

El despliegue de la óptica en la Baja Edad Media, la perspectiva renacentista y el giro epistemológico de la modernidad.

The deployment of optics in the late Middle Ages, Renaissance perspective and the epistemological turn of modernity

Benito Arbaizar Gil'

Universidad Santiago de Compostela, España

Recibido 17 noviembre 2024 • Aceptado 6 diciembre 2024

Resumen

El presente artículo destaca aportaciones que, desde la Baja Edad Media, desembocan en la revolución científica. Se parte del desarrollo de la óptica en la escuela franciscana de Oxford durante el siglo XIII, para pasar a mostrar el influjo de la misma en el surgimiento de la perspectiva en la pintura y la geometrización del espacio físico que esta técnica pictórica comportaba. Se finaliza indicando cómo tanto la revolución copernicana como la científica son herederas de un giro visual, involucrado en la perspectiva, que conlleva profundas consecuencias epistemológicas y transfiere la centralidad al sujeto intensificando el dominio sobre la naturaleza.

Palabras clave: Bacon; Copérnico; física-matemática; óptica; Renacimiento.

Abstract

This article highlights contributions that, since the Late Middle Ages, lead to the scientific revolution. It starts from the development of optics in the Franciscan school of Oxford during the 13th century, to show its influence on the emergence of perspective in painting and the geometrization of physical space that this pictorial technique implied. It concludes by indicating how both the Copernican revolution and the scientific revolution are heirs of a visual turn, involved in perspective, which entails profound epistemological consequences and transfers centrality to the subject, intensifying the domain over nature.

Keywords: Bacon; Copernicus; Mathematical Physics; Optics; Renaissance.

1. be.arbaizar@usc.es

1 • Introducción

Frente a los grandes avances de la ciencia helénica, los primeros siglos del cristianismo se sitúan en el marco de un giro espiritual que no fue alentador para el estudio científico de la naturaleza. Por mucho que haya en San Agustín elementos que fueron inspiradores de un estudio del mundo físico en términos matemáticos, su actitud fundamental queda reflejada en los *Soliloquios* cuando sentencia que no quiere *nada más* que “conocer a Dios y al alma” (1971, p. 442); ni el cuerpo ni el mundo figuran entre sus intereses y en las *Confesiones* censura a los astrónomos que “viendo con tanta antelación el defecto del sol que ha de suceder [el eclipse], no ven el suyo, que lo tienen presente, porque no buscan religiosamente” (1979, p.196). Con la mirada fija en el objetivo sobrenatural del amor a Dios y el consiguiente imperativo de “despreciar todo lo perecedero” (1956, 525), la naturaleza no aparece como objeto de interés por sí misma, sino solo de forma vicaria, como eco de la Palabra de Dios. Los mismos prodigios técnicos, tan ensalzados por los heraldos de la modernidad, serían para San Agustín del registro de los “ángeles malos”, frente a la conducta piadosa de los ángeles buenos (1956, 525).

Esta actitud contrasta con la que, de modo creciente, vemos ir avanzando en los últimos siglos de la Edad Media. Justo en el momento en el que los avances científicos de la cultura árabe entraban en su ocaso, se produjo, a través del vivificante aluvión de traducciones que tuvo lugar a partir del siglo XII, un trasvase de conocimientos que dará lugar a un renacer de la ciencia en la cultura europea. Que las condiciones de recepción espiritual eran entonces bien distintas de las dominantes en el inicio de la era cristiana es claro si tenemos en cuenta el entusiasmo con el que se acogió el aristotelismo, la creciente demanda de autonomía racional y el impulso experimentado por los avances técnicos. Muestra de la nueva actitud la da el hecho de que algunas de las más brillantes cabezas del siglo XIII, como Alberto Magno o Roger Bacon, hiciesen gala de un inusitado interés por el estudio y la observación de los fenómenos naturales.

Lo que este trabajo se propone mostrar es el relevante papel que tuvo en la génesis de la revolución científica el desarrollo de la óptica. A tal fin se toma la escuela franciscana de Oxford como destacado punto de referencia

inicial, mostrándose, en los dos próximos apartados, como en Grosseteste se anudan física matemática y metafísica de la luz, en un anudamiento que dará lugar en Roger Bacon a la *scientia experimentalis*. El cuarto apartado comienza mostrando el trasvase de los avances de la óptica al campo del arte y el modo en el que este promovió una geometrización del espacio destinada a integrarse en la revolución científica. En esa línea se finaliza, en el quinto apartado, indicando cómo la revolución astronómica iniciada por Copérnico entrañaba un giro visual que se halla en consonancia tanto con el rol activo que el ser humano adquiere en el Renacimiento como con la preeminencia que el sujeto observador cobra en la técnica de la perspectiva.

El artículo trata de clarificar cómo en los últimos siglos del Medioevo se estaba operando un giro desde lo que había sido una concepción contemplativo-trasmundana del saber a una concepción en virtud de la cual el ser humano se autocomprende, cada vez más, como un sujeto activo facultado para, como en el inicio del discurso moderno prometieron Descartes y Francis Bacon, dominar la naturaleza a través de la ciencia y de la técnica.

2 • El despliegue de la óptica en la Baja Edad Media

Señalaba Platón que en toda visión intervienen un ojo, un objeto y una luz. En su *Óptica* (traducida al latín como *Perspectiva*) Euclides interpreta el acto de ver como resultado de la intersección de rayos rectilíneos que formaban un cono con el ojo situado en el vértice y explicaba, de ese modo, la disminución aparente de un objeto a medida que se distancia del observador. Tanto la *Óptica* de Euclides como la de Ptolomeo (que suponían, con Platón y contra Aristóteles, que los rayos procedían de los ojos) fueron ignoradas durante la Edad Media hasta que en el siglo XII se traduzcan sus tratados a partir de versiones árabes. Relevantes para el desarrollo de la óptica fueron igualmente las traducciones de la obra de Al-Kindi y de los logros revolucionarios de Alhazen, defensor de que los rayos visuales emanaban no del ojo, sino de los objetos.

La recuperación en el siglo XII y comienzos del XIII de referentes de la cultura griega como Aristóteles y Euclides, junto con las aportaciones de la cultura árabe, acabará produciendo un fenómeno decisivo para el adve-

nimiento de la revolución científica: el vínculo entre el empirismo propio de una técnica que estaba siendo activamente desarrollada (Crombie, 1962, 16-20; 1974, 72-73) y el racionalismo propio de una filosofía y una matemática revivificadas por el aluvión de nuevas traducciones (Crombie, 1974a, 21, 96). Por lo que se refiere a la óptica, esta pasó de no existir como disciplina al comienzo de la Edad Media a integrarse en los programas educativos y ser considerada por Roger Bacon como aquella sin la cual es imposible un verdadero avance en ciencia y filosofía (Lindberg, 1987, 258).

