

**PERSPECTIVA NATURALIS Y PERSPECTIVA ARTIFICIALIS: LOS
APORTES DE LA ÓPTICA Y CATÓPTRICA EN EL DESARROLLO
DEL SISTEMA PERSPECTIVO DE FILIPPO BRUNELLESCHI**

**PERSPECTIVA NATURALIS AND PERSPECTIVA ARTIFICIALIS:
CONTRIBUTIONS OF OPTICS AND CATOPTRICS TO FILIPPO
BRUNELLESCHI'S PERSPECTIVE SYSTEM**

María Laura Montemurro¹
UBA-UNGS-CONICET

Resumen: Entre 1416 y 1424 aproximadamente, el arquitecto, escultor e ingeniero florentino, Filippo Brunelleschi, hizo la primera demostración de la que se tiene noticia de una pintura en correcta perspectiva matemática. Si bien estos datos son recogidos por distintas fuentes, ninguna de ellas aclara el medio por el cual llega a la deducción de los principios de este sistema. En el presente artículo argumentaremos que la óptica, cuya autonomía como ciencia es alcanzada de manera definitiva hacia mediados del siglo XIII, tuvo un rol crucial en el desarrollo del método perspectivo de Brunelleschi. Intentaremos esclarecer también el rol que el espejo cumplió en su demostración así como los principios básicos de la catóptrica aplicados en la misma.

Palabras clave: Brunelleschi; Perspectiva; Óptica

Abstract: Between 1416 y 1424, Filippo Brunelleschi, Florentine architect sculptor and engineer, was responsible for the first picture in linear perspective for which we have notice. Although this information is transmitted by several sources, none of them tell us exactly the process by which the principles of the perspective method were deduced. In this article I argue that optics, whose status as autonomous science has definitely been achieved in the second half of the thirteenth century, had a crucial role in the development of Brunelleschi's perspective method. I will also try to unveil the role played by the mirror and the basic principles of catoptrics in his public demonstration.

Keywords: Brunelleschi; Perspective; Optics

Recebido em: 09/10/2012
Aprovado em: 05/01/2013

¹ E-mail: lauramontemurro@gmail.com

Introducción

En el segundo cuarto del siglo XIV, en el seno del gótico pleno, las miniaturas ejecutadas por Jean Pucelle para el Libro de Horas de Jeanne d' Evreux, nos brindan una de las muestras más tempranas de la inquietud que comenzaba a aflorar en los ilustradores y artesanos, sólo más tarde llamados artistas, por representar un espacio tridimensional en una superficie bidimensional. A estos tempranos intentos le siguieron aquellos más osados como los de Giotto quien, perfeccionando los procedimientos de su maestro Cimabúe, fue capaz de hallar el modo de "romper el muro" con sus perspectivas oblicuas y crear la ilusión de espacio en sus tempranos frescos en la basílica inferior de San Francisco de Asís. Sin embargo, todos estos resultados no pueden calificarse más que como perspectiva empírica dado que sus creadores los conseguían de forma más o menos intuitiva. No fue hasta 1428, aproximadamente, que una obra pictórica fue representada haciendo uso de lo que hoy llamamos perspectiva lineal o matemática. Se trata de *La Sagrada Trinidad con Santa María y San Juan Evangelista*, fresco pintado por Masaccio en la iglesia de Santa María Novella. Casi simultáneamente, Donatello la aplicaba en su panel, *La Fiesta de Herodes*, en la fuente bautismal de Siena. Sin embargo, y a pesar de la corrección con la que estos artistas aplicaron las reglas de la perspectiva empírica, sus principios teóricos aún no habían sido definidos. Entonces, ¿cómo es que Donatello y Masaccio llegaron a las mismas conclusiones acerca de la construcción óptica de un espacio tridimensional? La respuesta yace en otra brillante personalidad del siglo XV: Filippo Brunelleschi. En algún momento entre los años 1416 y 1425, este escultor, ingeniero y arquitecto hizo una de las demostraciones más tempranas conocidas de la aplicación de la perspectiva matemática.

Filippo Brunelleschi y el desarrollo de la perspectiva matemática

La descripción más detallada de la experiencia realizada por Brunelleschi² se encuentra en la biografía que le dedicara Antonio di Tuccio Manetti, biógrafo de

