

LA FILOSOFÍA DE GALILEO Y LA CONCEPTUALIZACIÓN DE LA CAUSALIDAD FÍSICA

Rafael Martínez. Ateneo della Santa Croce. Roma

Resumen: Para analizar la relación existente entre la ciencia y la reflexión filosófica, resulta necesario examinar los conceptos básicos presupuestos por las teorías científicas, el uso que de ellos se hace y su evolución. Este análisis puede favorecer la comprensión del carácter parcial y contextual, pero auténtico, de la verdad que la ciencia obtiene. Con este fin se examina el concepto de causalidad en Galileo, mostrando cómo su uso de las nociones causales manifiesta una transformación más profunda de su significado, de alcance propiamente filosófico. Se trata de una transformación compleja que lleva desde una causalidad ontológica, eficiente y metafísica, a una causalidad lógico-fenomenica, formal-nomológica y físico-factual, que a pesar de sus limitaciones —entre ellas la ausencia de la noción de fuerza— resulta determinante y anticipa la conceptualización de la causalidad de la filosofía moderna.

Abstract: In order to analyse the relationship between science and philosophical reflection it is necessary to examine the basic concepts presupposed by scientific theories, their use and their evolution. This analysis can favour the understanding of the partial and contextual, but authentic, character of the truth that science obtains. With this aim we shall examine Galileo's concept of causality, showing how his use of causal notions manifests a more profound transformation of its meaning, that reaches a philosophical level. It is a complex transformation that goes from an ontological, efficient and metaphysical causality, to a logico-phenomenal, formal-nomological and physico-factual one. In spite of its limitations, for instance the absence of a notion of physical force, that concept of causality determines and anticipates the conceptualisation of causality in modern philosophy.

1. Planteamiento inicial: ¿qué es «la filosofía de los científicos»?

Una reflexión sobre la filosofía de los científicos ocupa un lugar importante en el actual panorama filosófico. La preeminencia que posee la ciencia hoy a todos los niveles aconseja que también la filosofía asuma como uno de sus puntos de referencia el pensamiento de los principales científicos. Y sin embargo, la expresión «filosofía de los científicos» puede producir cierta perplejidad. No sólo se trata de un aspecto difícilmente abarcable en toda su extensión histórica, sino que además se presenta con un cierto carácter ambiguo o polifacético.

Son incontables, ciertamente, las figuras que a lo largo de los siglos han aunado la práctica científica y la reflexión filosófica: hay filósofos que por derecho propio pertenecen a la historia de las ciencias, y hay científicos que «han hecho filosofía», de los que la historia del pensamiento no puede prescindir. La diversidad de contextos, propósitos y métodos dificulta sin duda una comprensión unificada, y obliga a establecer alguna delimitación histórica, aunque esto suponga siempre cierta arbitrariedad. Podemos por eso limitarnos a los representantes de la ciencia moderna. A pesar de las diferencias de método o de contenido, en la ciencia moderna, ya desde Galileo, se da una concepción unitaria de la ciencia experimental, como actividad dirigida hacia un conocimiento teórico-práctico de la realidad, que parte de la experiencia y que cuenta entre sus características con el rigor, la objetividad y la capacidad de previsión y de «control» sobre los procesos del mundo físico¹.

Pero la ambigüedad no desaparece completamente. Al margen de esta delimitación histórica podemos hacernos otra pregunta: ¿qué significa para estos científicos «hacer filosofía»? A veces con esta expresión se designa un fenómeno actualmente frecuente, como son los libros de carácter divulgativo, escritos a veces con intención polémica o provocativa por científicos de mayor o menor talla². Otras veces, en cambio, parece querer referirse a un tipo de reflexión más profunda sobre cuestiones propiamente filosóficas, como las que nos han legado Einstein, Planck o Heisenberg acerca de la realidad del mundo, el bien, la libertad o la verdad. Pero también podría referirse a algo de mayor entidad, sistemática y teórica. Cabe entonces la posibilidad de limitarse a las «filosofías» elaboradas de un modo sistemático por científicos, como Pascal o Leibniz, y algunos grandes nombres, más cercanos en el tiempo, como Claude Bernard, Ernst Mach, Pierre Duhem, Bertrand Russell, Alfred N. Whitehead o Michael Polanyi.

Parece lógico que en todos estos casos se hable de una filosofía de científicos. Pero su alcance y su valor son claramente muy distintos. En el primer caso hay que conceder que se trata de una visión general de la realidad, no demasiado rigurosa, y cuya vida se reduce muchas veces a la campaña publicitaria del libro en cuestión. La reflexiones del segundo tipo, por otra parte, aunque manifiestan las posiciones filosóficas de algunos

¹ Entre las diversas posibles caracterizaciones de la ciencia, en base a criterios históricos, metodológicos o sociales, destaca su consideración en base a la unidad de un doble objetivo, teórico-práctico: el conocimiento alcanzado a través de una actividad teórica, y su control experimental mediante el establecimiento de correlaciones entre los contenidos teóricos y la base observativa. Cfr. M. Artigas, *Filosofía de la ciencia experimental*, 2ª ed., Pamplona, Eunsa, 1992, en particular pp. 13-20.

² Basta recordar los nombres de S. Hawking, S. Weinberg, J. D. Barrow, P. Davies, I. Asimov o C. Sagan, para notar la diversidad de planteamientos y profundidad que se dan en este tipo de publicaciones.

científicos, con frecuencia no pasan de tener más que una relación meramente accidental con la ciencia. Este es el caso de las ideas de Einstein acerca de la política mundial o de la religión cósmica³, de la doctrina de la sensación de Galileo⁴, o de algunas propuestas actuales acerca de la auto-creación del universo. Y lo mismo puede decirse de tantos sistemas filosóficos elaborados por científicos, muchos de los cuales abandonaron la práctica científica por la reflexión filosófica.

Si se quiere dar al concepto de «filosofía de los científicos» un contenido más profundo, que se refiera a una comprensión del mundo íntimamente relacionada con la ciencia, que la determina y que en ella hunde sus raíces, habrá que dirigirse probablemente hacia un nivel de reflexión distinto, que no es posterior a la misma actividad científica, como aquellos, sino que de algún modo la precede y acompaña. No se tratará generalmente de una filosofía elaborada por los científicos de un modo consciente, por lo que será inútil muchas veces ir a buscarla en sus *excursus* filosóficos. Aparecerá en cambio al examinar cuáles son los conceptos básicos, los esquemas conceptuales y los presupuestos del desarrollo de la ciencia. Ésos son, en efecto, contenidos «filosóficos», que *permanecen* dentro de las mismas teorías científicas y fundamentan su propio carácter significativo. Por esta razón pueden ser considerados en un sentido más propio como «la filosofía de los científicos», pudiendo enseñarnos algo acerca del valor y del sentido de la misma ciencia.

2. La filosofía de Galileo científico

Galileo Galilei (1564-1642) reúne de un modo eminente los diversos tipos de reflexión filosófica que hemos mencionado. Su capacidad retórica, unida a un estilo literario brillante y provocativo, le procuró la admiración de unos y la oposición de otros, y le sirvió no poco a la hora de exponer sus ideas acerca de la constitución del universo y de la naturaleza de la realidad material. Las interpretaciones de su pensamiento son ciertamente muchas, y van de un extremo al otro: se le ha visto como un empirista radical⁵ y como un platónico convencido⁶; como un atomista provocador⁷ y

³ Cfr. las colecciones de artículos: A. Einstein, *The World as I see it*, New York, Covici-Friede, 1934; *Out of My Later Years*, New York, Philosophical Library, 1950.

⁴ Cfr. Galileo, *Il Saggiatore* (1623), en *Le Opere di Galileo Galilei*, Edición Nacional, dirigida por A. Favaro, Florencia, G. Barberà, 1890-1909, vol. VI, pp. 347-348 (a partir de ahora se indicará con EN y el número del volumen).

⁵ Es ésta la interpretación tradicional de Galileo, defendida actualmente por S. Drake, *Galileo at Work. His Scientific Biography*, Chicago, Univ. of Chicago Press, 1978; *Cause, experiment and science*, Chicago, Univ. of Chicago Press, 1981.

⁶ Cfr. A. Koyré, «Galileo and Plato», *Journal of the History of Ideas*, 4 (1943), pp. 400-428; reproducido en A. Koyré, *Estudios de historia del pensamiento científico*, Madrid, Siglo XXI, 1983,

como un seguidor de la metodología tradicional de Aristóteles⁸. Y efectivamente resulta posible hallar en sus escritos elementos que apuntan en todas esas direcciones. Pero si lo que se busca es comprender el porqué de su ciencia, su significado y su alcance, resultará conveniente acudir a los presupuestos conceptuales de su ciencia, buscando en ellos la raíz de su concreto desarrollo científico y filosófico.