El campo de la óptica, avistada por Aristóteles (1996, 39) como una ciencia intermedia entre matemática y física, era particularmente propicio para un encuentro entre técnica, experimentación y matemática. Grosseteste, que impartió sus enseñanzas en la escuela franciscana de Oxford, entendió la creación de Dios como un *hágase la luz* en tanto que radiación homogénea e isotrópica que expande difusivamente la corporeidad gestando un mundo esférico en el que rigen las leyes de una óptica que garantiza la omnipresencia de Dios y de su gracia. La filiación neoplatónica de la teoría de Grosseteste es clara si recordamos lo dicho por Plotino en las *Enéadas* (1998, 79) cuando señalaba que lo múltiple brota de lo Uno “como el halo de luz de la luz” en una “radiación circular emanada de él, es verdad, pero emanada de él mientras él permanece, al modo del halo del sol que brilla en su alrededor como aureolándolo” (1998, 31).

Conviene tener presente, en este contexto, que en el neoplatonismo la materia no era, como en Aristóteles, pura potencialidad e indeterminación sino que estaba determinada por las dimensiones espaciales. Para filósofos árabes como Avicena, Al-Ghazzali y Averroes había una *corporeidad común* a las cosas que las hacía extensas y el judío Avicibrón defendía que esa extensión era continua en todo el universo. Lo que hizo Grosseteste fue identificar la *corporeidad común* de los neoplatónicos con la luz en tanto que radiación original (Crombie, 1974a, 75).

El carácter sincrético del neopitagorismo y neoplatonismo ya había avanzado en la dirección de vincular la procesión de lo Uno al orden deductivo aristotélico del cual tanto los *Elementos* como la *Óptica* de Euclides son tributarios (Ortega y Gasset, 1979, § 12-13; Lindberg, 1987, 252). Baste con recordar que Proclo, en sus *Elementos de Teología*, imitaba la estructura demostrativa de los *Elementos* para ilustrar la procesión de lo múltiple

desde lo Uno (Cleary, 69-70) y que, en opinión de O'Meara (173-75), trataba con ello de hacer con la geometría lo que Jámblico había intentado hacer con una aritmética a la que consideraba la más simple y principal de todas las ciencias matemáticas, otorgándole el carácter mediador por excelencia entre lo indivisible y lo divisible (Maggi, 168).

Conocida es, por lo demás, la filiación agustiniana de los franciscanos (como ejemplifican Alejandro de Hales o San Buenaventura), así como la filiación aristotélica de la orden de los dominicos (como ejemplifican Alberto Magno y, sobre todo, Santo Tomás); y sabido es que, para San Agustín, Dios ilumina en nuestra mente el conocimiento matemático y crea un mundo estructurado (1957, 729-33), tal y como se nos dice en *Sabiduría* (11:20) “con medida, número y peso.”

La exaltación neoplatónica de la luz de Grosseteste establecía un vínculo entre radiación y matematización que permitía homogeneizar una materia, ya no informe, sino matematizada. Si bien desde el punto de vista de los avances concretos en la aplicación de la matemática a la óptica, no quepa decir que Grosseteste hiciese más que Alberto Magno, su impulso de un proyecto matematizador lo sitúa en las antípodas epistemológicas del *Doctor Expertus*, que advertía contra el error platónico de abordar el estudio del mundo físico desde una perspectiva matemática (Lindberg, 1987, 256).

La *scientia experimentalis* de Roger Bacon fue el desarrollo de la semilla de Grosseteste (Lindberg y Tachau, p. 501) por alguien que pudo beneficiarse de nuevas traducciones de textos griegos y de un conocimiento más actualizado de unas aportaciones árabes entre las que Bacon admiraba particularmente las de la óptica de Alhazen (Lindberg, 2002, 394-95). La *ciencia experimental* (nombre que acuña por vez primera el *Doctor Mirabilis*) apuntaba en la dirección de un proyecto matematizador que permite situar Oxford como un origen decisivo de la revolución científica.¹

En ese sentido, y por más que sean muchas las hebras que fueron anudando dicha revolución en el curso de un largo proceso madurativo, “es

¹ No obstante, justo es recordar la influencia que sobre Roger Bacon tuvo el maestro francés Pedro de Maricourt (*Petrus Peregrinus* autor de una *Epistola de magnete* que fue la mejor obra de magnetismo hasta Gilbert), al que el Doctor Mirabilis no se cansa de elogiar y al que presenta como un *dominus experimtorum* que proclamaba la necesidad de complementar el método matemático con el experimental (Gilson, 1985, 477-78).

probablemente de toda justicia”, tal y como indicara Adamson, “cuando habremos de reforma baconiana de la ciencia, referirnos al olvidado monje del siglo XIII mejor que al brillante y famoso canciller del siglo XVII” (1876, 7). Con respecto a esa opinión cabe señalar que, si bien por un lado (y a diferencia de Roger Bacon) Francis Bacon libera la ciencia de su vínculo con la teología concediendo una creciente importancia a la cuantificación en el ámbito experimental (Bacon, 1985, 198; Manzo, 2006, 237-42), por otro lado, el canciller consideraba que las medidas “son únicamente medidas” (1985, 118) y meros “apéndices de la física” (1779, 235), esto es, veía la matemática como mero auxiliar y no como fundamento de la nueva ciencia (1988, 110-11; Quinton, p. 69; Manzo, 24-25).

La ceguera que Francis Bacon tuvo con respecto a la importancia estructural de la matemática no haría más que abundar en la legitimidad de otorgar precedencia al franciscano sobre el canciller, pues frente a esa ceguera, tanto Grosseteste como Roger Bacon anticipan las palabras de Galileo (1968, p. 232) de que el libro de la naturaleza está “escrito en lengua matemática y sus caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin las cuales es imposible entender ni una palabra”. Es así que Grosseteste (1912, 59-60) afirma en el *De lineis* que es “de la mayor utilidad el considerar las líneas, los ángulos y las figuras porque es imposible entender la filosofía de la naturaleza sin ellos”, y que Roger Bacon señala que las matemáticas son “puerta y llave de las ciencias” (1897a, 97) y que “toda ciencia requiere matemáticas” (1987a, p. 98), defendiendo la matemática como lenguaje universal del saber, dado que “todas las predicaciones dependen del conocimiento de las cantidades, de las que se ocupan las matemáticas, y, por lo tanto, todo el poder de la lógica depende de las matemáticas” (1897a, 103). En esta remitencia del *decir* al *cuantificar* puede verse un gesto anticipatorio de la *mathesis universalis* cartesiana o el *ars characteristic* leibniziana.