² En efecto, se trata de la más detallada pero no de la más temprana. Ésta corresponde a Antonio Averlino (1400-1469), mejor conocido como Filarete, otro eximio arquitecto del Renacimiento italiano que en su *Tratado de Arquitectura* (1460-1464) se refiere a la experiencia de la siguiente manera: " ...e cosí credo che Pippo de Ser Brunellesco fiorentio trovasse il modo di fare questo piano che veramente fu una sortile e bella cosa; per ragione trovasse quello, que nello specchio ti si dimostra...". SPENCER, John (ed.). *Filarete's treatise on architecture: being the treatise by Antonio Di Piero Averlino known as Filarete. The Facsimile*. New Haven: Yale University Press, 1966, vol. 2, p. 178, recto. También Giorgio Vasari da cuenta de los hechos aunque de manera más resumida que Manetti

algunos de los artistas del *Quattrocento*. De acuerdo con este relato, en un panel de medio *braccio*³, Brunelleschi representó el baptisterio de San Giovanni, ubicado frente a la catedral de Florencia, así como parte de la *piazza* y de los edificios que podían visualizarse desde el interior del portal central de Santa Maria del Fiore donde, según Manetti, Brunelleschi se había situado para realizar su pintura. En la zona del panel donde debía representar el cielo colocó plata bruñida, siendo el verdadero cielo el que se reflejaba en la pintura. Tomando en cuenta el largo y ancho de los lados así como la distancia, para que no se cometa errores mirando desde cualquier otro punto, hizo un agujero “del tamaño de una lenteja” en el lado pintado justo en el lugar del baptisterio exactamente opuesto al ojo de cualquiera que estuviese parado en el portal central de la catedral. Invitaba a todo aquel que quisiera prestarse a la experiencia a mirar por el reverso de la pintura, donde el orificio era mayor, sosteniendo el panel con una mano y con la otra un espejo plano, reflejando así la representación. Según explica Manetti, el espejo debía ser sostenido guardando una distancia con la pintura semejante en pequeñas *braccia* a las *braccia* regulares que habían distanciado a Brunelleschi del baptisterio mientras lo pintaba. De esta manera, todo aquel que miraba la pintura sentía como que estaba mirando el baptisterio mismo⁴.

El problema con la descripción realizada por Manetti es que no explicó cómo fue que Brunelleschi llegó a deducir el sistema de la perspectiva matemática. De ahí los numerosos intentos de los historiadores del arte por explicar aquello que Manetti no dijo (y probablemente tampoco sabía). Existen distintas teorías que

y posiblemente, considerando los 150 años que lo distanciaban de los hechos, más inexacta. Ver MILANESI, Gaetano (ed.). *Le Opere di Giorio Vasari*. Firenze: Sansoni. 1878, vol. 2 p.332 y siguientes. La descripción de Manetti se encuentra en DI TUCCIO MANETTI, Antonio. *Vita di Filippo di Ser Brunellesco*. SAALMAN, Howard (ed). *The Life of Brunelleschi by Antonio di Tuccio Manetti*. University Park, PA.: Pennsylvania State University Press, 1970, pp.42-43.

³ *Braccio*, (pl. *braccia*): unidad de medida de uso común en Florencia durante el Renacimiento equivalente a 58 cm. aproximadamente. Ver EDGERTON, Samuel. *The Renaissance Rediscovery of Linear Perspective*. New York: Basic Book Inc. Publishers, 1975, p. 195 (glosario).

⁴ Además de esta experiencia, Brunelleschi realizó un segundo panel donde representó el *Palazzo de la Signoria* visto desde una de las esquinas de la *piazza*. Esta pintura seguía los mismos principios de la perspectiva deducidos en el primer panel pero, en lugar de representar una perspectiva frontal como aquel, representaba una perspectiva oblicua. Al respecto ver EDGERTON, S. *The Mirror, the Window and the Telescope. How Renaissance Linear Perspective Changed our Vision of the Universe*. Ithaca and London: Cornell University Press, 2009, pp.69-76.

intentan deducir cómo Brunelleschi realizó su pintura⁵. Entre éstas, la que goza de mayor consenso es la formulada por Richard Krautheimer y Trude Krautheimer-Hess. Según estos autores, Brunelleschi utilizó dibujos a escala de la planta y alzados de la fachada de la catedral así como de la *piazza* y del baptisterio con los cuales fue capaz de reproducir este último a partir de la proyección ortográfica⁶. Su argumento se basa principalmente en el dato aportado por Manetti y Vasari según el cual, en su juventud, Brunelleschi había visitado Roma en la compañía de Donatello. Según Vasari, fascinado por los edificios antiguos, Brunelleschi “daba la orden de medir las cornisas y levantar las medidas de las plantas de dichos edificios”⁷.

Sin embargo, quedan cabos sueltos. Por ejemplo, según esta interpretación el punto de fuga surgiría más bien como consecuencia de la aplicación del sistema cuando, en la perspectiva matemática, es uno de los elementos estructurales⁸. Por otro lado, Samuel Edgerton, autor al cual volveremos a referirnos enseguida, plantea una pregunta bastante sugestiva: si Brunelleschi ideó su método a partir de la técnica del dibujo proyectual aprendida en el ejercicio de su profesión como arquitecto, ¿por qué sus contemporáneos lo llamaban “*prospettiva*”, término utilizado exclusivamente para referirse a los temas estudiados por la óptica⁹?

