia con la que deviene el ente; el espacio es su materialidad existencial, el lugar ocupado y el movimiento su mutabilidad y desplazamiento. De este modo, el tiempo, el espacio y el movimiento de un elefante son diferenciales de los de una mosca, un árbol o una galaxia; de ahí que no hay un espacio más allá de los entes existentes, un tiempo aplicable a todos, ni un movimiento más allá de la existencia de un ser concreto.

Para Aristóteles, la matemática es una ciencia abstracta distinta a la ciencia de la naturaleza y de la sabiduría, y la conciencia se apropia del mundo exterior haciendo uso de los sentidos; el espacio es un *continuum*; la Tierra no se mueve y está en el centro del universo y el movimiento, el tiempo y el espacio son cualidad de los objetos concretos. De esta manera, cada objeto es tiempo, es espacio y es movimiento y, si el espacio es el lugar ocupado por un objeto, todos los lugares están ocupados dado que en ellos siempre hay un objeto y no un vacío. El vacío sólo existe en las figuras geométricas y no en los objetos reales, por lo que la geometría no sólo no es útil para la física sino que es inaplicable. Además, no existen en la realidad objetos cuya forma corresponda con la de las figuras geométricas mensurables, por lo que no tiene función cognitiva alguna que los objetos reales sean medidos o pesados. La concepción aristotélica del espacio incluye la idea de que

entre el mundo y dios se extiende una zona intermedia que no es ya la del metaxy platónico, es decir, la esfera de los entes matemáticos, sino que consiste en el conjunto de los cuerpos y de las esferas celestes, incorruptibles, eternas, porque están hechas de éter, es decir, de materia estructuralmente diferente de la del mundo sublunar (Reale, 2007, p. 33).

El mundo celeste es perfecto, preciso y, por lo tanto, objeto de la matemática y de la geometría; el mundo sublunar es imperfecto y distinto a los números y a los entes euclidianos. El mundo sublunar es captado por los sentidos y los objetos que lo constituyen son idénticos a los objetos sentidos (Aristóteles, 2004, p. 142), porque las sensaciones son siempre verdaderas, de ahí que la desaparición de un objeto implique la desaparición de la sensación, mas no la desaparición de una sensación implica la desaparición del objeto (Aristóteles, 2008, p. 44).

Aristóteles (2004) diferencia muy bien sensación y ciencia. La sensación es propia de los sentidos y de las cosas particulares, en tanto que la ciencia lo es de lo universal. Lo universal es propio del alma, sólo que, además, necesita de la cosa para provocar la sensación. Así, lo universal se encarna en lo particular, no puede ser sentido, da a conocer la causa y se llega a ello por inducción.

La ciencia no se adquiere tampoco por la sensación; porque, no obstante que la sensación se refiere a tal cualidad general y no solamente a tal objeto particular, no por eso es menos necesario sentir una cosa especial en tal lugar y en tal momento. Pero lo que es universal, lo que afecta a todos los objetos, no puede en modo alguno ser sentido, puesto que lo universal no es una cosa especial, ni es de tal momento; porque en tal caso dejaría de ser universal, puesto que llamamos universal lo que existe siempre y en todas partes (Aristóteles, 2008, p. 262).

La estructura matemática de los objetos

Descartes y Galileo inician la ciencia moderna recuperando a Platón. Derriban la teoría heliocéntrica de Copérnico en contra de la teoría geocéntrica de Ptolomeo y, más tarde, la nueva ciencia tiene su punto más alto de desarrollo con Newton y su ley de la gravitación universal. Obsérvese como al paso de la historia el tamaño del mundo crece: inicia con el cosmos y acaba convertido en infinito. La infinitud del universo newtoniano implica la construcción de los conceptos absolutos de movimiento, espacio y tiempo, presentes también en la filosofía de Hegel como idea y espíritu.

Las concepciones aristotélicas y la teoría geocéntrica de Ptolomeo dominan durante toda la Edad Media. Nicolás de Cusa, Descartes y Galileo recuperan la matemática de Platón que domina hasta Newton. Luego, Einstein recupera

a Aristóteles y hoy día nos encontramos con múltiples teorías basadas en categorías y conceptos provenientes de diferentes filosofías pero articulados en una sola racionalidad y, por consiguiente, expresados en una sola teoría.

La ciencia inaugurada por Galileo está sustentada en dos ideas: (1) la infinitud asociada a la línea recta y (2) la estructura matemática de la naturaleza. Galileo no aceptó la infinitud del universo pero sí la infinitud ideal de la línea recta.

Ptolomeo coloca a la Tierra en el centro del cosmos; Copérnico desplaza ese centro al Sol; Bruno hace desaparecer el centro y el cosmos, contraponiéndole la categoría de universo la cual implica infinitud, supresión de los arriba y abajo, derecho, izquierdo, norte, sur, oriente y poniente.