3 • *Magia naturalis y Scientia experimentalis*

Roger Bacon, apasionado defensor de la justificación utilitaria de las ciencias teóricas que anticipó el automóvil y el submarino (Crombie, 1974a, 60, 166), anuda *episteme* y *téchne* en el marco de un proyecto que quiere separar

los ineficaces y fraudulentos procedimientos de dominio propios del afán de poder del mago de los facultados por una tecnociencia al servicio de la humanidad. Al igual que más tarde en Francis Bacon, el nuevo saber no solo impulsaría la prosperidad, sino que multiplicaría la eficacia de los artefactos bélicos; en ambos autores se trata de un saber que conduce a la tierra prometida de una naturaleza sometida al dominio de un hombre capaz de prolongar la duración y la calidad de su vida en una suerte de restauración del paraíso o la sabiduría perdida (Gilson, 445-46; Merchant, 170).

Con el fin de precisar la posición de Roger Bacon en este punto, así como sus cautelas para no ser confundido con un mago al uso, conviene tener presente una serie de distinciones aplicables al profuso campo de las actividades mágicas. Más allá de la distinción entre *magia blanca* o benéfica y la *magia negra* o maléfica, es relevante tener presente la diferencia entre *magia alta*, que incluye astrología, alquimia y nigromancia, y *magia baja*, que incluye prácticas como la hechicería, el curanderismo o la adivinación (Larner, 144; Russell, 1972, pp. 6-7; Russell, 1980, p. 14). La magia baja, de raigambre popular, carecía de prestigio entre las élites de la cultura. Sin embargo, por lo que se refiere al estatuto de la magia alta conviene tener en cuenta que la transmisión de la cultura árabe, con todos los avances científicos que ello facilitó, conllevó igualmente la difusión entre las élites culturales de un neoplatonismo y un neopitagorismo empapados de astrología y alquimia. Es así que, en los siglos IX y X vemos a Al-Kindi y Al-Farabi completar la distancia entre el Dios Uno y la multiplicidad del mundo con una progresiva emanación de esferas que atraviesan interactivamente el universo dando cuenta de las transformaciones cósmicas. Un ejemplo del modo en el que el saber islámico de aquella época se presentaba impregnado de hermetismo lo da la influyente Enciclopedia de los Hermanos de la Pureza. Más adelante, en los siglos XI y XII vemos a Avicena y Averroes interpretar los estados del ser como formas emanadas añadiendo cualidades ocultas a las propias de los elementos aristotélicos. Dichas cualidades ocultas darían cuenta, más allá de las propiedades ordinarias de los elementos, de las extraordinarias, con lo cual se ofrecía una cobertura filosófica a la alquimia y a la magia que ayuda a comprender la dignificación cultural que, a partir de las traducciones árabes, la magia va a adquirir frente a la simple hechicería (Bravo, 152; Solís y Sellés, 220-22).

Otra diferencia a tener en cuenta es la que hay entre la magia *natural* y la *sobrenatural*; que permite diferenciar, dentro de la magia alta, entre, por un lado, la astrología y la alquimia y, por el otro, la nigromancia. Mientras que la magia natural remite a fuerzas físicas, la segunda apela a entidades espirituales, ya sean malignas, como en la *nigromancia*, o benignas, como en la *magia ceremonial*.

Más allá de las propiedades manifiestas que un objeto posee por su propia naturaleza, estarían aquellas otras que afectan a los objetos en virtud de propiedades o cualidades ocultas (Kieckheffer, 1-14; Shumaker, 108; Thomas, 265). La magia natural se ocupa de esas cualidades ocultas, esto es, de las intrincadas relaciones de simpatía-antipatía así como de las emanaciones celestes y resonancias que atraviesan interactivamente el universo conexionando unas cosas con otras (Kieckheffer, 13; Middleton y Gilbert, 91). Esta concepción de la magia natural, en consonancia con el protagonismo filosófico del hermetismo, tuvo una amplia difusión en el Renacimiento y aún para Francis Bacon son simpatía y antipatía causa principal de un movimiento inteligido en términos apetitivos (Rossi, 361; Manzo 2006, pp. 71, 241); lo cual se halla en consonancia con el hecho de que el canciller asigne a la *magia*, por más que “una vez purificado” el término, un lugar destacado como saber operativo “debido a las amplias vías que abre y al mayor dominio que confiere sobre la naturaleza.” (1985, 198-99)

Durante el siglo XIII, en el entorno de la Universidad de París, vemos a Alberto Magno o a Tomás de Aquino distinguir entre lo que Guillermo de Auvernia dio en llamar *magia natural* y la *nigromancia*. La primera estaría basada en las cualidades ocultas de la naturaleza y sería compatible con la ciencia y la religión, mas la segunda, basada en la interlocución con los espíritus, sería incompatible (Giralt, pp. 16-18).

Roger Bacon (1897a), guiado por un afán de “separar el grano de la paja”, desvincula el término magia de toda connotación positiva y elude presentar como una *magia naturalis* su *scientia experimentalis*, correspondiéndole a esta última “la más alta dignidad” precisamente porque puede “evacuar” las malas artes mágicas “estableciendo la naturaleza y la técnica” (1912, 48), esto es, un saber garante de un verdadero dominio.

A diferencia de lo que ocurre con Alberto o Guillermo (que vinculaba la etimología de *magi* con la grandeza de *magni*) y a semejanza de lo que

ocurre en Santo Tomás, *magus* siempre tiene una significación negativa en Roger Bacon, que habla despectivamente de los malditos magos (*magi maledicti*) y las viejas hechiceras (*vetule sortilege*). Lo que el franciscano quiere defender es una operatividad técnica asentada en un conocimiento de la naturaleza ajeno a las instancias sobrenaturales a las que apela el mago. Más allá del hecho de que su *scientia experimentalis* integre cualidades ocultas en calidad de *secreta opera artis et nature* (Giralt, 26, 34, 58), o de que la astrología estuviese para él asociada a los beneficios prácticos de la ciencia por su capacidad para predecir el futuro (Lindberg, 2002, 287), lo relevante aquí es el modo en el que la ciencia experimental se fragua en Roger Bacon como un proyecto en el que la realización de las promesas de dominio de la magia quiere canalizarse a través de una articulación metódica entre matemática, técnica y experiencia. Por muchas que fuesen las impurezas que se irían depositando en el lecho antes de que las aportaciones de la Baja Edad Media desembocasen en el paradigma de la física matemática, lo cierto es que el cauce por el que habría de circular la nueva ciencia estaba destinado a ser, como el de la *scientia experimentalis* impulsada por Roger Bacon, un cauce matemático.