⁵ Algunas de estas teorías son discutidas en KEMP, Martin. Science, Non-Science and Nonsense: The interpretation of Brunelleschi's Perspective. En *Art History* 1, N°2, 1978, pp. 134-161. A éstas habría que agregar la propuesta por John Lynes según la cual Brunelleschi habría hecho uso de su experiencia como relojero y, por ende su familiaridad con los relojes de arena, para idear su método sin necesidad de recurrir a la construcción geométrica. Ver LYNES, J.A. Brunelleschi's perspective reconsidered. En *Perception* 9, 1980, pp.87-99.

⁶ KRAUTHEIMER, R. y KRAUTHEIMER-HESS, Trude. *Lorenzo Ghiberti*. Princeton: Princeton University Press, 1970, pp. 229-253.

⁷ MILANESI (ed.). *Op. cit.*, p. 337.

⁸ Esta observación se encuentra en HOWARD, Ian (ed.). *Perceiving in Depth. Basic Mechanisms*. Oxford, New York: Oxford University Press, 2012, vol. 1, p. 52.

⁹ EDGERTON. *The Mirror, the Window and the Telescope.... op.cit.*, p. 56. Una de las menciones más tempranas de la palabra *perspectiva* en relación con las artes visuales aparece en el *Primer Comentario*, de Lorenzo Ghiberti (ca. 1452): GHIBERTI, L. *I Commetarii* (I): 21. MORISANI, Ottavio (ed.). Naples: Riccardo Ricardi, 1947. Hasta entonces este término se refería exclusivamente a los problemas relacionados con la naturaleza y la propagación de la luz y color, el ojo y la visión, las propiedades de los espejos y superficies reflectantes, la formación de imágenes por refracción y reflexión y fenómenos meteorológicos que involucran la luz. Sobre el concepto de perspectiva en relación a la óptica ver: LINDBERG, David. *Study in the History of Medieval Optics*. London: Variorum Reprints, 1983, pp.338 y 339. Respecto a la relación entre perspectiva y artes visuales ver EDGERTON, S. *The Mirror, the Window and the Telescope.... op. cit.* pp. 39-43.

Ante este panorama surge la posibilidad de que una disciplina que desde mediados del siglo XIII venía gozando de una considerable pujanza, haya ejercido mayor influencia en el desarrollo de la perspectiva matemática que lo que se había previsto hasta el momento: la *perspectiva naturalis* o dicho llanamente, la ciencia óptica¹⁰.

Uno de los teóricos que más se interesó por comprender y recrear el método de Brunelleschi es el ya mencionado Samuel Edgerton. En su libro *The Mirror, the Window and the Telescope*, expone una detallada explicación de cómo Brunelleschi podría haber llegado a realizar una copia fiel del baptisterio descubriendo algunos de los pasos técnicos en la creación de la perspectiva matemática¹¹. Sin embargo, su explicación no dice cómo Brunelleschi pudo haber notado la importancia del punto central y de la línea de horizonte. Estos pasos fueron tratados por Edgerton

¹⁰ El conjunto de temas relacionados con la óptica no se constituye como disciplina autónoma sino hasta la difusión en Occidente de tratados antiguos y árabes que versaban exclusivamente sobre la luz, el color y la visión. *Perspectiva*, de Roger Bacon, fue la obra fundante para la constitución de la óptica como ciencia. Ver al respecto LINDBERG, D. *Roger Bacon and the origins of Perspectiva in the Middle Ages*. Oxford: Clarendon Press, 1996, introd. pp. xxv-xxxvii.

¹¹ Según su recreación de los hechos, Brunelleschi debió haber situado el espejo en el portal central de Santa María del Fiore, justo en frente del baptisterio. Probablemente al lado del espejo, en el mismo caballete, situó su tabla donde habría trazado los lineamientos generales de la *piazza*, incluyendo un baldosado (convención generalizada entre los pintores del Renacimiento temprano), de manera tal que las diagonales del mismo convergiesen en un punto central. Directamente sobre el reflejo, marcaría las líneas que dibujaban las alas oblicuas del baptisterio a 45 °, prolongándolas tanto en la base como en la parte superior del edificio (para lo que debió agregar una extensión al espejo dónde dibujar) descubriendo que en cada lado coincidían en un punto que estaba al mismo nivel del punto central. Habría notado también que cada uno de estos puntos se encontraba a medio *braccio* de distancia con respecto al punto central. Enseguida tendría que haber advertido también que la línea vertical que resultara de haber marcado el baldosado y que pasa justo por el punto central funcionaría como una regla graduada utilizada por un agrimensor que estuviese de pie al mismo nivel visual del punto central, a medio *braccio* de cada lado del mismo. A medida que los “rayos visuales” de cada uno de los puntos equidistantes marcados por el baldosado en la base de la pintura cruzaba la línea vertical en dirección al ojo del agrimensor situado a cada lado, haría una marca en cada uno de esos lugares en la línea advirtiendo que la distancia entre los mismos decrece gradualmente a medida que se alejan de la base. Si luego trazara las líneas diagonales de cada uno de los rayos visuales así como las horizontales que pasan por la línea vertical, entonces tendría un baldosado en perfecta perspectiva matemática. Ver la explicación detallada en: EDGERTON. *The mirror, the Window and the Telescope...op.cit.*, pp. 64-66. Lo que Edgerton no parece tomar en cuenta en su recreación de los hechos es que si Brunelleschi efectivamente hubiese trabajado sobre el reflejo del espejo, la imagen del baptisterio se hubiese visto opacada por la suya propia y de haberse hecho a un lado, la perspectiva del reflejo sería diferente ya que depende del punto de vista del observador. Esto tampoco es tenido en cuenta al conjeturar el descubrimiento del punto de fuga, al que nos referiremos más adelante.