No sólo la Tierra es asimilada a los planetas en un «mundo» agrandado y, sin embargo, limitado: el propio Sol, que en Copérnico ocupaba el centro del Universo, pierde su lugar privilegiado. Sin duda conserva la posición central en nuestro mundo; pero en nuestro mundo, el sistema solar no es más que una «máquina» entre una infinidad de «máquinas» que llenan el infinito del universo de Bruno. Por eso el Sol no está en el «centro» del universo, puesto que en este universo infinito, donde una infinidad de astros –de otros soles– se mueven según leyes eternamente determinadas, no hay ni centro ni circunferencia. Nada limita la infinitud del espacio (Koyré, 2005b, pp. 165-166).

Pensar el universo como abierto y regido por leyes eternamente determinadas implica una enorme dificultad intelectual. Por ejemplo, los objetos de la Tierra están regidos por una ley de aplicación restringida al campo gravitacional del planeta; el conjunto de planetas, satélites y objetos que integran el sistema solar están regidos por leyes de aplicación restringida al sistema planetario solar; el sistema solar conjuntamente con todos los sistemas constituyentes de la Vía Láctea se encuentran sometidos a leyes de operación restringida a la galaxia a la que pertenecen. Así, los objetos que van en un avión guardan una relación semejante a la que guardan el conjunto de planetas del sistema solar y el conjunto de sistemas constitutivos de la galaxia. De este modo, las leyes tendrían que operar de manera obligatoria exclusivamente en uno de los ámbitos y no en ámbitos paralelos ni en otros dimensionalmente inclusivos ni comprensivos. Esto, llevado a otro ámbito de lo real, podría implicar que una célula opera bajo determinadas leyes en su interior, con otras en su articulación constitutiva de un órgano y con otras más en la integración de un individuo.

En Descartes, Dios creó el universo operando bajo determinadas leyes que son válidas para la tierra y para el cielo, por lo que la matemática y la geometría

son útiles tanto para conocer los objetos celestes como los terrenales, tan separados por Aristóteles. Aristóteles propone conocer a los objetos reales por lo que son, por sus cualidades; Galileo por lo que no son, es decir, su cuantificación; y la cuántica, por lo que pueden ser.

Si bien en la naturaleza no existe ningún objeto cuyos contornos sean totalmente rectos, tampoco existe ninguno cuyos contornos delinee una curva perfecta, con excepción del cosmos que es sensorialmente evidente y da cuenta del carácter curvo de la bóveda celeste y de sus límites espaciales. La idea de la curvatura es reforzada por la evidencia del movimiento circular de los astros en torno a la Tierra, de ahí que se considere por tanto tiempo, que toda línea aparentemente recta continuada acaba regresando al punto de partida. Sin embargo, la recta es pensable del mismo modo que lo son el círculo, el triángulo, el rectángulo y cualesquiera otras figuras geométricas cerradas o abiertas que no pueden ser trazadas como son pensadas. Pensar la curva es pensar en un espacio contenido en el interior del círculo, una vez que la línea se encuentra con su punto de partida; pensar la curva es, en última instancia, trazar los límites del universo pensándolo dotado de una forma curva. Pensar la recta es pensar en la ausencia de espacio contenido; es pensar al espacio como infinitud e idear al universo sin límites, sin forma y vacío.

Platón consideraba que el conocimiento de los objetos como idea (no como objetos sensibles), está contenido en el alma y en lenguaje matemático, por tanto, ahí reside la verdad, lo imperecedero y lo inmutable. Esta escritura del alma es leída con la razón y, dado que la matemática no es más que el discurso de la razón, la razón es matemática. Galileo usa la matemática de la razón para construir el conocimiento de los objetos y fenómenos reales, contraviniendo la epistemología de Aristóteles que considera que la razón puede apropiarse cognoscitivamente de los objetos haciendo uso de los sentidos.

La ruptura metodológica de la ciencia galileana se sustenta en la consideración platónica sobre cómo los sentidos pertenecen al sujeto y que, lo percibido por medio de ellos, puede ser tan diverso como diverso sea el número de sujetos percibientes. Desde niños a todos se nos enseña que tal es el color verde. Si se les pregunta a tres individuos qué color es el de un objeto determinado de color verde, los tres responderán «verde», independientemente del color que realmente estén viendo, porque, vean el color que vean, aprendieron que ese es el verde, sin que exista manera alguna de establecer qué color es el que realmente están viendo. Lo

mismo sucede con los demás sentidos. Sostiene Descartes: «el sentido de la vista no nos garantiza la verdad de sus objetos menos que los del olfato o del oído la de los suyos; en cambio, ni nuestra imaginación ni nuestros sentidos podrían garantizarnos jamás cosa alguna si nuestro entendimiento no interviniera» (1970, p. 72).