En realidad, tanto la *magia natural* como la *ciencia experimental* liberaban a la época de unas categorizaciones escolástico-aristotélicas en donde todo se compartimentalizaba en géneros y especies jerarquizando la naturaleza según los órdenes *sub* y *supralunar*. En las antípodas de la rígida forma aristotélica, alquimia y astrología abrieron la mente europea a un espacio de transmutación e interconexión que impulsaba el desarrollo de una ciencia universal y práctica. Frente al tradicional conocimiento contemplativo, el científico heredaría del mago la propuesta de un *saber* inseparable de un *hacer*, y lo que habría de implementar la ciencia serían las promesas de dominio del mago, pero por otras vías (las de la denotación matemática en vez de la connotación hermética) y con otro alcance (el progreso de la humanidad en su conjunto en el contexto de una investigación colaborativa). Lo que la nueva ciencia ofrecería es un eficaz procedimiento de dominio colectivizado a través de la fuerza objetivadora del lenguaje matemático (Arbaizar, 99-100). Tal y como indica Culiuanu (149):

Los historiadores concluyeron sin razón que la magia había desaparecido con la llegada de la ‘ciencia cuantitativa’. Ésta sólo

ha sustituido una parte de la magia, prolongando sus sueños y sus finalidades, recurriendo a la tecnología. La electricidad, los medios de transporte rápidos, la radio y la televisión, el avión y el ordenador no son más que las realizaciones de aquellas promesas, formuladas por la magia, que respondían a los procedimientos sobrenaturales del mago: producir luz, desplazarse instantáneamente de un punto a otro del espacio, comunicarse con regiones lejanas del espacio, volar por los aires y disponer de una memoria infalible. Podemos sostener que la tecnología viene a ser una magia democrática que permite a todo el mundo gozar de las facultades extraordinarias de las que, hasta ahora, sólo podía presumir el mago.

4 • *Perspectiva naturalis y perspectiva artificialis*

Roger Bacon había dedicado la quinta parte de su *Opus Maius* a la óptica, estudiando tanto principios de la visión, reflexión y refracción como aplicaciones prácticas entre las que figuraba el uso de las lentes para mejorar la vista. En menos de una década tras la publicación del *Opus Maius*, Witelo publicaría su *Perspectiva*, en la que se percibe el influjo de Bacon. La influencia del Doctor Mirabilis fue aún mayor sobre John Pechan, pudiendo ambos haber coincidido en torno a 1260 en el convento franciscano de París. Bacon-Witelo-Pechan fueron el trípode sobre el que se asentaron los estudios de óptica durante mucho tiempo (Lindberg, 1996, 95-96).

La difusión de los anteojos fue prioritaria en regiones, tales como Italia y los países cercanos al Báltico (Martínez, 52), en las que primero se difundieron aquellos conocimientos sobre óptica que harían posible la introducción de la perspectiva en la pintura. Sobre dicha introducción, señalar que las aportaciones de Roger Bacon fueron tenidas en cuenta en la composición, en las postrimerías del siglo XIII en Asís, de las *Tres escenas de la vida de San Francisco* en la Iglesia de San Francisco (Edgerton, 17). Se trataba de unos frescos que rompían con el carácter plano, estático y yuxtapuesto de la tradición medieval, pasando a presentar escenas como si estuviesen en la base de la pirámide visual con el ojo en el vértice, esto es, al

modo en el que Roger Bacon (1897b) había explicado, en línea con Alhacen, la recepción de las imágenes en el ojo.

El nuevo procedimiento se difundió por toda Europa a lo largo del siglo XIV y en el Quattrocento la perspectiva pasará de ser una ciencia de la visión a operar como ciencia de la representación. En Florencia, Masaccio ejemplifica en *Trinidad* la aplicación a la pintura de la perspectiva geométrica y Brunelleschi (que probablemente asesoró al anterior) crea un dispositivo que permitía al observador mirar por el agujero de una tabla hacia un espejo que reflejaba la superficie pintada en perspectiva cónica.

A mayor abundamiento del uso del espejo dentro de un dispositivo técnico integrado en la producción artística, pueden citarse las palabras de Alberti (1998, 109) asignando al *espejo* el carácter de “juez” e indicando que “las cosas sacadas de la naturaleza se corrigen con el espejo”. En la misma línea se manifestaba Leonardo (Da Vinci, 238-39), al señalar que el espejo “se debe considerar como un maestro”, pareciéndose la pintura a “una vista del natural contemplada en un gran espejo.” Todo lo cual da muestra de cómo en el desarrollo de la perspectiva pictórica estaban convergiendo aquellos elementos que serían clave en la nueva ciencia: matemáticas, técnica y observación.

La perspectiva lineal se difundió, más allá del campo estricto del arte, hacia la ingeniería, de modo que se prodigó la figura de un artista ingeniero (de los cuales Leonardo da Vinci y Giorgio de Siena fueron ejemplos paradigmáticos) capaz de representar en perspectiva armas, máquinas, piezas y edificios civiles o militares. En la Edad Media, la palabra perspectiva designaba a la ciencia de la óptica (*perspectiva communis*) y no será hasta el siglo XIV que pase a referirse, en tanto que *perspectiva artificialis o pingendi*, al conjunto de técnicas de representación del espacio (Edgerton, 19). Si bien Brunelleschi y Masaccio no dejaron ningún escrito que expusiese sus métodos, Alberti escribió en 1435 su tratado *De la pintura*, en donde se detalla como en la base de la representación espacial se halla el análisis de los triángulos y las figuras que forman los rayos visuales. Al igual que Brunelleschi, Alberti saca provecho de una copia de la *Geografía* de Ptolomeo que llega a Florencia en 1400, obra en la que se proponían diversos métodos de proyección cartográfica sitios en la base de las nociones fundamentales de la perspectiva clásica (Edgerton, 19).