Reflexionar sobre la filosofía de Galileo, entendida en este sentido, resulta importante también por un motivo relacionado con la visión dominante del progreso científico, que muchas veces reduce notablemente el valor teórico de la ciencia clásica. Entre los epistemólogos de matriz popperiana resulta frecuente ver en la ciencia clásica solamente un intento falsificado por la revolución conceptual de este siglo⁹. Para la filosofía de la ciencia kuhniiana, por su parte, esta revolución habrá supuesto un cambio de paradigma tal, que la ciencia actual sería inconmensurable con la de Galileo o Newton. Desde un punto de vista estrictamente científico ninguna de estas posiciones extremas resulta aceptable. En numerosos aspectos la ciencia de Galileo no ha sido desde luego falsificada, aunque su cuadro conceptual haya sido superado por la actual comprensión de los fenómenos astronómicos y mecánicos, que no sólo ha ampliado enormemente los «detalles» conocidos, sino que también ha modificado radicalmente la imagen global que permitía su comprensión. Parece darse aquí una cierta contradicción. ¿Cómo reconocer la existencia de auténticas revoluciones científicas, con la consiguiente superación de las teorías científicas, y afirmar al mismo tiempo la validez perenne de ciertos logros de la ciencia clásica? Cualquier intento de solución pasa por reconocer el carácter parcial de la verdad científica, que se halla condicionada por el contexto histórico y conceptual de cada momento¹⁰. El análisis temático de los presupuestos conceptuales de las construcciones científicas puede contribuir precisamente a valorar su alcance, mostrando con mayor precisión el contexto concep-

pp. 150-179.

⁷ Cfr. la obra polémica de P. Redondi, *Galileo eretico*, Turín, Einaudi, 1983.

⁸ Es el caso de muchas de las obras de W. A. Wallace, como por ejemplo W. A. Wallace, *Prelude to Galileo: Medieval and Sixteenth-Century Sources of Galileo's Thought*, Dordrecht, Reidel, 1981.

⁹ Se llega a afirmar que «la teoría de Newton es, de hecho, falsa». Cfr. G. Vollmer, «On Supposed Circularities in an Empirically Oriented Epistemology», en G. Radnitzky - W. W. Bartley III (eds.), *Evolutionary Epistemology, Rationality, and the Sociology of Knowledge*, La Salle (Ill.), Open Court, 1987, p. 176.

¹⁰ Véase especialmente E. Agazzi, «Verité partielle ou approximation de la verité?», en *La nature de la verité scientifique*, Ciacco, Lovaina 1986, pp. 103-114; E. Agazzi, «L'objectivité scientifique», en *L'objectivité dans les différents sciences*, Friburgo (Suiza), Editions Universitaires, 1988, pp. 13-25; M. Artigas, «Objectivité et fiabilité dans la science», *ibid.*, pp. 41-54; y los estudios de M. Artigas, R. Martínez y J. Zycinski en R. Martínez (ed.), *La verité scientifica*, Roma, Armando, 1995.

tual de una ciencia determinada, como la de Galileo.

Un análisis de este tipo, especialmente en el caso de Galileo, resulta difícilmente abordable en pocas páginas. Nos limitaremos al examen de un solo concepto: la causalidad. No intentaremos tampoco aportar nuevos elementos historiográficos, sino tan sólo reflexionar sobre la imagen de la acción causal ofrecida por la ciencia de Galileo.

Esta elección no es fortuita. La imagen del dinamismo causal de la realidad física, íntimamente relacionada con las categorías filosóficas más radicales, como *ser* y *devenir*, ocupa un lugar principal en la cosmovisión que acompaña a cualquier construcción científica. De ella depende la comprensión de la posibilidad de acción entre los diversos elementos de la realidad, ya sean sustancias, eventos o procesos. ¿Es el dinamismo causal una acción real y autónoma, propia de los sistemas físicos, o constituye una especie de ilusión epistemológica? ¿Es entonces el mundo físico tan sólo un espectáculo de «sombras chinas» —que puede quizá recordar la caverna de Platón— o se trata en cambio de un drama vivo, real? No cabe duda de que nuestra concepción total de la realidad dependerá íntimamente de la respuesta que se dé a esta cuestión.

Por este motivo la noción de causa constituye un punto importante en el desarrollo de la ciencia de Galileo y, a través de él, en el contenido conceptual de la ciencia clásica. En Galileo se asiste a una transformación de la idea de causalidad, aunque quizá no haya sido intentada ni elaborada por él de modo consciente. Se trata de un cambio conceptual lentamente desarrollado a partir del bajo medioevo, pero que aparece claramente por primera vez en la ciencia galileana. Es una transformación compleja, en la que se entremezclan las diversas dimensiones de la acción causal, pasando de una causalidad ontológica, eficiente y metafísica, a una causalidad lógico-fenomenológica, formal-nomológica y físico-factual. Para llegar a estas conclusiones tendremos que seguir los elementos de novedad que presenta el uso de la noción de causa en Galileo, como también otros aspectos que en este uso aparecen bajo una nueva luz. Pero antes conviene considerar hasta qué punto Galileo ha recibido y asimilado una visión causal de la ciencia.

3. El papel de la explicación causal en la ciencia de Galileo

¿Corresponde todavía la ciencia galileana al ideal aristotélico de ciencia como *scire per causas*¹¹? La respuesta no es inmediata. A partir de Galileo la ciencia moderna es ante todo una ciencia experimental. Y para no pocos eso significaría que ya no se trata de una investigación especulativa acerca

¹¹ Cfr. Aristóteles, *Analíticos Posteriores*, I, 2, 71b 9-12.

de las causas de los fenómenos, sino tan sólo de un medio práctico para alcanzar un control técnico sobre la naturaleza¹². La ciencia no sería ya una «sabiduría», sino únicamente un conocimiento instrumental, según el modelo de la antigua astronomía helenística, que buscaba solamente «salvar las apariencias». La ciencia se contentaría, en definitiva, con obtener una simple descripción de los fenómenos, con registrar cómo éstos se verifican, sin preguntarse en absoluto acerca del *porqué* ni de las causas.

No faltan indicios en este sentido, desde el prologo al *De revolutionibus orbium coelestium*, en el que A. Osiander presenta la teoría de Copérnico como una hipótesis matemática sin pretensiones «ontológicas», hasta el célebre *hypotheses non fingo* con el que Newton renuncia a buscar la causa de la atracción gravitatoria. Una prudencia semejante parece mostrar Galileo en sus últimas obras. En el *Diálogo sobre los máximos sistemas del mundo* Salviati interroga a Simplicio sobre la causa de la caída de los graves. Cuando éste responde que «la causa de tal efecto es bien conocida, y cualquiera sabe que es la gravedad», Galileo replica por boca de Salviati: «Os equivocáis, señor Simplicio; debierais decir que cualquiera sabe que se llama gravedad. Pero yo no os pregunto acerca de su nombre, sino por la esencia de la cosa; y de tal esencia vos no sabéis ni un tanto más de cuanto podáis saber acerca la esencia del motor de las estrellas en el orbe»¹³.

En la Tercera jornada de los *Discursos sobre dos nuevas ciencias* Galileo renuncia aún más explícitamente a discutir tales causas: «No me parece éste el momento oportuno de adentrarse en la investigación de la causa de la aceleración del movimiento natural, acerca de la cual los filósofos han dado distintas opiniones (...); fantasías que, con otras más, habríamos de examinar y resolver con poco fruto»¹⁴.

Estos pasajes han sido interpretados frecuentemente como muestra de una actitud de fondo de tipo positivista¹⁵. La evolución de su ciencia habría llevado a Galileo desde unas primitivas nociones causales, aún dependien-

¹² Galileo parece dar ocasión a esta interpretación *técnica* de la ciencia al inicio de sus *Discursos y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, de 1638, donde Salviati elogia la sabiduría obtenida por el desempeño de las labores técnicas. Cfr. la nota de F. Brunetti, en *Opere di Galileo Galilei*, vol. 2, Turín, Utet, 1980, pp. 569-570. Esta interpretación, defendida entre otros por L. Olschki, *Galileo und seine Zeit*, Halle 1927, y E. Zilsel, «The Sociological Roots of Science», *The American Journal of Sociology*, 47 (1942), fue criticada por A. Koyré, «Galileo y Platón», p. 151, n. 6.