en una obra anterior, que discutiremos a continuación¹². Edgerton destaca el rol que la ciencia óptica habría tenido en el desarrollo de la perspectiva matemática y asume que Brunelleschi tenía conocimiento de la misma. También menciona la relación entre su descubrimiento y la catóptrica, una subdivisión de la óptica centrada en las superficies reflectantes. Sin embargo, su reconstrucción de los hechos deja al lector la impresión de que Brunelleschi descubrió su sistema simplemente prestando mucha atención a lo que veía sin necesidad de ningún conocimiento particular sobre óptica y catóptrica. La conjetura de Edgerton acerca de cómo Brunelleschi pudo haber llegado a descubrir el punto de fuga sufre de la misma dolencia a pesar de que allí introduce la mención de la pirámide visual¹³.

En síntesis, su recreación de los hechos sería como sigue: deberíamos imaginarnos a Brunelleschi en una habitación de pie frente a un espejo plano. Considerando que su eje visual caía de manera perpendicular sobre el espejo, éste funcionaría como la base de la pirámide visual. Así posicionado tuvo que haber notado cómo los bordes de todas las cosas en la habitación donde se encontraba se reflejaban en el espejo convergiendo en puntos que coincidían con su nivel visual, es decir con sus propios ojos reflejados en el espejo. Incluso, si el espejo hubiese estado centrado en una pared perfectamente cuadrangular habría notado cómo los bordes del techo y del suelo parecían converger en el mismo punto donde coincidía el reflejo de sus ojos y que, si elevaba su posición o la bajaba, este punto de convergencia también subía o bajaba manteniéndose siempre coincidente con su nivel visual. Habiendo notado todo esto, dice Edgerton, Brunelleschi pudo haber concluido que la pirámide visual estaba invertida en el espejo. El vértice (sus ojos) de la pirámide visual se conectaba mediante el eje visual y el cateto (la perpendicular que se forma desde el objeto visible hasta la superficie del espejo) al eje de la pirámide visual reflejada en el espejo. El eje visual en el lado del espejo marcaba también el punto de fuga.

La principal objeción a la hipótesis de Edgerton es que la observación de la convergencia de las paralelas en un punto no es tan fácil de observar como su relato parece sugerir. Brunelleschi hubiese necesitado un espejo de gran tamaño para poder distanciarse lo suficiente del mismo y que la convergencia de las líneas en el punto de su mirada resultase lo suficientemente evidente. El mismo Edgerton se-

¹² EDGERTON. *The Renaissance Rediscovery ... op. cit.*, pp. 124-142.

¹³ Para una explicación básica acerca de cómo se entendía el proceso visual en la Edad Media remitirse a la p. 9.

ñaló lo poco usual que eran todavía en tiempos de Brunelleschi los espejos planos de gran tamaño y de buena calidad. Un espejo menor, incluso de un *braccio* y medio como el que según Edgerton, Brunelleschi no debió haber reparado energías en conseguir para la pintura del baptisterio, hubiese resultado insuficiente. No solo no hubiese logrado captar de manera satisfactoria el retroceso en perspectiva de las líneas de la habitación sino que además gran parte de su superficie habría quedado cubierta por el reflejo del mismo Brunelleschi, ya que la posición centrada del observador sería crucial para la experiencia, haciendo el punto de convergencia todavía menos evidente.