Efectivamente, los sentidos pertenecen al cuerpo del sujeto, al igual que lo sentido, lo cual pone en duda la existencia de todo cuanto esté fuera del sujeto y torna completamente subjetivo lo percibido; en cambio, la cuantificación de los objetos exteriores no depende de la subjetividad sensorial y, por lo tanto, permite un conocimiento objetivo, entendido éste como la correspondencia entre la figura de pensamiento construida y el objeto real del cual se construyó esa figura. Contar, medir, pesar, etcétera, dependen del instrumento y de la precisión en él lograda y no de capacidades sensoriales de los sujetos. Lo expresado cuantitativamente por los instrumentos de medición es tratado matemáticamente y, por tanto, sometido a la lógica matemática, que es una lógica ontológica.

De este modo, la matemática y la geometría, que entre los aristotélicos sólo eran utilizadas para estudiar el cosmos, bajan ahora a la tierra y son usadas para conocer la física terrestre, es decir, el «mundo sublunar» de Aristóteles. Dice Descartes:

todas las cosas que pueden caer en el conocimiento de los hombres se deducen unas de otras de igual modo, y que, a condición solamente de abstenerse de admitir por verdadera ninguna que no lo sea, y de que se guarde siempre el orden debido para deducirlas unas de otras, no puede haber ninguna tan lejana que no se pueda alcanzar ni tan escondida que no pueda descubrirse (1970, p. 48).

El señalamiento de Koyré es contundente:

Galileo fue quizá el primero que creyó que las formas matemáticas se realizaban efectivamente en el mundo. Todo lo que está en el mundo está sometido a la forma geométrica; todos los movimientos están sometidos a leyes matemáticas, no sólo los movimientos regulares y las formas regulares, que quizá no se encuentran en absoluto en la naturaleza, sino también las mismas formas irregulares. La forma irregular es tan geométrica como la forma regular, es tan precisa como ésta; solamente es más complicada. La ausencia en la naturaleza de rectas y círculos perfectos no es una objeción al papel preponderante de las matemáticas en la física. (2000, p. 49).

Existe en Galileo un convencimiento sobre que las leyes de la naturaleza tienen un núcleo matemático y de que las cualidades no son propiedades objetivas de las cosas sino construcciones de nuestros sentidos, por lo que los colores desaparecen junto con los olores, los sabores y las texturas. En su lugar encontramos un mundo real fantasmal integrado por números y figuras geométricas en el que, efectivamente, la blancura o la suavidad no pueden ser ni medidas ni contadas.

Pero, trátase del conocimiento basado en los sentidos o del conocimiento matemático de lo real, los materiales con los que la razón construye conocimiento no son los objetos, los fenómenos o los procesos reales, sino las figuras de pensamiento construidas por la razón, pudiendo ser los objetos reales su fuente de inspiración. La célula a la que conceptualmente se refiere una teoría, no es la célula de este árbol o de aquél animal; es cualquiera de ellas; es todas las células existentes actualmente, las que existieron en el pasado y las que existan en el futuro. Todas están allí, en el concepto y, sin embargo, el concepto de célula no es ninguna célula concreta realmente existente. Lo mismo se puede decir de cualquier concepto como átomo, molécula, montaña, pez o vegetal.

Pero, el asunto se complica cuando se abstrae una cualidad de lo real y se la convierte en categoría. Por ejemplo, un gato es blanco, una paloma es blanca, una nube es blanca. El gato, la paloma y la nube son conceptos, es decir, son contenidos universales de lo concreto y, por tanto, se puede hacer referencia a ellos aludiendo a seres realmente existentes, sin importar que haya gatos negros o pardos y nubes y palomas que no sean blancas. Pero, ¿blancura? No existe ser alguno que sea «blancura», «negrura», «finitud», «circularidad» o «triangularidad», del mismo modo que tampoco existe ser alguno que se llame «masa», «aceleración», «energía» o «velocidad». Lo que existen son objetos que poseen una «masa» y que pueden desplazarse a una «velocidad» determinada, etcétera. Éstas son categorías, es decir, herramientas construidas por la razón que establecen la racionalidad de la teoría y que son atribuidas por Nicolás de Cusa (2008) a la matematización de lo real, afirmando que «de la capacidad de la multiplicidad resultan las cantidades, las cualidades y las demás categorías que proporcionan el conocimiento de las cosas. Cómo ello acontezca, a duras penas se sabe» (p. 90).

Independientemente de si la matemática alude o no a objetos reales, es decir, se trate de un despliegue racional formal o del procesamiento de datos cuantitativos supuestamente tomados de objetos reales, los contenidos están determinados

por la racionalidad con la que se investiga y los datos son procesados con la lógica de esa racionalidad matemáticamente expresada. Lo cual hace emerger el problema de si la matemática posee una sola lógica o si existen matemáticas construidas con lógicas diferentes; si la matemática contiene también una sola ontología, ninguna o tantas ontologías como lógicas diferenciales.