¹³ Galileo, *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (1632), Segunda jornada, EN, VII, p. 260.

¹⁴ Galileo, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* (1638), Tercera jornada, EN, VIII, pp. 202-203.

¹⁵ Es clásica en este sentido la interpretación de E. A. Burtt, *Los fundamentos metafísicos de la ciencia moderna. Ensayo histórico y crítico*, trad. R. Rojo, Buenos Aires, ed. Sudamericana, 1960, p. 110.

tes del pensamiento metafísico medieval, hacia una metodología positiva en la que habría renunciado explícitamente al uso de nociones causales, sustituidas por relaciones funcionales entre fenómenos cuantitativamente determinados. Ésta es la interpretación clásica defendida por S. Drake¹⁶ y M. Clavelin¹⁷, ampliamente seguida. Con distintas valoraciones, la tesis de una transformación radical de las nociones causales de Galileo se halla también en otros autores como A. Rupert Hall¹⁸ o A. C. Crombie¹⁹.

En los últimos años ha ido ganando terreno, por el contrario, la tesis de W. A. Wallace, quien muestra exhaustivamente cómo a lo largo de toda su vida Galileo empleó la noción de causa como un elemento fundamental de su metodología²⁰. La búsqueda de las causas será una constante de su ciencia, tanto en su primera época²¹, como en la cumbre de su actividad científica y polémica²². En las obras más tardías son más frecuentes las manifestaciones de un cierto escepticismo, como antes se ha notado. Pero renunciar a la búsqueda de un tipo de causas no implica abandonar completamente el ideal causal. Para Galileo la verificación experimental de los efectos tenía un valor secundario con respecto a la demostración necesaria de los mismos a partir de sus causas bien conocidas²³.

A esto se podría añadir que Galileo no sólo *busca* la causa de los efectos naturales, sino que en muchos momentos *pretende haberlas hallado*.

¹⁶ Además de las obras ya citadas, véase la traducción inglesa *Two New Sciences*, Madison, Univ. of Wisconsin Press, 1974, p. 159.

¹⁷ Cfr. M. Clavelin, *La philosophie naturelle de Galilée*, Paris, Colin, 1968.

¹⁸ Cfr. A. Rupert Hall, *La rivoluzione nella scienza (1500-1750)*, Milán, Feltrinelli, 1986, p. 133.

¹⁹ Crombie ve en Galileo el influjo de las corrientes nominalistas que en el siglo XV penetraron en el aristotelismo de las Universidades de Italia septentrional, que lo habrían llevado a sustituir las causas esenciales por simples regularidades observadas, aunque no puramente fenoménicas, sino correspondientes a una estructura real objetiva. Cfr. A. C. Crombie, *Historia de la Ciencia: De S. Agustín a Galileo*, vol. 2, Madrid, Alianza, 1974, pp. 125-133.

²⁰ Cfr. W. A. Wallace, *Causality and Scientific Explanation*, vol. I, Ann Arbor (Mich.), Univ. of Michigan Press, 1972, pp. 176-185; «The Problem of Causality in Galileo's Science», *Review of Metaphysics*, 36 (1983), pp. 607-632.

²¹ Claramente aparece en el *De motu*, escrito latino que recoge su primitiva teoría mecánica. Cfr. S. Drake, *Galileo at Work*, pp. 19-21. Frente a las causas señaladas por Aristóteles, lo que Galileo pretende es «descubrir la *vera causa*». Cfr. W. A. Wallace, *Causality and Scientific Explanation*, pp. 177-180.

²² Así se ve particularmente en los escritos de hidráulica, en torno a 1612. Cfr. Galileo, *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono* (1612), EN, IV, pp. 67 y 140; *Lettera a Tolomeo Nozzolini* (1613), EN, IV, pp. 298 ss.

²³ Cfr. E. J. Dijksterhuis, *Il meccanicismo e l'immagine del mondo, dai presocratici a Newton*, 2ª ed., Milán, Feltrinelli, 1980, p. 462. En los *Discursos sobre dos nuevas ciencias* Galileo llega a afirmar que «el conocimiento de un solo efecto adquirido a partir de sus causas dispone el intelecto para entender y tener seguridad de otros efectos sin necesidad de recurrir a la experiencia» (EN, VIII, p. 296).

Buena prueba de ello se da en *Il Saggiatore*, donde propone una explicación mecanicista de la sensación basada en una teoría atómica²⁴. En todo momento Galileo defiende con energía la existencia de esas causas naturales que él propone, sin arredrarse ante las polémicas que pudieran suscitarse, como de hecho sucedió en el caso de las manchas solares, de los fenómenos hidráulicos, de los cometas y, más dramáticamente por las consecuencias que siguieron, en la Cuarta jornada del *Dialogo*, desarrollada en torno a lo que Galileo consideraba la verdadera causa de las mareas: la combinación de los movimientos anual y diurno de la tierra. El valor de las explicaciones causales en la ciencia de Galileo parece por tanto fuera de duda.

4. La transformación de las nociones causales

Es un hecho, sin embargo, que la ciencia de Galileo resulta muy distinta de la ciencia anterior, tanto en cuanto al método como al contenido. De una física cualitativa y esencialista, en la que la idea de la precisión está ausente²⁵, se pasa a una ciencia marcadamente cuantitativa, que busca resultados exactos, a través de los cuales espera poder alcanzar el conocimiento de la naturaleza. Aunque este conocimiento no alcance la «esencia» de los entes, será capaz de descubrir algunos aspectos parciales, pero reales, de los procesos físicos²⁶. Y en esta nueva ciencia las explicaciones causales parecen adoptar un sentido distinto al que poseían en la filosofía natural de Aristóteles. Aceptar, siguiendo a Wallace, que Galileo haya razonado siempre en términos causales, no excluye que dichas nociones hayan experimentado un cambio²⁷.

Queda abierta por tanto otra cuestión: ¿qué significado tiene la causa en Galileo? Parece necesario hallar un término medio entre la visión «empirista» radical de Drake, según la cual Galileo renuncia a la causalidad y la sustituye por la constatación de simples regularidades fenoménicas, y el Galileo «aristotélico» de Wallace, para quien no se habría dado ningún

²⁴ Cfr. Galileo, *Il Saggiatore*, EN, VI, pp. 350-351. Para la interpretación «positivista» no resulta fácil enmarcar esta característica de la ciencia galileana; se oscila entre considerarla como expresión de un sentido científico «materialista», o como un residuo especulativo poco coherente con el positivismo metodológico. Cfr. E. A. Burt, *Los fundamentos metafísicos*, pp. 108-112.

²⁵ Cfr. A. Koyré, «Du monde de l'«à-peu-près» à l'univers de la précision», *Critique*, 28 (1948).

²⁶ Cfr. Galileo, *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari e loro accidenti* (1612), EN, V, pp. 187-188.

²⁷ Según Wallace, Galileo habría seguido toda su vida la inspiración de la metodología aristotélica, basada en el uso de *suppositiones* y en el *regressus* demostrativo. Cfr. W. A. Wallace, «The Problem of Causality», pp. 624-631. Esta metodología resulta compatible con una transformación del significado de las relaciones causales.

cambio conceptual, al menos en cuanto a las nociones causales. Éstas mantienen siempre un papel fundamental en la evolución de la ciencia de Galileo, pero su significado se va modelando poco a poco.

Los primeros escritos de Galileo poseen una estrecha relación con la ciencia de la última escolástica²⁸. Particular importancia reviste su dependencia con respecto a la enseñanza impartida en aquel entonces por los profesores del Colegio Romano²⁹, que se refleja claramente en algunos manuscritos que han sido objeto de atento estudio en los últimos años³⁰. En ellos Galileo da muestras de conocer detalladamente la doctrina aristotélica de la causalidad. Pero al mismo tiempo se perfila ya un cierto cambio de perspectiva, aunque todavía resulte casi imperceptible.

En efecto, Galileo examina con atención las distinciones establecidas acerca de la causa y su uso en la demostración científica³¹. Muchas de ellas expresan simplemente la doctrina tradicional de la ciencia aristotélica: los cuatro tipos de causa (material, formal, eficiente y final), causa *per se* y causa *per accidens*, causas internas (material y formal) y causas externas (eficiente y final), causas finales intrínsecas y extrínsecas, etc. Pero otras distinciones, aun sin alejarse del planteamiento aristotélico, parecen llevar poco a poco hacia una conceptualización diversa de la causalidad. Es el caso de las distinciones en causas próximas y remotas, causas verdaderas o propias y causas impropias o virtuales³². De algún modo parecen indicar que el centro de la cuestión se va desplazando hacia «cómo hallar» las causas concretas de los fenómenos físicos, o sea hacia un tipo de metodología, dirigida hacia la comprensión del mundo físico, que recuerda de algún modo la nueva lógica empírica de Francis Bacon.