Estas observaciones, sin embargo, no invalidan completamente la hipótesis de Edgerton. Es posible que el espejo haya cumplido un papel importante, tal como él lo plantea. De hecho, el uso de espejos por parte de los pintores para ayudarse en la creación de sus obras está documentado¹⁴. Pero si todo lo que hacía falta para descubrir el punto de fuga era prestar atención al reflejo de una imagen, es probable que este descubrimiento hubiese acontecido antes. Es más factible, en cambio, que Brunelleschi haya combinado una aguda observación y afán experimental con conocimientos teóricos acerca de la óptica y catóptrica. Resulta más verosímil pensar que Brunelleschi llegó a sus conclusiones primero a partir de razonamientos teóricos que luego pudo haber buscado comprobar en su experimentación con el reflejo.

La clave del que depende el sistema de la perspectiva matemática es el punto de vista del observador y es este elemento, considerado desde la ciencia de la óptica, uno de los factores fundamentales que llevan a Brunelleschi, según creemos, a deducir la importancia del punto de fuga. A continuación argumentaremos en qué medida y de qué manera Brunelleschi pudo haber conocido los planteos generales de la óptica y catóptrica y cómo pudo haber puesto éstos al servicio de sus indagaciones.

La óptica al servicio de la perspectiva matemática

Brunelleschi no había recibido una educación universitaria y por lo tanto es poco probable que hubiese adquirido un conocimiento formal sobre óptica. Sin embargo, estaba relacionado con sujetos que bien podrían haberlo introducido en

¹⁴ SPENCER (ed.). *Filarete's treatise ... op. cit.*, pp. 305-306.

este conocimiento y guiado en las lecturas necesarias. Paolo dal Pozzo Toscanelli (1397-1482) era médico, geógrafo, cartógrafo y versado en óptica¹⁵. Había estudiado medicina en Padua donde también había enseñado matemática Biagio Pelacani di Parma (1347 – 1416), autor de un comentario a *Perspectiva Communis*, de Pecham: *Questiones super Perspectiva Communi*¹⁶. Por otro lado, el mismo Toscanelli parece haber sido autor de algunos tratados sobre óptica¹⁷ incluyendo uno escrito en italiano conocido como *Della prospettiva*¹⁸. Brunelleschi mantenía una amistad con Toscanelli, lo cual nos es relatado por Giorgio Vasari en su *Vitas...* Allí cuenta cómo, después de regresar de Padua, Toscanelli mantuvo discusiones con Brunelleschi sobre geometría en las que el arquitecto, sin haberse formado en esa disciplina, demostró razonar muy bien gracias a los conocimientos obtenidos de la experiencia¹⁹. No sería inverosímil suponer que en tales encuentros, Toscanelli compartiese con él algo de sus saberes sobre óptica.

Aunque Biagio Pelacani, el autor de *Questiones super Perspectiva Communi* antes mencionado, no coincidiese en Florencia en el periodo de residencia de Brunelleschi, sus enseñanzas llegaron de la mano de su alumno, Giovanni di Gherardo da Prato quien, desde 1410, también fue amigo de Brunelleschi aunque luego se convirtió en su detractor²⁰. Por otro lado, si bien Biagio di Parma enseñaba en Padua, el comentario que había escrito sobre *Perspectiva Communis* circulaba en Florencia en tiempos de Brunelleschi²¹.

¹⁵ La biografía de Toscanelli puede verse en GARIN, Eugenio. *Ritratto di Paolo Dal Pozzo Toscanelli*. En *Ritratti di Umanisti*. Milano: Bompiani, 1996, pp. 41-67.

¹⁶ Editado por Graziella Federici-Vescovini: FEDERICI-VESCOVINI y otros (eds.). *Questiones super Perspectiva Communi de Blasius de Parma*. Paris: J. Vrin, 2009.

¹⁷ Así lo refiere Ugolino Verino en su poema *De illustratione urbis Florentiae*, escrito hacia fines del siglo XV. Ver BOTTARI, Giovanni Gaetano y BUONAVENTURA, Tommaso (eds.). *Carmina illustrium poetarum*, X. Firenze: apud J.C. Tartinium et S. Franchium, 1724, p. 347.

¹⁸ El texto de *Della Prospettiva* fue publicado completo por PARRONCHI, Alessandro en *Studi su la Dolce Prospettiva*. Milan: Martello, 1964, pp. 599-645. Allí Parronchi argumenta en favor de la autoría de Toscanelli: pp. 599-645. Sin embargo, las opiniones están divididas con respecto a esta atribución. Mientras que algunos académicos como Edgerton están a favor (EDGERTON. *The Renaissance Rediscovery ... op. cit.* p. 77) otros se muestran más suspicaces. Ver, por ejemplo, JERVIS, Jane L. *Commentary Theory in Fifteenth-Century Europe*. Dordrecht, Boston, Lancaster: D. Reidel Publishing Company, 1985, p. 48.

¹⁹ MILANESI (ed.). *Op. cit.*, p. 333.

²⁰ Sobre esta relación se refiere SUMMERS. *Op. cit.*, p. 54.