El conocimiento construido con datos matemáticamente expresados y procesados, constituye un despliegue formal de la conciencia, en el que los objetos concretos reales aristotélicos han desaparecido, trabajándose con figuras de pensamiento que sólo tienen sentido en la teoría de la que forman parte o en teorías con la misma filiación ontoepistemológica. Es hasta Galileo que se da el divorcio definitivo entre la ciencia cualitativa y la ciencia cuantitativa porque, como señala Brun «los Pitagóricos no han consumado el divorcio entre la cantidad y la calidad; para ellos hay un elemento espiritual de los números que les da existencia verdadera, que no se puede reducir a simples medidas» (2002, p. 38).

Para arribar a la matematización de los objetos reales es necesario diferenciar lo sensorial de lo racional y dar prioridad al segundo. Y esto es percibido claramente por Descartes cuando señala: «Luego, por añadidura, yo tenía ideas de varias cosas sensibles y corporales: pues aun suponiendo que soñara y que fuera falso todo cuanto veía o imaginaba, no podía negar, empero, que las ideas no estuvieran realmente en mi pensamiento...» (1970, p. 69-70). Resulta sorprendente que un pensamiento idealista como el platónico esté en la base del proceso de conversión de la ciencia en fuerza productiva y que la matematización del proceso de construcción de conocimiento sienta las bases de la aplicación de la geometría y la precisión matemática a la construcción de herramientas, aparatos e instrumentos. La geometría y la matemática –consideradas por los griegos como útiles sólo para el estudio de los objetos celestes– son usadas ahora para el estudio de los objetos terrenales, antes considerados por los aristotélicos como no matematizables. Ahora, la matemática y la geometría operan «así en la tierra como en el cielo».

Del mismo modo que en Platón, en Galileo el conocimiento científico se construye por medio del pensamiento puro, del ejercicio de la razón y no por medio de los sentidos. En la ciencia, por tanto, se formulan experimentos en la pureza de la idea y se construyen instrumentos para percibir, medir o contar contenidos de la razón y no contenidos de lo real empírico que es en donde habita la experiencia. El experimento científico se vuelve contra la experiencia empírica.

La ciencia moderna galileana nace con el régimen capitalista en su etapa mercantil, en medio del proceso manufacturero. A pesar del pensamiento geométrico-matemático de los presocráticos y de los platónicos orientado al entendimiento de lo divino (alma y cielo), en ellos no sólo no surge la idea de su aplicación al conocimiento de lo real, sino que ni siquiera se plantea su aplicación empírica en el diseño de herramientas. Dicho de otra manera, entre los griegos presocráticos y clásicos no surge la idea de la ciencia como fuerza productiva en forma de herramientas o máquinas, dado que la producción de satisfactores recaía en la fuerza de trabajo humana esclavizada.

Si descontamos el uso ocasional, no sistemático del agua en los molinos y del viento en las velas de los barcos, podemos advertir que, en general, la fuente de energía básica que utilizaron griegos y romanos fue la del músculo humano esclavizado. Ni al griego ni al romano interesó jamás la búsqueda de una ciencia aplicada a dominar la naturaleza para aliviar el trabajo humano, premisa que hoy, desde que tal cosa fue formulada por Bacon y retomada por Descartes, nos parece tan «natural» y común (Labastida, 1976, p. 54).

En cambio, en Descartes aparece claramente expresado un nuevo modo de concebir al mundo: la naturaleza como un inmenso arsenal de recursos utilizables para producir satisfactores de las necesidades humanas, la cual se puede controlar y dominar. Como dice Castoriadis:

Es el imaginario «racional» capitalista. Y que va a la par de la secularización, de la decadencia de la religión, y de la decadencia de todo sentido cabalmente instrumental, que, claro está, es a la vez profundamente inadecuada en cuanto a la cosa misma –por esta razón se necesita filosofía– y totalmente inapropiada si se trata de cimentar la sociedad, de hacer que tenga cohesión (2004, p. 219).

El idealismo platónico es recuperado para conocer y para actuar en el dominio de la naturaleza y en la explotación capitalista del trabajo humano.

El mecanicismo de la física clásica –galileana, cartesiana, hobbesiana, ciencia activa, operativa, que debe hacer del hombre «el dueño y señor de la naturaleza»– se explicaría, entonces, por ese deseo de dominación, de acción; sería una simple transposición de esta actitud, una aplicación a la naturaleza de las categorías del pensamiento del homo faber; la ciencia cartesiana –y a fortiori, la de Galileo– sería, como se ha dicho, «una ciencia de ingeniero» (Koyré, 2005b, p. 2).

No se trata ahora del proceso aristotélico de llevar la realidad exterior a la conciencia, construyendo con ello figuras de pensamiento y teorías, sino del proceso inverso, llevar de la teoría pura a la práctica los contenidos de la razón.

El Aristóteles matemático

Las comunidades primitivas construyeron múltiples concepciones de la Tierra. Unas concepciones son totalmente sensoriales y otras poseen un carácter mítico o mágico que devinieron posteriormente en ideas religiosas. «Según el pensamiento mítico, la Tierra descansaba sobre una base firme, por ejemplo de raíces que debían hundirse en la nada de lo inexplicable» (Herbig, 1991, p. 102). Su forma era la de un disco plano cubierto por una bóveda celeste, fijo en el espacio y alrededor del cual giraban el Sol y la Luna.