Con la irrupción de la perspectiva lineal el tamaño de los objetos deja de expresar, como en el orden medieval de representación, una diferencia jerárquico-cualitativa (en virtud de la cual a un mayor rango teológico o social correspondía una mayor porción de espacio) para pasar a ser fruto de una articulación geométrico-cuantitativa en virtud de la cual el objeto representado se ve más grande cuanto más se aproxima al punto de vista (ojo) y más pequeño cuanto más se acerca al punto de fuga (infinito), siendo la relación geométrica entre esos dos puntos el principal factor determinante del tamaño y representándose en un espacio bidimensional finito lo tridimensional e infinito.²

De este modo, el punto de vista conecta los diferentes rayos visuales y la posición de los puntos se sustrae a todo contenido que vaya más allá de su estructura relacional. Reducido a esa homogeneidad geométrica pura, el mundo representado puede ser metódicamente construido, pues, tal y como indica Panofsky (14), “desde todos los puntos del espacio pueden crearse construcciones iguales en todas las direcciones”, siendo el espacio fenoménico transformado en un espacio matemático considerado monofocalmente desde una posición fija. Reducción geométrica del espacio a la que podemos poner en paralelo con la mecanización del tiempo que, desde finales del siglo XIII, estaban llevando a cabo unos relojes en donde la sucesión se representaba en unidades abstractas y uniformes de espacio desplazadas por las manecillas.

Recogiendo la herencia del *cono visual* de Euclides, Alberti organiza la conexión lumínica entre ojo y objeto en una *pirámide visual* siendo el cuadro o superficie pintada una sección o corte de dicha pirámide. Todo sucediendo como si el espectador mirase a través de una ventana y pintase lo que ve sobre el cristal, el artista solo tiene que escoger su particular punto de vista en función del ángulo y la distancia a la que se sitúa. Lo que el tratado de Alberti hacía evidente es cómo la perspectiva tenía un nivel de madurez que facultaba al artista para no limitarse, como Giotto, a la representación

² Más adelante, será Kepler quien, en su *Ad Vitellionem paralipomena*, defina la convergencia de las paralelas en el infinito, Desargues quien dé la definición del punto de concurrencia como perspectiva de un punto en el infinito y Stevin quien vincule óptica y escenografía destacando el uso instrumental del espejo o el vidrio para hacer sobre él un dibujo sombreado en perspectiva (Castañer, 1990, 87-88).

aislada de objetos tridimensionales, sino que faculta para desarrollar una visión estructural que presupone el sometimiento de todo contenido a las reglas geométricas del espacio continente (Velázquez, 78). En una atmósfera semejante, no es de extrañar la proliferación de escuelas que, siguiendo la iniciativa de Vasari en la Florencia de 1563, consideraran necesario dar una formación matemática a sus artistas (Corredor y Londoño, 302).

Lo que estaba anticipando la perspectiva (más allá de lo incoado de cara a la geometría analítica o a la proyectiva) era una inversión del orden aristotélico en virtud del cual la categoría de *relación* reemplaza la centralidad de la *sustancia*; de ahí que Descartes, que en su *Dióptrica* habría de integrar *perspectiva naturalis* y *artificialis*, señale que su interés no se orienta hacia la diversidad de objetos de los que se ocupan las distintas ciencias matemáticas, sino hacia las relaciones que tales objetos mantienen entre sí (AT, VI, pp. 19-20).³ De hecho, lo que anima el proyecto cartesiano de la *mathesis universalis* es el comprender la red de transformaciones que estructuran la forma matemática (red que, en su geometría analítica permitía transformar expresiones aritméticas en geométricas y viceversa).

Alberti (1998, p. 86) propone como la técnica “más útil” para representar la realidad el uso de “un velo delgado (...) entre el ojo y el objeto observado, de tal manera que la pirámide visual penetre a través de lo delgado del velo.” Esta estructuración reticular de lo representado, que recuerda la función de la retina (del latín *rete*: red),⁴ es heredera de la red cartográfica de Ptolomeo y, preludiando el uso generalizado de las coordenadas en la geometría analítica, prelude también el tránsito a una geometría en donde el objeto matemático es constituido en el marco de una red sistémica de relaciones (Cassirer, 1977, 90-91, 101).

Tanto el velo como la cámara oscura gozaron de gran popularidad entre los artistas del Renacimiento y el Barroco (Field, 1996, 17). En *Vita*

³ Las obras de Descartes se citan en conformidad con la edición de las obras completas de Charles Adam & Paul Tannery (1969-74): *Oeuvres de Descartes*, París, Vrin.

⁴ Observa Panofsky (17-18), que en la retina las imágenes son proyectadas no sobre una superficie plana, sino cóncava, con lo cual en el ojo no se proyectan las imágenes sobre una *plana tabella*, sino sobre la superficie interna de una esfera visual. Kepler fue consciente de que la omisión de este hecho podía llevar a la confusión de dejarse engañar, pongamos por caso, por la apariencia curva de la cola de un cometa, sin percatarse de que, en términos objetivos, se trata de una trayectoria rectilínea.

anonima, posible autobiografía de Alberti (1988, 153-54), se nos dice que este (1988, 160):

con el arte de la pintura compuso obras inauditas e increíbles a los ojos que las contemplaban. Dichos trabajos los mostraba encerrados en una pequeña caja, a través de un pequeño agujero. Allí se podían ver altísimos montes, vastas provincias que rodeaban la extensa sinuosidad de los mares; se contemplaban alejadas regiones, tan remotas que faltaban ojos para poder divisarlas. Llamaba descripciones a estas cosas, y eran de tal modo que los entendidos y los profanos creían ver no pinturas, sino realidades.

La cámara oscura, que antecede a la cámara fotográfica, muestra paradigmáticamente (como ya lo mostraba el mencionado dispositivo empleado por Brunelleschi) la unificación moderna de los dos sentidos que se anudaban en la palabra griega *téchne* en tanto que producto estrictamente técnico y en tanto que producto artístico. Será Kepler quien acuñe el término “cámara oscura” para describir un efecto óptico ya conocido por Aristóteles (Gernsheim, 1969, 17) y un dispositivo tanto descrito por Alhacen como probablemente conocido por muchos árabes cultos. El término hace referencia a una cámara o habitación en cuya pared se abría el pequeño orificio a través del cual se proyectaba la imagen quedando esta a disposición del pintor en una suerte de anticipación de lo que Heidegger (1977, 69-104) dio en llamar *época de la imagen del mundo*, esto es, época en la que la presencia es reducida a representación matemáticamente manejable.