²¹ Sobre esto ver FEDERICI-VESCOVINI. *La prospettiva del Brunelleschi, Alhazen e Biagio Pelacani a Firenze*. En *Arti' e filosofia, Studi sulla tradizione aristotelica e i 'moderni'*. Florence: Nuovedizioni Vallecchi, 1983, pp. 143-168. Específicamente sobre la influencia que Brunelleschi pudo haber reci-

Por último podemos mencionar el único testimonio contemporáneo que asocia a Brunelleschi con los conocimientos sobre óptica. En una carta escrita por el poeta Domenico da Prato a un amigo en Florencia, Domenico comenta los atractivos de la ciudad entre los que se encontraba el ingenioso Brunelleschi, quien era conocido como “prospettivo”²². Por lo tanto existen distintos caminos por los que Brunelleschi pudo haberse acercado al conocimiento de la óptica. ¿Qué es lo que pudo haber conocido de ella? Posible y principalmente, los principios básicos que explican el funcionamiento del proceso visual. Las explicaciones acerca del proceso de la visión y la anatomía del ojo desarrolladas en la antigüedad fueron adoptadas y reelaboradas por los árabes volviendo a Occidente donde constituyeron, junto con las obras griegas, la base de los tratados realizados en la segunda mitad del siglo XIII por Bacon, Witelo y Pecham²³. La principal fuente de estos tratadistas fue Alhazen²⁴ quien, además de liberar a la teoría de la intromisión de sus debilidades lógicas y de exponer argumentos irrefutables contra la teoría de la extromisión, deja en claro que los rayos visuales no consisten en ninguna entidad corpórea

bido de Biagio ver FEDERICI-VESCOVINI. A new origin of perspective. En *RES: Anthropology and Aesthetics*, N°38, 2000, pp. 73–81.

²² Ver TANTURLI, Giuliano. Rapporti del Brunelleschi con gli ambienti letterari fiorentini, p. 125. En De ANGELIS, Guglielmo y otros (eds.). *Filippo Brunelleschi. La sua opera e il suo tempo*. Firenze: Centro Di, 1980, vol. 1, pp. 125–44.

²³ Una buena síntesis acerca del desarrollo de estos temas en la antigüedad con mayor profundidad en el aporte de Alhazen y el desarrollo de la ciencia óptica en el Occidente Medieval puede leerse en LINDBERG, David. *Theories of Vision. From Al-Kindi to Kepler*. Chicago and London: The University of Chicago Press, 1976, pp. 1-17 y pp. 57-86. Esta obra incluye también un capítulo sobre la relación entre el desarrollo de la perspectiva lineal y la teoría visual medieval: pp. 147-176. Otra síntesis, aunque muy completa, del mismo autor puede consultarse en LINDBERG. *Study in the History of Medieval Optics. Op. cit.*, pp. 339–363. Con respecto a los tratados mencionados, son los siguientes: BACON, Roger, *Opus Maius*, pt. V. BRIDGES John H. (ed.). *The Opus Maius of Roger Bacon*, Frankfurt y Main: Minerva, 1964, vol. 2. También editado más recientemente por LINDBERG: *Roger Bacon and the origins of Perspectiva...op.cit.*; WITELLO. *Perspectiva*. RISNER, Friedrich (ed.). *Opticae thesaurus Alhazeni nuncprimum editi. Eiusdem liber De Crepusculis et nubium ascensionibus. Item Vitellonis Thuringopoloni libri X*. Basel. 1572. Reimpreso con una introducción de LINDBERG. Nueva York: Johnson Reprint, 1972. También editado por SMITH, Mark: *Witelonis Perspectivae liber quintus: Book V of Witelo's Perspectiva*. Wroclaw: Polish Academy of Science Press, 1983 y UNGURU, Sabetai (ed.). *Witelonis Perspectivae Liber Primus: Book I of Witelo's Perspectiva*. Wroclaw: The Polish Academy of Science, 1977; PECHAM John. *Perspectiva Communis*. D. Lindberg (ed.). *John Pecham and the Science of Optics. Perspectiva Communis*. Madison, Milwaukee and London: The University of Wisconsin Press, 1970.

²⁴ La única edición del tratado de Alhazen es *Opticae thesaurus Alhazeni Arabis libri septem, nunc primum editi a Federico Risnero*. Basel, 1572. Reimpreso con una introducción de Lindberg. New York: Johnson Reprint, 1972.

sino que son sólo una abstracción matemática útil para comprender el proceso visual²⁵. Su exposición del proceso visual y posterior adaptación en Occidente podría resumirse de la siguiente manera²⁶: de todos los puntos de un objeto luminoso emanan rayos visuales que pueden ser diagramados en forma de líneas rectas. Ésos caen en toda la superficie del ojo, pero solamente aquellos que caen de manera perpendicular son los suficientemente claros como para estimular el poder visual y formar la imagen²⁷. Estos rayos perpendiculares conforman una pirámide con su base en el objeto y su vértice en el ojo. De esta manera cada punto del objeto se corresponde con un punto en el ojo formando una imagen correcta y fidedigna de aquél. Pero la visión no se concreta en la córnea sino en el nervio común. La anatomía del ojo, conocida principalmente a partir de Galeno²⁸, se consideraba comprendida por tres túnicas y tres humores, todos de forma más o menos esférica y que convergían en el nervio común para llegar a la parte frontal del cerebro.