La concepción de un mundo regido por leyes no es consubstancial al pensamiento empírico, religioso, artístico o teórico, ni resultó del estudio de la naturaleza. Según Herbig, «no fue la naturaleza quien hizo de modelo para la concepción de Anaximandro de un cosmos a modo de un orden jurídico de las cosas, sino que el modelo fue el orden jurídico de la “polis” griega» (1991, p. 108). Para Anaximandro la Tierra «no es redonda, ya no es el disco plano que la gente se había imaginado hasta entonces. Su forma se asemeja a un segmento de fuste de columna con un diámetro tres veces mayor que su altura. La humanidad vive en uno de los lados planos. Lo que hay en el otro lado permanece desconocido» (Herbig, 1991, pp. 99-100). La Tierra está suspendida en el centro del universo esférico en el cual no existe el arriba ni el abajo.

Entre los presocráticos hubo quienes sostuvieran la divisibilidad infinita de la materia, como es el caso de Anaxágoras (Brun, 2002, p. 121) y quienes consideraban la existencia de un límite de la divisibilidad, como fue sostenido por Leucipo y por Demócrito. La concepción de la divisibilidad infinita de la materia no tuvo muchos partidarios, en tanto que el atomismo ha contado con adeptos en toda la historia posterior a su formulación por Leucipo. Evidentemente, Leucipo y Demócrito no podían basar sus concepciones en observaciones experimentales, si se considera que la experimentación científica nace con la ciencia moderna galileana y que los griegos construían teoría con base en el entendimiento y los sentidos. Sin embargo, si se tiene en

cuenta que los problemas que la ciencia se plantea son problemas filosóficos, no cabe duda que la presencia de referentes filosóficos en los bloques de pensamiento de los científicos implica su activación en la construcción de teorías y en la práctica investigativa en general, sin que ello implique la consciencia de tal participación y aunque jamás el científico concreto haya leído nada sobre un filósofo en particular. La vida cotidiana está repleta de alusiones filosóficas transmitidas e incorporadas a las ciencias sin que quien las recibe esté consciente de lo que está sucediendo.

La teoría atómica de Leucipo combina la idea parmenidiana del carácter imperecedero e increado del ente, la de existencia múltiple y mutable, y la del vacío en el que los átomos se mueven (Herbig, 1991, pp. 222, 292-295). La idea del vacío newtoniano se construye recuperando los planteamientos de Leucipo y Demócrito, para quienes el vacío es la zona en la que los átomos se desplazan libremente, pues el vacío no está dentro del átomo sino fuera de él en las partículas que, por agregación de átomos, se constituyen; los átomos se mueven en el vacío y chocan entre ellos o se aglutinan pero sin perder nunca su individualidad (Brun, 2002, pp. 131-135; Herbig, 1991, p. 295). En esta concepción, los átomos y el vacío son lo único real, son la cosa, la substancia y no sus propiedades (color, olor, sabor), las cuales son percibidas por medio de los sentidos.

Es frecuente el enfrentamiento entre teorías poseedoras de diferentes racionalidades por conceptos o categorías mal comprendidas. Pero, sucede más frecuentemente entre categorías epistémicas a las que se les interpreta con contenidos propios de categorías ónticas que las coloca muy cerca de los conceptos. Una categoría o un concepto pueden no existir en un constructo teórico, por no pertenecer a su racionalidad, es decir, por no ser parte de su andamiaje categórico-conceptual y, sin embargo, ser víctima de la embestida desde una racionalidad ajena a la suya. Por ejemplo: el concepto de «espacio vacío» puede significar en una teoría «ausencia absoluta» mientras que en otra «contenido imperceptible». Puede usarse el mismo vocablo en dos teorías y suponer que se están refiriendo a lo mismo cuando, en realidad, se está hablando de ontologías completamente distintas. A esto se debe lo planteado por Koyré cuando dice que:

Descartes no se contenta con afirmar, como Giordano Bruno y Kepler, que realmente en el mundo no hay espacio vacío y que el espacio del mundo está lleno por todas partes de «éter». Va mucho más lejos y niega que exista en absoluto algo así como el «espacio», una entidad distinta de la «materia» que lo «llena». La materia y el espacio son idénticos y sólo se pueden

distinguir por abstracción. Los cuerpos no están en el espacio, sino tan sólo entre otros cuerpos; el espacio que «ocupan» no es nada distinto de ellos mismos (2005a, p. 99).