No es de extrañar por este motivo que, si se atiende al resultado final

²⁸ Dijksterhuis nota en particular su semejanza con la ciencia de los Terminar de París. Cfr. E. J. Dijksterhuis, *Il meccanicismo*, p. 447.

²⁹ W. A. Wallace, *Prelude to Galileo: Medieval and Sixteenth-Century Sources of Galileo's Thought*, Dordrecht, Reidel, 1981; *Galileo and His Sources: The Heritage of the Collegio Romano in Galileo's Science*, Princeton, Princeton Univ. Press, 1986.

³⁰ Se trata de tres manuscritos latinos (Bibl. Nazionale Centrale, Florencia, Ms. Gal. 27, 46 y 71) publicados solo parcialmente por A. Favaro en la *Edizione Nazionale* de las obras de Galileo, quien los había considerado como anotaciones escolares procedentes de Vallombrosa o de Pisa, y no como fruto de una elaboración original. Hoy se aceptan como una elaboración propia de Galileo, con vistas a su primera actividad docente en Pisa, y se datan en torno a 1588-90. Cfr. W. A. Wallace, «Reinterpreting Galileo on the Basis of His Latin Manuscripts», en W. A. Wallace (ed.), *Reinterpreting Galileo*, Washington, The Catholic Univ. of America Press, 1986, pp. 3-28; S. Drake, *Galileo at Work*, p. 6.

³¹ Un breve sumario de tales distinciones se halla en W. A. Wallace, «The Problem of Causality», pp. 610-614.

³² Cfr. W. A. Wallace, *Galileo's Logical Treatises. A Translation, with Notes and Commentary, of His Appropriated Latin Questions on Aristotle's Posterior Analytics*, Dordrecht, Kluwer, 1992, pp. 140-141, 169-170.

de la ciencia de Galileo, resulte patente cierta transformación. La idea de causalidad que subyace en los *Discursos sobre dos nuevas ciencias*, de 1638, se halla insertada en una perspectiva científica alejada de la física aristotélica, que es ya en cierto modo la de la ciencia clásica. Por ese motivo, aun sin renunciar a la búsqueda de las causas, se hará referencia a conceptos que tienen poca relación con la idea clásica de «causa agente», o de eficacia productiva. La búsqueda de las causas, a nivel científico, se concretará más bien en la determinación de relaciones funcionales o de dependencias cuantitativas de tipo nomológico.

Esto significa que en Galileo coexisten de algún modo dos diferentes perspectivas. Pero esto no implica una contradicción. Más bien parece indicar precisamente que en la ciencia de Galileo la noción misma de causa se halla sometida a un proceso profundo de transformación.

No se trata, desde luego, de un cambio operado de modo «puntual». Los aspectos clásicos y modernos de la causalidad aparecen entremezclados a lo largo de toda su ciencia, sin que sea siempre fácil establecer una línea de demarcación. Por esa razón, más que intentar examinar la evolución del pensamiento de Galileo, que probablemente no ofrecería elementos válidos para valorar tal transformación, intentaremos presentar una serie de características que progresivamente aparecen en el uso que Galileo hace de la causalidad física, y que modifican poco a poco el significado de las nociones causales.

4.1. *La necesidad de la relación causal*

El primer rasgo característico de la causalidad galileana es la *necesidad*. En la ciencia de Galileo la causalidad se presenta siempre como una relación necesaria. Se admite que la causa debe actuar necesariamente, y que el efecto sigue necesariamente a su causa. De tal necesidad deriva precisamente la del conocimiento científico, y por tanto la confianza y la certeza que la época moderna atribuye a la ciencia.

Afirmar que la causalidad es una relación necesaria no parece constituir una novedad, puesto que también para Aristóteles las causas actúan con necesidad³³. Galileo no se aleja en esto de la opinión común de sus contemporáneos, pero la importancia que en su ciencia asume la necesidad de la causa resultará decisiva en la nueva imagen del mundo. No se limita a afirmar que la relación causal debe ser necesaria; más bien la necesidad constituye la esencia misma, o al menos el rasgo definitorio y fundamental de la relación entre la causa y el efecto. La identificación entre *causalidad* y

³³ Para Aristóteles, el conocimiento demostrativo, propio de la ciencia, exige siempre un nexo necesario. Cfr. Aristóteles, *Análíticos Posteriores* I, 6, 75a 12-15.

necesidad se presenta en sus escritos como una definición de la causa.

En el verano de 1611 Galileo se vio implicado en una discusión sobre cuestiones de hidrostática, con algunos aristotélicos de Pisa. La disputa, que tuvo como principales protagonistas Galileo y Ludovico delle Colombe, dio origen a varios de sus escritos. En el *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua* Galileo critica a los aristotélicos e interpreta correctamente el principio de Arquímedes. Indirectamente, presenta una «definición» de lo que en el método experimental debe llamarse causa o razón de un efecto: causa es aquello «puesto lo cual, se pone el efecto, y quitado, se quita»³⁴. En 1623 Galileo repetirá casi exactamente las mismas palabras en *Il Saggiatore*, uno de sus escritos más conocidos, motivado por otra polémica con el P. Orazio Grassi relacionada con la naturaleza de los cometas: se debe considerar propiamente como causa sólo aquello «puesto lo cual, se sigue siempre el efecto, y retirado, se retira»³⁵.

El tenor de las palabras es el mismo en ambos casos: la causa se presenta como la condición o el conjunto de condiciones que bastan para determinar el efectivo acaecer de un particular fenómeno, y sin la que dicho fenómeno no tiene lugar. En otras palabras, es la *condición necesaria y suficiente* para que un efecto se dé. Según esta definición, la causa, si de hecho lo es, actúa necesariamente y con necesidad da lugar al efecto. Y es precisamente esta necesidad la que permite al científico remontarse desde el efecto a su causa con la certeza que proporciona el método científico-matemático.

No interesa considerar aquí este proceso de un modo concreto, lo que exigiría un examen de los posibles métodos de descubrimiento propuestos por la filosofía galileana de la ciencia³⁶. Interesa centrarse solamente en la conceptualización de la relación causal que resulta de esta definición, que parece conducir en una doble dirección: hacia un cierto determinismo lógico, y hacia una consideración funcional-fenoménica de la causalidad.

Esta definición no resulta hoy sorprendente, por más que un simple examen pueda mostrar su insuficiencia. No todas las condiciones, aunque

³⁴ Galileo, *Discorso intorno...*, EN, IV, p. 112: «Ora, conciossiacos che quella sia cagione, la quale posta, si pon l'effetto, e toltà, si toglie».

³⁵ Galileo, *Il Saggiatore*, EN, VI, p. 267: «...quella, e non altra, si debba propriamente stimar causa, la quale posta segue sempre l'effetto, e rimossa si rimuove».

³⁶ En Ms. 27, siguiendo la metodología de los *Analíticos Posteriores*, Galileo propone como método de la ciencia un *regressus* demostrativo, constituido por un doble *progressus*: del efecto a la causa, conocida *materialiter* (demostración *quia*), y de la causa, *formaliter*, al efecto (*propter quid*). Cfr. W. A. Wallace, «The problem of Causality...», pp. 614-615; *Galileo's Logic of Discovery and Proof. The Background, Content, and Use of His Appropriated Treatises on Aristotle's Posterior Analytics*, Dordrecht, Kluwer, 1992, pp. 181-188. Wallace sostiene, examinando el trabajo científico posterior de Galileo, que éste siguió utilizando con preferencia tal método durante toda su vida. Cfr. *ibid.*, pp. 191-298.

sean necesarias y suficientes, son lo que normalmente denominamos causas. Y tampoco todas las causas gozan de esta propiedad lógica. Usando un ejemplo clásico³⁷, se afirma que un cortocircuito es la causa de un incendio, aunque resulta claro que no se trata de una condición *necesaria* (el incendio podría haber sido provocado por otro factor, como un cigarrillo mal apagado) ni *suficiente* (pues un cortocircuito no siempre da lugar a un incendio: deben contribuir otros elementos, como la presencia de material inflamable). Inversamente, una condición necesaria y suficiente para que dos triángulos sean iguales, como es el poseer dos ángulos y un lado iguales, difícilmente se considera como *la causa* por la que los dos triángulos son de hecho iguales³⁸.