A pesar de ciertas concesiones a la tradición realizadas por algunos de los grandes sintetizadores medievales de la teoría óptica, *De Aspectibus* es el trabajo sobre óptica más influyente en Occidente hacia la segunda mitad del siglo XIII²⁹.

²⁵ De acuerdo con las propiedades que Euclides otorga a los rayos visuales en algunos de los postulados de la Óptica, se desprende que éstos tienen una naturaleza física. También Herón de Alejandría sostuvo la naturaleza material de los rayos y lo mismo Ptolomeo en su Óptica. Ver LINDBERG. *Theories of Vision...* op. cit, pp. 13, 14 y 15 respectivamente. Sobre la postura de Alhazen ver LINDBERG. Alhazen's theory of vision and its reception in the West, p. 326. En *Isis*, Vol. 58, N° 3, 1947, pp. 321-341.

²⁶ No intentamos aquí reproducir los matices de los distintos trabajos sobre óptica que circulaban en la Edad Media, tan sólo dar los esbozos básicos sobre la teoría del proceso visual que posiblemente tuviesen circulación en tiempos de Brunelleschi. Por otro lado, el tratamiento de la óptica parece haber alcanzado cierto grado de homogeneidad a partir del tratado de Alhazen (sobre los que se basan los trabajos de Bacon, Witelo y Pecham) y, posteriormente, a partir de la importante difusión del tratado de Pecham. Respecto a la influencia ejercida en el occidente medieval por *De Aspectibus*, de Alhazen, ver LINDBERG. Alhazen's theory of vision and its reception in the the West. *Op.cit.* Acerca de la influencia y difusión del tratado de Pecham ver LINDBERG (ed.). *John Pecham ... op. cit*, pp. 29-32.

²⁷ Bacon considera que el humor cristalino y el vítreo difieren en densidad por lo que los rayos oblicuos que llegan al cristalino son refractados y sólo entran los perpendiculares. Pecham, en cambio, considera que el humor vítreo está descentrado con respecto al cristalino y a la córnea. De este modo, los rayos que conforman la pirámide, excepto el central, son refractados y de este modo se evita la inversión de la imagen. Ver LINDBERG (ed.) *Pecham... op.cit.* p. 119.

²⁸ Ver GALENO. De Usu Partium. En DAREMBERG, Charles (ed.). *Oeuvres Anatomiques, Physiologiques et Médicales de Galien*. Paris: J. B. Bailliére, 1854, tomo I, libro X, pp. 607-651.

²⁹ Había una fuerte tradición que se imponía contra las argumentaciones intrromisionistas de Alhazen. En primer lugar, Aristóteles atribuía al ojo cierto papel activo así como Euclides, Ptolomeo y Al-Kindi quienes sostenían que los rayos emanaban del ojo hacia el objeto visual. Por otro lado el

Incluso algunos estudiosos del siglo XV, como Biagio Pelacani, recogen los conocimientos de Alhazen de manera todavía más fiel que los medievales, llevándolos a la Florencia de Brunelleschi. Así, al menos, lo entiende Graziella Vescovini quien en su artículo "A new origin of perspective"³⁰ plantea que Biagio Pelacani contribuyó directamente al descubrimiento de la perspectiva matemática gracias a su correcta interpretación de Alhazen, la cual no habría sido alcanzada completamente por sus antecesores. Entre los distanciamientos de Biagio y la tradición óptica señalados por Vescovini, es fundamental la reelaboración que hace sobre la proposición 4 de la Óptica de Euclides³¹. Esta proposición plantea que la apariencia visual del tamaño de una figura es siempre proporcional al ángulo bajo el cual es visto. Por lo tanto, las figuras vistas bajo un ángulo mayor aparecerán mayores, las vistas bajo un ángulo menor, menores y las que son vistas bajo ángulos iguales aparecerán iguales. Euclides no tomó en cuenta el problema de la relación entre el sujeto que percibe y el objeto percibido, por ende, la relación entre un objeto y su ángulo visual sería siempre igual sin importar la posición ni la distancia del espectador respecto del mismo. Biagio, por el contrario, refuta este razonamiento diciendo que la representación óptica de las cosas no depende de la medida del ángulo visual sino de las distancias proporcionales de los objetos en relación con el punto de vista de un observador, de cuyo ojo dependen los ángulos visuales. Este es el principio fundante de la perspectiva renacentista.