Para referirse al método de la perspectiva, empleaba Leonardo da Vinci una comparación que recuerda la analogía cartesiana de la mente con un “piloto en su navío” (AT, IX, pp. 100-101), pues consideraba que los pintores que no orientasen su práctica con el nuevo método serían “como los pilotos que entran en el barco sin timón o brújula, que nunca saben dónde van” (2013, p. 132). Detrás de ello encontramos la nueva centralidad de ese *dominus* dominador que reduce la naturaleza a geometría. Por lo demás, el mismo afán es el que está latiendo detrás de la política concebida como estrategia de dominio en Maquiavelo, del *saber es poder* de Francis Bacon o de la promesa cartesiana de convertirnos “en dueños y señores de la naturaleza” (AT, VI, p. 62). Cuando Descartes sitúa el *cogito* como punto arquimédico

del pensar y evidencia original, no hace más que apuntalar filosóficamente la nueva centralidad asumida por el hombre.

5 • La perspectiva y el giro copernicano

La centralidad del ojo humano que organiza matemáticamente lo percibido se halla tanto en la base de la pintura moderna como de la moderna astronomía, esto es, en la base de la revolución que Copérnico inició en los cielos y después se extendió a la física terrestre. Este influjo basal se percibe tanto en el efecto enriquecedor que sobre la observación van a tener las técnicas vinculadas a la perspectiva, como en el carácter activo que el ojo adquiere como punto de referencia del emplazamiento de la escena.

Con respecto al vínculo entre geometría y observación señalar que para Leonardo (Da Vinci, p. 69): “No hay parte en la astrología que no esté en función de las líneas visuales y de la perspectiva, hija de la pintura” y que lo que permitió a Galileo, hábil pintor conocedor de la técnica de la perspectiva, discernir con sus primeros telescopios la topología irregular de la Luna, fue convertir los picos lunares, iluminados con una línea de sombra en su base, en un diagrama geométrico que permitía resolver el problema de la sombra calculando la altura (Edgerton, p. 24).

Con respecto al carácter activo que el ojo humano cobra en tanto que observador, recordar lo que Copérnico establece en el quinto y el sexto de los axiomas propuestos por el *Commentariolus*:

5. Todo movimiento que aparece en el firmamento no se origina a causa del movimiento del firmamento mismo, sino a causa del movimiento de la Tierra. Así, pues, la Tierra con sus elementos próximos realiza una rotación completa alrededor de sus polos fijos en un movimiento diario, permaneciendo inmóvil el firmamento y el último cielo.

6. Lo que se nos aparece como movimiento del Sol no es ocasionado por este, sino por el movimiento de la Tierra o de nuestra esfera, con la que giramos alrededor del Sol como cualquier otro planeta y así la Tierra tiene varios movimientos.

Más allá de las diferencias que quepa establecer entre el *Commentariolus* y el *De revolutionibus*, lo más relevante es que al ser transportado de un sistema de referencia (la Tierra) a otro (el Sol) el ser humano dejó de ser un observador pasivo del movimiento objetivo para ser un participante del mismo, pues desde el punto de vista de la astronomía copernicana el estado del objeto celeste ya no podía inteligirse sin tener en cuenta el movimiento del sujeto que observa desde la Tierra.

Entiendo que Russell (1976, p. 9) confunde dos planos distintos cuando indica que Kant habría llevado a cabo, no una *revolución copernicana*, sino una *contra-revolución* Ptolemaica, dado que “vuelve a poner al ser humano en el centro del cual Copérnico lo había destronado.” Ernst Bloch (1985, 61) señala en la misma dirección cuando afirma:

Kant llevó a cabo un giro ptolemaico. Copérnico hizo que la Tierra girara alrededor del Sol –siendo la Tierra el sujeto y el Sol el objeto. Y Kant haría girar el Sol alrededor de la tierra, por lo que el objeto gira alrededor del sujeto. En el primer caso hay un predominio del objeto, tomándose el Sol como objeto, en el otro la sana sensatez ha sido abolida y reemplazada por la perspectiva ptolemaica, aunque [Kant] diga lo contrario.

Lo que tanto Russell como Bloch pasan por alto es que, en virtud del mismo acto por el cual el hombre es destronado en Copérnico como *centro objetivo* del universo es entronizado como *sujeto central*. Así como la perspectiva ordenaba el cuadro desde el punto de vista de un ojo que mira una escena susceptible de ser modificada cambiando el punto de vista, Copérnico reordena el universo depurando lo observado del movimiento introducido por el observador.

Es precisamente desocultando el rol que ocupa el sujeto observador que Copérnico reorganiza la astronomía, así como será poniendo de manifiesto el carácter insoslayable del sujeto en el conocimiento que Descartes reedifica el saber. Y, en ese sentido, Kant da de lleno con lo incoado por Copérnico cuando hace una analogía entre su giro trascendental (que reivindica, precisamente, la centralidad del sujeto en la constitución del conocimiento) y el *giro copernicano*.

Conviene revisar la idea de Freud de que el heliocentrismo copernicano fue la primera gran afrenta de la investigación científica al narcisismo.

mo humano. Más que de una *superación* del narcisismo cabría hablar de un *desplazamiento* del mismo en virtud del cual se pasa de ensalzar al hombre como *objeto* cósmico a ensalzarlo como *sujeto* perceptivo. Si bien es cierto que el hombre pierde en la astronomía copernicana su *centralidad física* adquiere, sin embargo, una *centralidad metafísica*, ya que el orden completo de los cielos es reordenado teniendo en cuenta la posición que ocupa el ser humano en tanto que sujeto observador; con lo cual la revolución astronómica aparece desde su inicio vinculada a un principio de relatividad del movimiento que atraviesa la física matemática desde Galileo hasta Einstein.

Es por ello por lo que desde el comienzo de la revolución científica en Copérnico podemos hallar la presencia germinal de una *crítica proyectiva* destinada a replicarse, de forma cada vez más acerada, con el desarrollo de la física matemática. Y es así que Galileo critica las cualidades secundarias como meramente subjetivas, sin más realidad que las cosquillas (1968, 350), abogando por una visión matemáticamente depurada de lo real que permita separar lo que está en el *ser* de lo que está solo en el *ver* sensible. Esa misma separación de ser objetivo y aparecer subjetivo llevará a Descartes a establecer el corte referencial *res cogitans-res extensa* despojando a lo real material de todo cuanto no sea dócil a la geometrización y expulsando del lenguaje de la ciencia todo cuanto no admita una expresión rigurosamente matemática, todo cuanto no sea susceptible de ser expresado en los precisos términos de “un más y un menos, y todo eso queda comprendido bajo el nombre de magnitud” (AT X, p. 440).