Hemos de considerar, sin embargo, qué es lo que estas afirmaciones implicaban en el contexto del tiempo de Galileo. Como ya se ha hecho notar, Galileo no las introduce como una novedad; el contexto polémico en el que las presenta requería obviamente una noción de causa de algún modo «aproblicada», y como tal la presenta. En efecto, durante la última parte del medioevo el concepto de necesidad causal había ido afianzándose, pero al mismo tiempo se había ido modificando, casi imperceptiblemente, su significado³⁹. En la filosofía natural de Aristóteles la causa actúa necesariamente, pues cada ente actúa siguiendo necesariamente su naturaleza, primera causa eficiente de la actividad del ente⁴⁰. Pero eso no significa que los eventos resulten necesariamente predeterminados. La filosofía del Estagirita dejaba espacio al *per accidens*, y por tanto a la existencia de eventos casuales o, más exactamente, contingentes, en el mundo sublunar⁴¹. A lo largo del siglo XIV la escolástica modificó esta perspectiva, transformando, según Anneliese Maier, el significado mismo de las nociones de *necessi-*

³⁷ Cfr. J. L. Mackie, «Causes and Conditions», *American Philosophical Quarterly*, 27 (1965), pp. 245-264; reproducido en E. Sosa - M. Tooley (eds.), *Causation*, Oxford, Oxford Univ. Press, 1993, p. 33.

³⁸ Estos aspectos de la causalidad se han puesto muchas veces de relieve. Cfr., por ejemplo, J. L. Mackie, «The direction of causation», *Philosophical Review*, 75 (1966), pp. 441-446, E. Agazzi, «Time and causality», *Epistemologia*, 1 (1978), pp. 397-424.

³⁹ Cfr. A. Maier, «Notwendigkeit, Kontingenz und Fall», en *Die Vorläufer Galileis im 14. Jahrhundert. Studien zur Naturphilosophie der Spätscholastik*, Roma, Edizioni di Storia e Letteratura, 1949, pp. 219-250.

⁴⁰ Aristóteles atribuye a la naturaleza el papel de causa eficiente o motriz, además de los de causa formal y final, como especialmente se manifiesta en los seres vivientes. Cfr. A. Mansion, *Introduction à la physique aristotélécienne*, 2ª ed., Lovaina, Éditions de l'Institut Supérieur de Philosophie, 1945, pp. 226-239.

⁴¹ Cfr. Aristóteles, *Metafísica* V, 5, 1015a 33-35. Es importante notar la distinción entre la necesidad lógica del conocimiento causal, que pertenece a la ciencia, y la necesidad física, hipotética o condicionada, que constituye el objeto de la ciencia. Véase también A. Quevedo, *Ens per accidens. Contingencia y determinación en Aristóteles*, Pamplona, Eunsa, 1989, pp. 280-315.

tas y contingencia⁴². El debate acerca de la posibilidad de una contingencia ad utrumlibet en las acciones naturales, semejante a la contingencia de las acciones voluntarias, desplazó poco a poco el punto de vista desde el que se consideraba el problema, que fue dirigiéndose cada vez más hacia la determinación de la causa a la acción. Se fue imponiendo la idea de que en las causas físicas la contingencia resulta sólo de la imperfección de nuestro conocimiento: un hecho aparece como contingente porque no somos capaces de remontar el curso de los eventos de un modo preciso, hasta la causa radical que lo ha originado. La contingencia física se reduce a contingencia «gnoseológica», sentando así las bases para llegar a aceptar un cierto determinismo causal⁴³.

En la ciencia de Galileo estas características se acentúan. La relación causal se va reduciendo así a una relación de condicionalidad. Si se compara este tipo de definición con las definiciones metafísicas de la causa como «principio que influye en el ser o en el devenir de algo», la diferencia de planteamientos resulta enorme. Se ha operado un cambio de perspectiva radical; la causalidad no se plantea ya en términos de categorías metafísicas, como ser, acción y dependencia, sino en términos estrictamente lógicos o que se hallen en relación con los datos verificables por la experiencia, o sea con la posición en la existencia de la causa y del efecto. Y examinar la causalidad desde el punto de vista lógico cumplía suficientemente este requisito.

Las valoraciones de esta transformación pueden ser muy distintas, y lógicamente resultan dependientes del papel general que se atribuye a la causalidad en la ciencia de Galileo. Drake, por ejemplo, ve en esta definición de causa una ruptura con el ideal causal clásico, y su sustitución por una ciencia que ya no buscaría las causas, sino solamente regularidades⁴⁴, mientras que Wallace la ve en continuidad con el principio aristotélico *causa et effectum sunt simul*⁴⁵. Cabe probablemente una interpretación más matizada. Galileo no renuncia al ideal causal, pero en su física el «peso» conceptual que posee la noción de causa se desplaza definitivamente desde la vertiente «metafísica», caracterizada por un significado predominantemente productivo, hacia una vertiente más bien lógica, atenta sólo al aspecto factual de la relación causa-efecto. En la perspectiva aristotélica la acción causal significa ante todo una producción del efecto por parte de la

⁴² Cfr. A. Maier, «Notwendigkeit, Kontingenz und Fall», p. 220

⁴³ Según Anneliese Maier el momento decisivo de este paso fue al inicio de siglo XIV, especialmente con Francisco de la Marca, aunque ve sus presupuestos ya en la tesis escotista de que la contingencia del mundo depende de la contingencia con la que actúa la causa primera. Cfr. *ibid.*, p. 241.

⁴⁴ Cfr. S. Drake, *Cause, Experiment and Science*, p. xxv.

⁴⁵ Cfr. W. A. Wallace, «The Problem of Causality», pp. 619.

a una «actualidad» de la causa. La nueva ciencia, por el contrario, toma en consideración problemas en los que sólo podemos constatar el efectivo acaecer de dos hechos, y las relaciones que se derivan de su existencia factual. Y éstas son tan sólo relaciones de tipo lógico. En otras palabras, nos contentamos con examinar los eventos «desde fuera», sin dar algún juicio sobre su esencia o su significado último. La causalidad deja de considerarse como una categoría de la acción, como algo propio de una entidad sustancial activa, para entrar a formar parte del dominio de las relaciones lógicas.

Podemos ver en este desplazamiento conceptual una indicación del predominio de las corrientes de pensamiento de tipo racionalista en el panorama intelectual del momento. El determinismo causal, completamente opuesto a cualquier contingencia metafísica, es en efecto uno de sus presupuestos fundamentales, como más tarde se explicitaría en el principio leibniciano de razón suficiente.

4.2. La dimensión matemática de la causa física

En sus primeros escritos, a pesar de su dependencia de los métodos y de la doctrina aristotélica, Galileo hacía notar ya los aspectos cuantitativos que lógicamente deberían seguirse de una coherente concepción de la causalidad natural. Si el efecto ha de ser proporcional a la causa, lo ha de ser también en cuanto al contenido cuantitativo de las mismas cualidades objeto de la relación causal⁴⁶. Y como es bien sabido, a lo largo de toda su vida se fue reafirmando en la convicción de que el libro de la naturaleza está escrito en lengua matemática⁴⁷.

Es posible ver en estas afirmaciones el influjo de la doctrina platónica⁴⁸. Parece cierto que, junto con su determinación por el estudio experimental y por la observación directa de los fenómenos, Galileo poseía también una inclinación hacia la especulación de tipo platónica⁴⁹. Su actitud ante el método experimental fue mucho menos «ingenua» de lo que habitualmente

⁴⁶ Cfr. Wallace, «Reinterpreting Galileo», p. 17.

⁴⁷ Galileo, *Il Saggiatore*, EN, VI, p. 232: «La filosofía se halla escrita en este grandioso libro que continuamente está abierto delante de nuestros ojos (el universo, digo), pero no se puede comprender si antes no se aprende a entender la lengua, y a conocer los caracteres en que está escrito. Está escrito en lengua matemática, y los caracteres son triángulos, círculos, y otras figuras geométricas, y sin tales medios es imposible humanamente comprender ni una palabra; sin ellos es un revolverse vanamente en un oscuro laberinto».

⁴⁸ Crombie ve en el «platonismo pitagórico» una muestra de «realismo» epistemológico. «Galileo creyó que las teorías matemáticas de las que deducía las observaciones representaban la realidad permanente, la sustancia, subyacente a los fenómenos. La naturaleza era matemática» (A. C. Crombie, *Historia de la ciencia*, vol. 2, p. 130).