En el caso de la radicalización de la postura cartesiana contra Bruno y Kepler, Descartes está asignándoles un carácter conceptual a las categorías aristotélicas de «espacio» y «materia» sustentadas por Bruno y Kepler. Descartes asume la matemática pitagórico-platónica y la geometrización de lo real conjuntamente con la concepción aristotélica del espacio como *continuum* que implica la negación del vacío en todas sus acepciones. Véase cómo en la constitución de una teoría se integran categorías de diferentes racionalidades teóricas que posteriormente pueden ser pensadas como antagónicas. Antes que Descartes, Nicolás de Cusa ya lo había hecho y lo mismo sucede con Giordano Bruno y con Kepler: construyen teorías híbridas cuya contradictoriedad racionalidad interna impide su asunción por otros científicos o filósofos.

El razonamiento cartesiano que desemboca en la negación del vacío únicamente tiene validez en función de la ontología aristotélica: al no ser el espacio vacío ni sustancia ni accidente, sólo puede ser nada, y la nada, como evidentemente no puede poseer atributos, no puede ser objeto de mediciones; el volumen, la distancia, no pueden medir la nada; las dimensiones deben ser dimensionales de algo, es decir, de una sustancia y no de la nada (Koyré, 2000, p. 309).

En Newton, el vacío leucipiano es convertido en universo y el universo en espacio infinito y vacío absoluto; el mundo es tiempo y espacio constituido por átomos que, en integraciones diferenciales, constituyen los objetos de la sensación. Ese mundo opera bajo leyes que pueden ser descubiertas por experimentación dado que están en lo real con independencia de la conciencia (Pérez, 2005, p. 335).

Posiblemente la idea de diferencialidad aristotélica entre la fisicalidad terrenal del mundo sublunar y lo celestial del mundo supralunar proviene de Demócrito quien sostiene que:

el alma es corpórea y de naturaleza ígnea, compuesta del mismo fuego que el que se encuentra en los cuerpos celestes. Ella mueve el cuerpo, en el cual reside, de la misma manera como ella se mueve a sí misma. Esta alma es mortal y muere con el cuerpo; los átomos que la componen se separan en ese mismo momento. Los contactos con los cuerpos externos mueven el alma en el cuerpo y así causan las sensaciones (Brun, 2002, p. 138).

Para Aristóteles, el universo está constituido por dos regiones: la región sublunar y la supralunar. El primero contiene el mundo de lo material y sensible constituido por una pluralidad de seres o sustancias. La naturaleza es móvil y cambiante, y los objetos no corresponden con los esquemas geométricos ni con la exactitud de la matemática; por ello es que éstas no son útiles para conocer lo terrenal y sí lo son para comprender lo celeste que es incorruptible, ordenado y regular. En el mundo supralunar se encuentra una sustancia simple e inmóvil, inmutable e incorruptible, a la que llamó *Theós*. Esta región empieza en la órbita de la Luna y termina en la esfera de las estrellas, después de la cual no existe nada; los objetos son incorruptibles, están hechos de éter y giran en círculos perfectos; el espacio es un *continuum*. En el pensamiento aristotélico la matemática y la geometría no tienen cabida en el campo de la física pero sí en el de la astronomía.

Asimismo, para Aristóteles, el movimiento es una cualidad de la sustancia que adopta diversos estados: potencia y acto, por tanto, el movimiento consiste en el paso de la potencia al acto, es decir, un cambio de cualidad o cambio de estado y no una de sus formas, es decir, un estado o cambio de posición como en la mecánica de Galileo y de Newton (Kuhn, 1989, pp. 64, 67). El estado natural de los objetos es el reposo que se altera por un movimiento violento que arranca al objeto de su lugar natural. El «lugar» en Aristóteles es el recipiente inmóvil, en tanto que el recipiente es un lugar móvil (Reale, 2007, p. 74). El tiempo es eterno y una determinación del movimiento pues no hay tiempo sin movimiento (Reale, 2007, p. 61). Como el espacio es el lugar que un cuerpo ocupa y como todos los cuerpos son finitos, el infinito no existe en acto sólo en potencia como el número, el éter y el tiempo. En cuanto al mundo supralunar, Aristóteles consideraba que «los astros giraban alrededor de la Tierra en órbitas perfectamente circulares sin impulso exterior y en un movimiento perpetuo...» y que estaban constituidos de un elemento que no existía en la Tierra: el «éter» (Herbig, 1991, p. 24).

La física sublunar y la astronomía aristotélicas se convirtieron en la concepción predominante en la Europa medieval.

En la Europa medieval se aceptaba por lo general que la tierra se encontraba en el centro de un universo finito y que el sol, los planetas y las estrellas giraban alrededor de ella. La física y la cosmología que proporcionaban el marco conceptual en el que se asentaba la astronomía eran básicamente las

desarrolladas por Aristóteles en el siglo IV a. C. En el siglo II de nuestra era, Tolomeo ideó un sistema astronómico detallado que especificaba las órbitas de la Luna, el Sol y todos los planetas (Chalmers, 2001, p. 99).