La palabra *óptica*, traducida al latín como *perspectiva*, deriva de *ὀπτική*, con el significado de apariencia. Y así como Copérnico nos previene de confundir el movimiento aparente con el movimiento real, la física matemática clásica accede a lo esencial (las cualidades primarias físicamente existentes) depurando el *aparecer* sensible de modo que trasparenca el *ser* matemático. Esa depuración es lo que llevó en la teoría de la relatividad a extender la crítica proyectiva a las cualidades primarias (volviendo las determinaciones de duración, longitud, forma o tamaño relativas a un determinado sistema de referencia), y es también lo que llevó a la mecánica cuántica a cuestionar la sustancialidad misma del objeto físico, esto es, a cuestionar que se pueda seguir hablando de lo medido independientemente del procedimiento de la medida y la consiguiente interacción con el aparato

en el momento de la observación. Es instructivo escuchar a grandes figuras de la física, como John Wheeler, decir lo siguiente:

Participador (Participantor) es el nuevo concepto incontrovertible ofrecido por la mecánica cuántica. Derroca el término observador, de la teoría clásica, que designa al hombre que está seguro detrás de un grueso muro de cristal y observa lo que acontece a su alrededor sin participar en ello. Lo que la mecánica cuántica nos dice es que eso no puede hacerse. Incluso antes de poder hablar de la posición o el momento de un modesto electrón, uno debe participar. (Misner, Thorne y Wheeler, 1973, p. 1217)

De lo que estas palabras se hacen eco es de un desarrollo de la física que ha alcanzado el punto en el que la crítica proyectiva es desustancializadora, en donde ser-aparecer se funden en la conjugación técnica que tiene lugar en el proceso de medición, en donde, por lo tanto, ya no cabe hablar del ser fuera de la interacción observado-observador. Podríamos entender esta evolución de la física como una versión radicalizada de lo que hizo Copérnico: reordenar la ciencia poniendo en primer plano el lugar ocupado por el *observador* y prevenir de lo que el *participante* humano estaba inadvertidamente introduciendo en lo observado.

6 • Conclusiones

Abandonando la Tierra el lugar estático que ocupaba en la cosmología aristotélica, y pasando a integrarla, como un planeta más, en la dinámica celeste, Copérnico estaba en consonancia con los vientos de una época en la que el hombre europeo se deshacía de la posición estática que le había asignado el orden feudal y el saber escolástico-aristotélico. En unos tiempos en los que médicos como Vesalio y artistas como Miguel Ángel o Leonardo diseccionan cadáveres, en un momento en el que Colón atraviesa el Atlántico descubriendo un nuevo continente y Magallanes circunnavega la Tierra, ya no primaba aquella sensibilidad que había llevado a San Agustín a afirmar: “Solo me interesa el alma y Dios”.

Lo que aquí se ha tratado de poner de relieve es que, pese al carácter tentativo y conceptualmente impreciso de muchas de las propuestas que se barajaron en la Baja Edad Media, se hace visible en ellas la irrupción de una nueva gestualidad histórica. La importancia de la óptica, en este sentido, no es tanto la que pueda derivarse de una disciplina particular (por relevante que esta haya podido ser), sino el modo en el que ella es síntoma de un cambio general en la perspectiva de una época destinada a transformar el ser-en-el-mundo del hombre.

Referencias

- Adam, Charles y Tannery, Paul (1969-74). *Oeuvres de Descartes*, Paris, Vrin.
- Adamson, R. (1876). *Roger Bacon, The Philosophy of Science in the Middle Age*, Manchester and London.
- Agustín de Hipona (1971). “Soliloquios”, en *Obras de San Agustín*, vol. I, Madrid, B.A.C.
- (1979). “Confesiones”, en *Obras de San Agustín*, vol. II, Madrid, B.A.C.
- (1956). “Tratado de la Santísima Trinidad”, en *Obras de San Agustín*, vol. V, Madrid, B.A.C.
- (1957). “Del Génesis a la letra”, en *Obras de San Agustín*, vol. XV, Madrid, B.A.C.
- Alberti, L. B. (1998). *Tratado de pintura*, México, Universidad Autónoma Metropolitana.
- Vita anónima* (1988). En *Leon Battista Alberti*. Antología (1998) ed. J. M. Rovira, Barcelona, Península, pp. 153-165.
- Aristóteles, *Física* (1996). Madrid, CSIC.
- Arbaizar, B. (2002), “La convergencia de platonismo, aristotelismo y hermetismo en el origen de la física matemática”, *Quaderns de Filosofia i Ciència*, nº 30/31, pp. 89-100.
- Bacon, Francis (1985). *La Gran Restauración*, Madrid, Alianza, 1985.
- (1988). *El avance del saber*, Madrid, Alianza.
- (1779). *De dignitate et augmentis scientiarum*, vol. 1, Würzburg, Jo. Jac. Stahel, 1779.
<https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.31822042776344&seq=1>
- Bacon, Roger (1897a). *Opus majus*, Oxford, vol 1, Clarendon Press. <https://archive.org/details/opusmajusofroger01baco/page/102/mode/2up>