⁴⁹ Cfr. el ya citado artículo de A. Koyré, «Galileo y Platón».

método experimental fue mucho menos «ingenua» de lo que habitualmente parece suponerse. Ante las problemas físicos Galileo no busca en primer lugar la comprobación experimental. A ésta antepone frecuentemente el razonamiento abstracto y la coherencia con los principios admitidos⁵⁰. Y entre éstos el aspecto matemático de la realidad ocupaba un lugar central.

La «matematización» de la naturaleza que Galileo ha operado —que ya había sido anticipada en el bajo medioevo⁵¹— es algo bien conocido. Pero este hecho repercute también sobre su concepción de la causalidad. La causalidad galileana no es así una causalidad cuyo paradigma se halla en la causalidad eficiente propia de las acciones humanas, sino que asume como modelo el modo en que se desarrolla el razonamiento matemático. No se tratará de dos planos distintos, como en cierto modo sucedía en la visión natural de Aristóteles, en la que la mecánica aparecía como una *scientia media*, que participa de dos saberes en sí distintos, la física (filosofía natural) y la matemática. Ahora ambos niveles coinciden completamente, pues «el libro del universo está escrito en caracteres matemáticos». Geometría y matemática son para Galileo ciencias de la realidad, y no de una mera idealidad. La geometría, por tanto, —a ella se reduce casi toda la matemática galileana— rige y da cuenta del efectivo curso de los fenómenos del mundo natural. Las causas matemáticas no son simplemente «razones», sino verdaderamente *causas*.

La visión matemática del mundo galileano contribuye a reforzar la necesidad de la conexión causal. En efecto, mientras el paradigma de la explicación o de la acción causal fuese la acción humana, es decir una acción guiada por la voluntariedad o al menos por una cierta intencionalidad, la contingencia física resultaba más comprensible, al modo de la libertad humana o de la indeterminación animal. Pero cuando la causalidad se transforma en una relación *more geometrico*, de tipo matemático, tal posibilidad desaparece. No parece haber ninguna razón para plantearse siquiera la posibilidad de una cierta indeterminación causal. La matemática es —al menos en el siglo XVII— la ciencia exacta por excelencia, la ciencia de los resultados completamente unívocos y determinados.

La visión matemática de la naturaleza, unida al reforzarse del determinismo causal, favorecerá también un ulterior elemento en la causalidad de la ciencia moderna: la legalidad. La causalidad de la ciencia moderna es una causalidad nomológica, que se presenta fundamentalmente como *ley*

⁵⁰ Acerca de lugar que los experimentos ocupan en la ciencia de Galileo, cfr. E.J. Dijksterhuis, *Il meccanicismo*, pp. 460 ss.

⁵¹ Especialmente entre los «terministas» de París y los «calculatores» de Oxford. Sobre la relación de Galileo con estos últimos, cfr. E.D. Sylla, «Galileo and the Oxford Calculatores: Analytical Languages and the Mean-Speed Theorem for Accelerated Motion», en *Reinterpreting Galileo*, pp. 57-68.

causal. La visión platónico-pitagórica del mundo lleva de algún modo a ver en la ley causal la dimensión más profunda de la realidad del mundo físico, sustituyendo la visión sustancialista de la cosmología aristotélica. Pero en esta visión la ciencia comienza a asumir un carácter no solo descriptivo, sino normativo, que de algún modo anticipa ya la visión kantiana del conocimiento científico.

4.3. El rechazo galileano de la fuerza como causa física

La necesidad lógica y la dimensión formal matemática de la causalidad galileana se integrarán plenamente en la conceptualización de la causalidad del mundo moderno. En la ciencia de Galileo podemos hallar en cambio otra característica que no corresponde todavía exactamente a lo que sería un siglo más tarde la física clásica: su oposición a introducir la «fuerza» como causa física. Esta actitud parece nuevamente indicar cierto «positivismo metodológico», pues Galileo rechaza el uso de un concepto no directamente observable como solución a un problema físico. Identificar fuerza y causa del movimiento podía ser, en efecto, una solución puramente nominal⁵². Y sin embargo, la noción de fuerza debía transformarse al poco tiempo en un concepto clave de la mecánica, a partir de los *Principia mathematica philosophiae naturalis* de Isaac Newton.

A diferencia de lo que ocurría en la física de Aristóteles, en la que las nociones mecánicas, y en particular la de fuerza, tienen un uso muy limitado, en la mecánica clásica la evolución del concepto de causa se relaciona estrechamente con la génesis y evolución del concepto de fuerza. Son dos conceptos estrechamente relacionados: el concepto de fuerza nace como expresión de la acción causal del hombre sobre la naturaleza⁵³. Recíprocamente, la noción de fuerza juega un papel determinante en la formación del concepto de causalidad, particularmente a lo largo del pensamiento de la Edad moderna⁵⁴. Ciertamente es necesario reconocer la distinción entre

⁵² Esta actitud metodológica se ha considerado frecuentemente como esencial a la ciencia. Véase H. Poincaré, *La ciencia y la hipótesis*, trad. A. Besio - J. Banfi, 2ª ed, Buenos Aires, Espasa Calpe Argentina, 1945, p. 102: «Cuando se dice que la fuerza es la causa de un movimiento, se hace metafísica, y esta definición, si debiéramos contentarnos con ella, sería absolutamente estéril».

⁵³ Cfr. M. Jammer, *Storia del concetto di forza. Studio sulle fondazioni della dinamica*, 2ª ed., Milán, Feltrinelli, 1979, p. 19. Resultan particularmente interesantes los resultados de la epistemología genética. Cfr. J. Piaget, *Introduction a l'épistémologie génétique*, tome II *La pensée physique*, Paris, PUF, 1950, en especial el capítulo VII: *Les problèmes de la pensée physique: Réalité et causalité*, donde se muestra cómo la noción de causa surge de la relación entre las acciones del sujeto y las modificaciones de la realidad exterior.

⁵⁴ Para muchos, especialmente entre los seguidores de Kant, la fuerza era la formulación física efectiva de la causalidad. Cfr. Jammer, *Storia del concetto di forza*, p. 27.

ambos conceptos, pero también el influjo que de hecho se dio entre ellos, a consecuencia de la gran importancia adquirida por el punto de vista mecánico en la comprensión del mundo.

En Galileo, sin embargo, las fuerzas no ocupan un lugar relevante. Sólo en su primera época conserva todavía en su lenguaje esta noción. Tales fuerzas son todavía *vis* medievales, concebidas como un impulso interno a los cuerpos, que procede de su misma naturaleza⁵⁵, o bien se consideran como equivalentes al peso, desde un punto de vista puramente estático, en el contexto de una física arquimedea⁵⁶. Más tarde, las fuerzas desaparecen completamente⁵⁷. En sus últimas obras Galileo rechaza explícitamente todo intento presentar una fuerza como causa de los fenómenos mecánicos, y critica con dureza tanto las fuerzas magnéticas de William Gilbert, como las que Johannes Kepler introduce en la descripción del sistema solar⁵⁸.

Las razones de su explícita limitación al punto de vista cinemático⁵⁹ pueden verse, de todas formas, no sólo en concretos prejuicios de tipo filosófico o metodológico, sino en el problema mismo del movimiento acelerado. En la física aristotélica una acción (una fuerza) constante debía originar un movimiento a su vez constante: ni acelerado ni retardado. Pero los problemas de tal dinámica eran numerosos. Uno de los más discutidos era la identificación de la causa del movimiento libre de un proyectil. La física de Aristóteles exigía la existencia de un *motor coniunctus* al móvil, exigencia que dio origen más tarde a la teoría del *impetus*. Cuando poco a poco fue madurando la idea de que el movimiento permanece constante de modo natural, la primera reacción no fue admitir que eso implicaba un cambio conceptual radical en las nociones cinemáticas fundamentales, sino eliminar la noción de fuerza para buscar otras causas mecánicas no ligadas a la eficacia productiva de un agente⁶⁰. Resultaba difícil reconocer que se

⁵⁵ En el *De Motu* Galileo posee todavía muchos conceptos similares a los de la escolástica del bajo medioevo, como el concepto de *vis impressa* con que explica el movimiento de los proyectiles. Cfr. E. J. Dijksterhuis, *Il meccanicismo*, pp. 447-448.

⁵⁶ Cfr. M. Jammer, *Storia del concetto di forza*, pp. 109-110.

⁵⁷ Refiriéndose a los primitivos conceptos dinámicos de Galileo, Drake señala que «más tarde modificó esos conceptos, eliminó completamente el concepto de fuerza y consideró que el movimiento sólo debe ser considerado como impartido al objeto arrojado, y no también como una fuerza o cualquier otro tipo de cualidad, temporal o permanente. Tras el *De motu*, poco de lo que Galileo escribió justifica su caracterización habitual como «padre de la dinámica». En sus últimos escritos la fuerza aparece casi siempre como un efecto más que como una causa del movimiento» (S. Drake, *Galileo at Work*, p. 28).