Pero en el siglo XVI, Copérnico da a conocer una teoría en la que se sostiene que la Tierra se mueve alrededor del Sol conjuntamente con un grupo de planetas, en un mundo finito pero inmenso «comprendido en una esfera material u orbe, la esfera de las estrellas fijas, que posee un centro, un centro ocupado por el Sol» (Koyré, 2005a, p. 35). Entre los presocráticos se desarrollaron dos líneas interpretativas del movimiento: una, en la que el movimiento (entendido como cambio o como desplazamiento de un objeto) es efecto de causas independientes a las cosas que se mueven y, otra, en la que el movimiento es concebido como algo dado. En el primer grupo se encuentran Parménides, Empédocles y Anaxágoras; en el segundo, Anaximandro, Anaxímenes y Heráclito (Herbig, 1991, pp. 281-282). La concepción del movimiento como algo dado es asumida por Galileo y Newton, en tanto que Aristóteles y sus seguidores asumen la concepción originalmente asumida por Parménides.

Galileo aplica la matemática a la física y la física a la astronomía. No discute la aplicabilidad de la matemática y la geometría a la física, ni si los objetos celestes son objeto o no de estudio de la física. Lo hace. Las observaciones telescópicas de Galileo corrigen y refuerzan la teoría copernicana y es con Newton cuando se unifica el reino del cielo y el de la tierra. Newton es la cumbre de la matematización y geometrización del mundo.

La línea recta está asociada a la idea de infinitud del universo desarrollada por Galileo y contrapuesta a Ptolomeo, lo cual confronta la filosofía de Platón con la de Aristóteles. La curva expresa la idea del eterno retorno: tanto del punto físico de partida como del punto histórico social. En la línea curva, el punto de partida es punto de llegada, lo cual implica la idea de circularidad del universo, reforzada por la inexistencia de la línea recta en la naturaleza. El punto de partida, en la teología judeo-cristiana, es Dios; el punto de llegada es el Reino de los Cielos, con Dios. El punto de partida, según Marx, es el comunismo primitivo y el punto de llegada es el comunismo. El punto de partida, en Hegel, es la Idea Absoluta y el punto de llegada el Espíritu Absoluto.

Nicolás de Cusa declara la infinitud del universo y Giordano Bruno la asume negando explícitamente la existencia de un centro en el universo. Descartes, por cuestiones religiosas, se niega a llamar infinito al universo porque tal calificativo sólo corresponde a Dios y opta por llamarlo «indefinido» (Labastida, 1976, p. 204). Galileo definitivamente se declara partidario de la finitud y Newton formula la teoría del universo como un infinito vacío. «Véase, entonces, todo lo que puede implicar el cambio de acento en un tipo de movimiento: el circular o el rectilíneo: el circular se da en un mundo cerrado, el recto, en cambio, en un mundo abierto y potencialmente infinito: el movimiento en línea recta destruye las fronteras del *cosmos*» (Labastida, 1976, p. 204).

Efectivamente, la línea curva delimita un espacio contenido en su interior; la línea recta es el vacío porque no incluye nada. Las figuras geométricas tienen límites; la línea recta no. La línea de la figura posee un espacio limitado por ella con posibilidades de ser medido, en tanto que la recta no contiene espacio alguno sino que ella se encuentra contenida en él, resultando inmensurable (inmenso) e infinito (interminable) dado que el espacio se continúa con la línea misma. La idea de espacio infinito y su carácter inmensurable en tanto universo, plantea el problema de su medición no en tanto espacio total sino absoluto. El universo es inmensurable como tal pero, pensado como absoluto se reduce a la medida y se diluye en ella. Más allá de que el universo no pueda ser medido, lo existente en él sí puede serlo convirtiéndose «los objetos» o «las sustancias» en centímetros, pulgadas, leguas o micras, tornándose la distancia entre objetos y los lugares ocupados por ellos en la universalidad expresada en la cuantificación de su medida. De este modo, la medida conduce al absoluto en cuanto contenido universal de lo concreto.

Del espacio infinito se transita al espacio absoluto y de éste al tiempo absoluto y al movimiento absoluto. El movimiento se mide por el tiempo y no por la distancia, es decir, no por la substancia por la cual se desplazó y el tiempo, el espacio y el movimiento acaban siendo conocidos por lo que no son, por los números resultantes de su matematización. Dice el cardenal de Cusa:

puesto que el movimiento del cielo es numerado por la mente, y el tiempo es la medida del movimiento, el tiempo no puede agotar la capacidad de la mente, sino que ésta siempre permanecerá como término, medida y determinación de todas las cosas medibles. Los instrumentos que la mente humana

posee para medir los movimientos celestes demuestran que no es el movimiento el que mide a la mente, sino que es la mente la que mide el movimiento (2008, pp. 105-106).

El peso, la altura, el volumen o la masa de un «objeto» o de una «sustancia» no son el «objeto» o la «sustancia» y pueden ser subsumidos en los pesos, altura, volúmenes y masas de otros «objetos» o «sustancias» sin importar su identidad ni la de los otros.