- (1897b). *Opus majus*, Oxford, vol 2, Oxford, Clarendon Press. <https://archive.org/details/opusmajusofroger02baco/page/n7/mode/2up>
- (1912). *Part of the Opus tertium of Roger Bacon*, ed. A. G. Little, Aberdeen, The University Press, 1912. <https://ia802805.us.archive.org/9/items/partofopustertiu04baco/partofopustertiu04baco.pdf>
- Bloch, E. (1985). „Die kopernikanische Wende, in Wahrheit eine ptolemäische“, en: *Leipziger Vorlesungen zur Geschichte der Philosophie (1950-1956)*, IV, Frankfurt, Suhrkamp, pp. 61-64.
- Bravo, E. N. (1996). “Las diversas valoraciones de la magia en el Renacimiento”, *Acta poética*, nº17, p. 143-63.
- Cassirer, E. (1977). *Substance et fonction. Éléments pour une théorie du concept*, Paris, Les éditions de minuit.
- Castañer, X. (1990). “El espacio real y el ficticio en el contexto barroco: aspectos teóricos y aplicaciones prácticas”, *KOBIE (Serie Bellas Artes)*, nº 7, pp. 85-103.
- Copérnico, N. (1987). *Sobre las revoluciones*, Madrid, Tecnos.
- Commentariolus*, https://www.tha.de/~harsch/Chronologia/Lspost16/Copernicus/kop_c02.html
- Corredor, M. y Londoño, C. A. (2019). “El arte y la historia de la construcción de la geometría proyectiva”, *Saber, ciencia y libertad*, vol 14, nº2, pp. 295-311.
- Culianu, I. P. (1999). *Eros y magia en el Renacimiento*, Madrid, Siruela.
- Da Vinci, Leonardo (2013). *Tratado de pintura*, Madrid, Alianza.
- Descartes, R. (1969-74). *Oeuvres de Descartes*, Édition Charles Adam & Paul Tannery, Paris, Vrin.
- Galilei, Galileo. (1968). *Il Saggiatore*, Opere, vol. VI, Edizione Nazionale, pp. 197-372.
- Gilson, É. (1985). *La filosofía en la Edad Media*, Madrid, Gredos, 1985.
- Giralt, S. (2011). “Magia y ciencia en la Baja Edad Media: la construcción de los límites entre magia natural y la nigromancia, c. 1230.c. 1310”, *Clío & Crimen*, nº 8, 2011, pp. 14-72.
- Cleary, J. J. (2000). “El papel de las matemáticas en la teología de Proclo”, *Anuario Filosófico*, nº 33, 2000, pp. 111-149.
- Crombie, A. C. (1962). *Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science 1100-1700*, Oxford, Oxford University Press.

- (1974a). *Historia de la ciencia: de San Agustín a Galileo*, vol. 1, Madrid, Alianza.
- Historia de la ciencia: de San Agustín a Galileo*, (1974^b) vol. 2, Madrid, Alianza.
- Edgerton, S. Y. (2002). “Arte y ciencia. La visión en el Renacimiento”, *Contactos*, nº 46, pp. 15-26.
- Field, J. V. (1996) Introducción y notas a *Leon Battista Alberti. De la pintura*, en C. Álvarez, R. Martínez, y C. Torres, (eds.), *Servicios Editoriales de la Facultad de Ciencias*, México, UNAM.
- Gernsheim, H. y Gernsheim, A. (1969). *The History of Photography from the Camera Obscura to the beginning of the Modern Era*, London, Thames and Hudson.
- Grosseteste, R. (1912), *De lineis, angulis et figuris*, Columbia, Ashendorff, Texte 9, pp. 59-65. https://archive.org/details/ldpd_7395671_000/page/n7/mode/2up
- Heidegger, M. (1977). “Die Zeit des Weltbildes”, en *Holzwege, Martin Heidegger Gesamtausgabe*, V, Vittorio Klostermann, Frankfurt, pp. 69-104.
- Kieckheffer, R. (1989). *Magic in the Middle Ages*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Larner, C. (1984). *Witchcraft and Religion. The politics of Popular Belief*. Oxford y New York, Basil Blackwell.
- Lindberg, D. C. (2002). *Los inicios de la ciencia occidental*, Barcelona, Paidós.
- (1996) Introduction a *Roger Bacon and the Origins of Perspectiva in the Middle Ages. A critical edition of Bacon’s Perspective with Introduction and Notes*, Oxford, Clarendon Press.
- (1987). “Roger Bacon and the origins of perspectiva in the West”, en E. Grant. & J. E. Murdoch (eds.), *Mathematics and its Applications to Science and Natural Philosophy in the Middle Ages*, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 249-268.
- Lindberg D. C. y Tachau, K. H. (2013). *The Science of Light and Colour, Seeing and Knowing*, en *The Cambridge History of Science*. Vol. 2. Eds. D.C. Lindberg and M.H. Shank, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 485-511.
- Maggi, C. (2015). “Some Aspects of the Theory of Abstraction in Plotinus and Iamblichus”, *The International Journal of the Platonic Tradition*, 9, 2015, pp. 159-176.
- Manzo, S. (2006). *Entre el atomismo y la alquimia. La teoría de la materia de Francis Bacon*, Buenos Aires, Biblos.

- Martínez, J. R. (2013). “La geometrización de la pintura en el Renacimiento: EL contexto cultural”, *Miscelánea matemática*, 57, pp. 39–62.
- Merchant, C. (1989). *The Death of Nature*, New York, HarperOne.
- Middleton, J. y Gilbert, R. A. (1987). “Magic”, in *The New Encyclopedia Britannica*, 15a, ed., vol. 25, Chicago, Encyclopedia Britannica Inc.
- C. W. Misner, C. W., Thorne K. S. y J. Wheeler, J. (1973). *Gravitation*, San Francisco, Freeman.
- O’Meara, D. J. (1990). *Pythagoras Revived: Mathematics and Philosophy in Late Antiquity*, Oxford, Clarendon Press.
- Ortega y Gasset, J. (1979). *La idea de principio en Leibniz*, Madrid, Alianza.
- Panofsky, E. (2003). *La perspectiva como forma simbólica*, Barcelona, Tusquets.
- Plotino (1998). *Enéadas*, V–VI, Madrid, Gredos.
- Quinton, A. (1985). *Francis Bacon*, Madrid, Alianza, 1985
- Russell, J. B. (1972). *Witchcraft in the Middle Ages*, Londres, Cornell University Press.
- A Story of Witchcraft. Sorcerers, Heretics and Pagans*, (1980) Londres, Thames & Hudson.
- Russell, B. (1976). *Human Knowledge. Its Scope and Limits*, London, George Allen & Unwin.
- Solís, C. y Sellés, M. (2005). *Historia de la ciencia*, Madrid, Espasa.
- Shumaker, W. (1972). *The Occult Sciences in the Renaissance. A Study in Intellectual Patterns*, Berkeley, University of California Press.
- Rossi, P. (1990). *Francis Bacon: De la magia a la ciencia*, Madrid, Alianza.
- Thomas, K. (1980). *Religion and the Decline of Magic. Studies in Popular Belief in Sixteenth and Seventeenth-Century England*, Middlesex, Inglaterra, Penguin Books.
- Velázquez, A. (2001). “Espacio pictórico y geometría natural en René Descartes”, *Revista de Filosofía*, nº 37, 2001, pp. 75–86.