⁵⁸ Galileo, *Dialogo*, Tercera jornada, EN, VII, p. 432; Cuarta jornada, p. 487.

⁵⁹ «Basta por ahora a nuestro Autor con que comprendamos que él quiere investigar y demostrar algunas propiedades [*passioni*] de un movimiento acelerado, cualquiera que sea la causa de su aceleración» (Galileo, *Discorsi*, Tercera jornada, EN, VIII, pp. 202-203).

⁶⁰ Max Jammer presenta este momento de la historia de la ciencia como una alternativa:

estaba produciendo un cambio conceptual en el modo de concebir el movimiento local, y por consiguiente una radical modificación de los conceptos de espacio y tiempo, y de la misma relación entre geometría y física. Y se acudió en cambio al recurso de suponer que era la noción de fuerza como origen y causa del movimiento la que debía ser eliminada, buscando a partir de entonces otro tipo de «causas» del movimiento, causas que fueran auténticamente mecánicas.

Galileo se enfrentó de un modo radical con esta alternativa. Y su decisión fue la que, al menos en aquel momento, se presentaba como más decisiva: eliminar completamente las fuerzas del panorama conceptual de la física. Su estrategia, a partir de entonces, consistirá en considerar el movimiento como causado sólo por otro movimiento, como aparece claramente en el *Dialogo*, donde para dar razón del fenómeno de las mareas acude sólo a conceptos cinemáticos: el movimiento de la Tierra.

La ausencia de fuerzas en la mecánica galileana no significa, en cualquier caso, el rechazo de una explicación causal de los fenómenos mecánicos. Para Dijksterhuis se trata de una inversión de términos: tradicionalmente la fuerza «era» la causa del movimiento; para comprender éste más a fondo era necesario interrogarse acerca de la naturaleza y de las características de tales fuerzas. Pero con Galileo la fuerza deja de considerarse como tal causa, pasando a ser en cambio «efecto» del movimiento⁶¹.

Entre las razones de este cambio hay que señalar, siguiendo a Dijksterhuis, la nueva concepción mecanicista de la naturaleza que se imponía cada vez más extensamente. Ya que los cuerpos se explican exclusivamente mediante su composición en partes físicas (ya sean átomos o simplemente las partes de la extensión cuantitativa), cualquier acción entre ellos podrá reducirse como a su causa a los movimientos de tales partículas. Y así la explicación de la gravedad se buscará únicamente en causas puramente mecánicas, tales como la presión, el empuje o el impulso que ejercita esta materia sutil.

¿Cómo se puede interpretar esta exigencia desde el punto de vista de la causalidad? La noción galileana de causa se enmarca en una explicación última del mundo de tipo mecanicista. Desde el punto de vista metodológico podemos ver en ella el rechazo de la validez, como explicación última a nivel causal, de una noción como la de fuerza, que por aquel entonces aparecía como poco clara y conocida, ya que sólo se presentaba como una transposición de categorías anímicas o metafísicas al mundo inanimado. Tampoco resultaba posible, en aquel entonces, aceptar la fuerza simple-

eliminar la noción de fuerza, o bien modificar fundamentalmente su contenido. Cfr. M. Jammer, *Storia del concetto di forza*, pp. 115-116.

⁶¹ Cfr. E. J. Dijksterhuis, *Il meccanicismo*, p. 622; véase también S. Drake, *Galileo at Work*, p. 28.

mente como una explicación metodológica, ya que en ningún ámbito de la ciencia había demostrado su eficacia heurística, salvo quizá el campo de los fenómenos magnéticos, de alcance aún muy reducido. La ciencia de Galileo propone por tanto adoptar como términos de la relación causal aquéllos que se consideraban como realidades básicas del mundo material: la materia, caracterizada principalmente por la extensión geométrica, que con Descartes se transformará en caracterización exclusiva, y el movimiento⁶².

4.4. Causalidad mecánica, producción y transferencia

Nos hallamos pues frente a un entrelazamiento de motivaciones metafísicas y epistemológicas que han determinado la evolución de las nociones causales galileanas y, a través de ellas, de toda la ciencia clásica. El mecanicismo de Galileo lleva consigo que la causa deba adquirir un carácter «sustancial», aunque en un sentido radicalmente diverso del que posee este término en la metafísica clásica.

No se trata, efectivamente, de que los términos de la relación causal, causa y efecto, deban residir, por así decirlo, en una substancia, aunque ésta no posea ya, obviamente, un sentido metafísico, sino más bien mecánico-atomista. Es la misma relación de causalidad la que empieza a ser asumida como algo en sí mismo sustancial: como algo que no depende de ninguna otra realidad. Desde una perspectiva propiamente mecanicista la acción causal ha de poseer una propia realidad física, aunque sea diversa, ciertamente, de la «realidad» propia de los elementos últimos del mundo físico. No puede ser vista como algo derivado o dependiente de otra realidad, el agente, pues eso exigiría recurrir nuevamente a categorías de tipo metafísico, como potencias, fuerzas o facultades. Una acción causal completamente autónoma ofrece en cambio una clara comprensión de los fenómenos físicos, no condicionada por términos oscuros o metafísicos.

En la ciencia galileana esto resulta posible gracias precisamente a la identificación de la «acción causal» con el mismo movimiento. El movimiento no viene considerado en su dimensión metafísica, como actualización de una potencia, sino como una realidad empírica, susceptible de ser medida y que se transfiere de un cuerpo a otro. Se trata de una realidad física que confiere a cada cuerpo su «estado de movimiento», y que, según afirmará Descartes, ha sido comunicada por Dios a la materia con el acto

⁶² Hay que tener en cuenta que, desde un punto de vista metodológico, la relación entre causa y explicación debe resultar en cierto modo simétrica: se busca la explicación científica en las categorías causales, pero una teoría causal particular debe también poseer un claro valor explicativo. Y esto exige adoptar algunos términos básicos —en aquel momento eran la materia y el movimiento— para explicar a partir de ellos aquellos otros conceptos menos conocidos.

mismo de la creación, en una determinada cantidad que se conservará indefinidamente. Ya en la física de Galileo, como en Descartes, la causa consiste sobre todo en un movimiento o en una serie de movimientos precedentes que se transmiten de una entidad física a otra.

La causalidad mecánica de Galileo se adecúa por tanto a una teoría de la causalidad como «transferencia»⁶³. La relación causal significa en Galileo, y en la ciencia moderna, la existencia de una realidad física que se transfiere desde la causa al efecto. En Galileo y en Descartes era el movimiento; más tarde será la fuerza, el momento, o la energía. Y podríamos considerar incluso las actuales teorías de partículas, en las que la interacción resulta del intercambio de partículas virtuales. Se puede notar que la diferencia con la causalidad propiamente aristotélica, o con la de Tomás de Aquino, es grande. En la metafísica clásica la acción causal no significa necesariamente la transferencia de una realidad de la causa al efecto en un sentido físico-transitivo como éste. Desde luego, una transferencia de tipo sustancial se excluye totalmente. En la acción causal se da una real dependencia entre la causa y el efecto, por la que el efecto (considerado como entidad) recibe la eficacia causal que da lugar en él a una nueva «realidad»: una forma o perfección que antes no poseía. Al describir la acción causal resulta posible usar términos que de algún modo resultan cercanos a la descripción mecánica de la causalidad. Podría decirse, por ejemplo, que la causa «comunica» al efecto una perfección que ella poseía, que «transmite» o «da» un acto. Pero se trata de términos analógicos con los que no se intenta expresar un proceso transitivo en sentido material.

Un caso límite se da en la causalidad creadora. Podemos decir que la criatura «recibe» su ser de Dios al ser creada. Pero para la metafísica clásica esto no significa, en absoluto, que Dios «traspase» a la criatura algún tipo de realidad e de entidad, ni siquiera considerada como un *actus essendi* o en alguna otra manera. Eso exigiría, en primer lugar, considerar la criatura como un sujeto potencial de tal recepción antes de ser creada. Y por otra parte un proceso transitivo en sentido físico o sustancial debería implicar la pérdida en el término *a quo* de aquello que transfiere a otro, lo cual evidentemente no se podría concebir en el caso de la creación.