Los múltiples tiempos y espacios de los concretos reales percibidos por el sentido común son falsos; el tiempo y el espacio verdaderos son los que los contienen a todos; son el tiempo y el espacio abstractos opuestos al tiempo y al espacio sensibles. Es decir, Platón *versus* Aristóteles.

Así, pues, el lugar –locus– es algo que está en los cuerpos y en el cual están a su vez los cuerpos. Y, del mismo modo que el movimiento es un proceso en el que los cuerpos cambian de lugares sin llevárselos con ellos, sino dejándolos para otros, la distinción entre espacios relativos y absolutos implica necesariamente la distinción entre movimiento relativo y absoluto y, vice versa, está implicada por ésta (Koyré, 2005a, p. 154).

Asombrosamente, Nicolás de Cusa había planteado ya una idea muy cercana al absoluto newtoniano. Dice: «En efecto, el concepto absoluto no puede ser otra cosa que la forma ideal de todo aquello que puede ser concebido, la cual es la igualdad de todas las cosas capaces de ser formadas» (2008, p. 46). Y más adelante: «...lo que no es ni más grande ni más pequeño lo llamamos igual. El ejemplar absoluto es, por tanto, igualdad, precisión, medida o justicia, e idénticamente también verdad y bondad, y es la perfección de todos los ejemplares» (p. 49).

Conclusiones

Las teorías científicas son propuestas de intelección de problemas filosóficos y se construyen con categorías y conceptos que expresan las concepciones ontológicas o epistemológicas de Platón o Aristóteles, a pesar de que éstas son antagónicas. Para Platón en el alma radica lo verdadero que es inmutable e infinito y está escrito en lenguaje matemático. La ciencia galileo-newtoniana aplica la matemática

pitagórico-platónica a la física, reconociendo la existencia de lo real con independencia de la conciencia, tal como es planteado por Aristóteles, pero abandonando el estudio de sus cualidades.

Para el pensamiento galileo-newtoniano el universo es infinito y la validez de la matemática para construir conocimiento incluye todo, es decir, lo terrenal y lo celestial, que había sido separado por Aristóteles. La física relativa y la mecánica cuántica replantean el concepto de objeto de estudio de la ciencia newtoniana, conciben al tiempo, al espacio y al movimiento como contenido de lo real y proponen la cualidad como objeto de estudio en contraposición al estudio de las sustancias. El objeto de la teoría es una relación entre símbolos y no uno o varios objetos reales.

Si seguimos la lógica del planteamiento de Koyré consistente en llamar a Galileo «La venganza de Platón», podría llamarse a Einstein «La venganza de Aristóteles». Galileo recupera la matemática platónica, cuantifica lo real y niega el carácter objetivo del conocimiento cualitativo aristotélico; Einstein recupera la concepción aristotélica del espacio, tiempo y movimiento como contenido de lo real concreto sin abandonar la matemática platónica. La mecánica cuántica de Heisenberg piensa al espacio como *continuum* y formula el principio de incertidumbre sólo concebible matemáticamente.

Referencias

- Aristóteles. (2002). *La política*. México: Gernika.
- Aristóteles. (2003). *Ética nicomaquea*. Buenos Aires: Losada.
- Aristóteles. (2004). *Acerca del alma*. Buenos Aires: Losada.
- Aristóteles. (2008). *Tratados de lógica*. México: Porrúa.
- Brun, J. (2002). *Los presocráticos*. México: Publicaciones Cruz.
- Castoriadis, C. (2004). *Sujeto y verdad en el mundo histórico-social*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- Chalmers, A. F. (2001). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia? Una valoración de la naturaleza y el estatuto de la ciencia y sus métodos*. México: Siglo XXI.
- De Cusa, N. (2008). *Diálogos del idiota*. Navarra: EUNSA.
- Descartes, R. (1970). *Discurso del método*. Buenos Aires: Losada.
- Herbig, J. (1991). *La evolución del conocimiento*. Barcelona: Herder.

- Koyré, A. (1994). *Pensar la ciencia*. Barcelona: Paidós.
- Koyré, A. (2000). *Estudios de historia del pensamiento científico*. México: Siglo XXI.
- Koyré, A. (2005a). *Del mundo cerrado al universo infinito*. México: Siglo XXI.
- Koyré, A. (2005b). *Estudios galileanos*. México: Siglo XXI.
- Kuhn, T.S. (1989). *¿Qué son las revoluciones científicas? Y otros ensayos*. Barcelona: Paidós ICE/UAB.
- Labastida, J. (1976). *Producción, ciencia y sociedad: de Descartes a Marx*. México: Siglo XXI.
- Larroyo, F. (1976). *Filosofía de las matemáticas*. México: Porrúa.
- Pérez de Laborda, A. (2005). *Estudios filosóficos de historia de la ciencia*. Madrid: Encuentro.
- Reale, G. (2007). *Introducción a Aristóteles*. Barcelona: Herder.