En el ámbito de los fenómenos causales del mundo físico tampoco parece posible armonizar el esquema de la «causalidad como transferencia»

⁶³ En los debates actuales sobre la naturaleza de la causalidad, esta teoría ha sido defendida principalmente por J. L. Aronson, «The Legacy of Hume's Analysis of Causation», *Studies in History and Philosophy of Sciences*, 2 (1971), pp. 135-156; *Una filosofía realista della scienza*, Roma, Armando, 1990, pp. 59-70. Esta teoría ha encontrado la oposición de los partidarios de una causalidad exclusivamente nomológica, que sigue la crítica humeana de la causalidad. Cfr. T. L. Beauchamp - A. Rosenberg, *Hume and the problem of causation*, Oxford, Oxford Univ. Press, 1981, pp. 208 ss.

con el punto de vista de la metafísica de raíz aristotélica. El agente que causa —se puede pensar en la producción de un objeto material, o en la generación de un ser viviente— no trasmite sin más una realidad al efecto, sino que produce o induce en él una nueva perfección. La forma de la estatua no se «trasmite» de la mente del artista al bloque de mármol, sino que es una perfección que el artista «duce» en el efecto, o que suscita a partir de una materia previa adecuada para obtener la nueva formalidad.

La concepción de la causalidad del mecanicismo galileano se agota en cambio en su sentido mecánico-transferente, según el cual una causa física se presenta como un objeto que comunica a otro una cierta propiedad, el movimiento, perdiéndola a su vez. Puede ser interesante notar que este sentido de la causalidad se aleja de la consideración fenoménica, hacia la que otros aspectos de la causalidad galileana parecían apuntar. Nos encontramos aquí con un sentido físico y realista de la causalidad, pero en el que ésta pierde su dimensión metafísica. No se refiere a dimensiones explicativas del mundo físico que posean un carácter *supra*-físico, sino que limita su horizonte a las características de la realidad susceptibles de experiencia sensible y matematizada.

5. Conclusión: una nueva visión del mundo físico

Los rasgos del uso de la noción de causalidad en la ciencia de Galileo que hemos brevemente considerado, pueden de algún modo ayudar a esclarecer el panorama alrededor de Galileo «filósofo». La nueva visión de la causalidad que la ciencia de Galileo ha elaborado y puesto en práctica no es el fruto de una pura reflexión intelectual, dirigida hacia una definición de conceptos filosóficos, sino que resulta de sucesivos intentos de elaborar una nueva ciencia de la naturaleza, un saber contrastable con la experiencia y capaz de ofrecer un conocimiento práctico y exacto de los fenómenos del mundo natural. Y sin embargo, aparece aquí un contenido y una raíz filosófica peculiar —metafísica, en este sentido— del nuevo significado que las nociones causales iban a adquirir en la ciencia y en la filosofía moderna.

La ciencia de Galileo presenta una concepción de la causalidad que se aleja decididamente del sentido que ésta poseía en la metafísica clásica, y apunta en la dirección que había de seguir en la filosofía moderna, ya incoada de algún modo en las nociones causales galileanas. Los tres aspectos que hemos puesto de manifiesto, la necesidad causal, la dimensión matemática y la perspectiva mecánica, contribuyen a formular una visión de la realidad física encuadrable en el mecanicismo racionalista. Pero sus efectos van más allá de la simple admisión de un modelo cosmológico de tipo atómico-mecánico. Así, esta primera reducción de la causalidad a la necesidad determinista abre paso a una consideración prevalentemente lógica, que de algún modo anuncia una visión fenoménica de las relaciones

causales. La dimensión matemática refuerza la necesidad y universalidad de la relación causal, que al ser tratada fundamentalmente desde un punto de vista formal, propicia la consideración nomológica de la causalidad. Por último, la reducción de la acción causal a una acción mecánica, concebida como transferencia de un contenido físico de tipo casi sustancial, excluye de la imagen del mundo físico las dimensiones metafísicas, planteando el conocimiento de la naturaleza como una empresa que se realiza a un nivel puramente empírico y factual.

De este modo la ciencia galileana se pone en camino hacia la concepción fenoménica de la causalidad propia de la crítica humeana, una causalidad concebida como simple regularidad⁶⁴. Y abre paso también a la concepción kantiana, apoyada directamente sobre la crítica de Hume.

La causalidad de Galileo no llegará hasta este punto. Si bien el aspecto lógico-formal que el uso de la noción de causa reviste en su mecánica favorecía una consideración fenoménica de la acción física, la dimensión mecánica de la causalidad-transferencia apuntaba más bien hacia una visión de tipo físico-realista. Ambas dimensiones habían de estar siempre presentes, desde entonces, en la conceptualización del mundo propia de la ciencia moderna. Con Isaac Newton, cincuenta años más tarde, las fuerzas rechazadas por Galileo entrarán nuevamente en el panorama de la física, sin que por ello sea eliminado el paradigma mecánico de la causalidad como transferencia. Las fuerzas recuperan el papel predominante que habían intentado adquirir al inicio del renacimiento, dando lugar a una filosofía de la naturaleza dinamista, cuyos principales representantes son Leibniz, Boscovich y Kant⁶⁵, pero también a una línea contraria, de carácter más empirista, que a la larga había de resultar dominante⁶⁶. Esta vez será el sentido del concepto de fuerza el que cambie, pasando de la concepción «naturalista» rechazada por Galileo a una concepción físico-empírica: en la física las fuerzas aparecerán solamente como la expresión cuantitativa de una acción física, de valor funcional, sin ningún trasfondo de tipo metafísi-

⁶⁴ La concepción humeana de la causalidad sigue siendo objeto de debate en el ámbito de la filosofía de la ciencia actual, que ve en la doctrina de Hume de la causalidad como pura regularidad la base para una teoría de la ciencia de tipo nomológico-deductiva. Son numerosas, sin embargo, las críticas a esta interpretación. Véase especialmente la clásica obra de J.L. Mackie, *The Cement of the Universe: A Study of Causation*, Oxford, Oxford Univ. Press, 1974, y el volumen ya citado T.L. Beauchamp - A. Rosenberg, *Hume and the problem of causation*.

⁶⁵ Kant adopta una actitud dinamista especialmente en su periodo precrítico (cfr. J. Arana, *Ciencia y metafísica en el Kant precrítico (1746-1764)*, Sevilla, Univ. de Sevilla, 1982, pp. 41-54), pero también la mantiene más adelante (cfr. J. J. Sanguinetti, *Ciencia aristotélica y ciencia moderna*, Buenos Aires, Educa, 1991, pp. 165-166).

⁶⁶ Maupertuis es uno de los principales representantes del debate físico contra la interpretación metafísico-leibniziana de la fuerza. Cfr. J. Arana, *Apariencia y verdad. Estudio sobre la filosofía de P.L.M. de Maupertuis*, Buenos Aires, Charcas, 1990, pp. 140-142.

co⁶⁷. Con la noción de fuerza se introduce de nuevo un elemento que no corresponde al mecanicismo radical propugnado por Galileo o por Descartes, pero no se rompe con el programa de explicación puramente física del dinamismo natural que Galileo se había propuesto. Solamente en la ciencia de este siglo tales características se han puesto en duda, poniendo de manifiesto su carácter limitado, propio de un particular estudio del mundo físico. La comprensión de su precisa orientación analítica y de su limitación a un determinado ámbito de nuestra posible experiencia en el mundo, hace que aparezca más claramente delimitado el contexto en el que dicha concepción resulta válidamente aplicable.

La concepción galileana de la causalidad ha resultado fundamental, en cualquier caso, para el desarrollo del conocimiento científico del mundo físico. Pero con ella Galileo introduce una serie de elementos en la conceptualización de la realidad: la necesidad determinista de los procesos dinámicos del mundo físico, la visión matemática y nomológica de la relación causal, y la consideración de la acción causal como transferencia mecánica. Y es necesario reconocer que su contenido va más allá del conocimiento puramente empírico de la realidad: son conceptos propiamente filosóficos, que nos presentan una filosofía, la filosofía de Galileo científico.

* * *

Rafael Martínez
Ateneo Romano della Santa Croce
Piazza di Sant' Apollinare, 49
00186 Roma

⁶⁷ Esta actitud, que el positivismo asume reductivamente, resulta claramente expresada por E. J. Dijksterhuis, *Il meccanicismo*, p. 647: «¿Pero entonces, se puede hablar de atracción de la Tierra, de cohesión, y de afinidad? Ciertamente se puede, siempre que se recuerde (...) que de este modo simplemente se ha dado un nombre a la causa de los fenómenos, y que esta asignación trae consigo un conocimiento únicamente si se puede formular una ley matemática que defina el modo en que actúan las fuerzas en cuestión».