concepto de *species* desarrollado por Grosseteste implicaba que el ojo, como cualquier otro objeto, irradiaba también sus *species* y, como dice Lindberg, de ahí a pensar que éstas tuviesen algún rol en la visión había sólo un paso. Dado todo esto, tanto Bacon como Pecham hacen ciertas concesiones y, después de exponer los mismos argumentos que Alhazen contra la teoría extromisionista, sostienen que el ojo también irradia rayos visuales. Pecham les atribuye incluso un pequeño rol, adaptando los rayos excesivamente brillantes que vienen del objeto a la capacidad visual del ojo. Mientras que Bacon se limita a decir que así como todas las cosas naturales completan su acción a partir de su propio poder y *species*, el ojo debe percibir el objeto visible a partir de sus propias *species* multiplicadas hacia el objeto. Sobre este tema en Bacon ver *Perspectiva*, pt. IV, dist. 7, cap.4. LINDBERG (ed.). *Roger Bacon's Perspectiva...op. cit.*, pp. 105–107 e introducción pp. lxxxv y lxxxvi. Sobre Pecham y la tradición intromisionista a la que nos referimos al comienzo de la nota *Perspectiva Communis* I. 44, I. 45 y I.47. LINDBERG (ed.). *John Pecham... op. cit.* pp. 127–131 e introducción, pp. 34 y 35, respectivamente.

³⁰ FEDERICI-VECOVINI. A New Origin of Perspective. *Op. cit.* Para la discusión que viene a continuación remitirse a las pp. 79–81.

³¹ Según la edición de HEIBERG J. L. y MENGE, H. *Euclidis Opera Omnia*. Leipzig: B. G. Teubner, 1883–1916 (griego y latín), cit. por MORRIS, Raphael, COHEN, Israel. y DRABKIN, Edward. En *A Source Book in Greek Science*. Cambridge, Mass: Harvard University. Press, 1958, p. 257.

Suponiendo, como lo hace Vescovini, que Brunelleschi estuviese al tanto de las reformulaciones hechas por Biagio sobre el postulado euclidiano y aunando los conocimientos básicos sobre óptica antes expuestos es posible que razonara elaborando un diagrama como el siguiente: en un plano fijaría un punto de vista (x) y una figura (a) a cierta distancia del mismo a partir de los cuales trazara las líneas correspondientes de la pirámide visual, incluyendo el eje perpendicular. Luego, manteniendo siempre el mismo punto de vista y teniendo en cuenta la proporcionalidad entre el tamaño de la figura y la apertura del ángulo (el cual será proporcional a la distancia entre el observador y el objeto visual), dibujaría la misma figura en retroceso, por ende algo más pequeña que la anterior y así sucesivamente hasta reducir la figura prácticamente a un punto, señalando en cada caso la pirámide visual correspondiente. Con este esquema sería fácil notar cómo las diagonales formadas por los vértices de las figuras en retroceso convergen en un punto central. Este punto central, Brunelleschi no habría perdido de vista, se corresponde con el punto de vista x , marcado en el plano, es decir, con el punto de vista del observador. Este punto central señalaría nada menos que el horizonte visto por el observador o , en términos modernos, la línea de horizonte. La aplicación práctica de sus razonamientos, por ejemplo en la reproducción del baptisterio, le habría hecho notar que la prolongación de los lados oblicuos del baptisterio culminaban al mismo nivel del punto central, sobre la línea de horizonte del espectador, dependiente de su nivel visual. Por ende, las reglas básicas de la perspectiva lineal habrían sido deducidas.

De esta manera, y a partir de conocimientos principalmente teóricos, los elementos constitutivos de la perspectiva matemática: la convergencia de las paralelas en un punto central que señala al mismo tiempo la línea del horizonte del espectador, podrían haber sido advertidos por Brunelleschi. Este esquema le dio la fórmula para representar la realidad a partir de un diagrama geométrico que emulaba la geometría aplicada en la explicación del proceso visual. Como comenzamos diciendo al principio de este artículo, desde mediados del siglo XIV los artistas aplicaban una suerte de perspectiva empírica. Es decir que las nociones generales para reproducir un espacio tridimensional en una superficie bidimensional estaban siendo deducidas a partir de la observación. Lo que faltaba era un sistema matemático que pudiese ajustar esa representación a cómo el ojo percibe y, si nuestras conjeturas son correctas, esto fue lo que Brunelleschi dio a sus contemporáneos. Pero, ¿qué papel pudo haber tenido entonces el uso del espejo?

Todas las explicaciones referentes al proceso visual que dimos hasta ahora consisten en la visión directa, pero tradicionalmente el estudio de los fenómenos ópticos incluía también la catóptrica y la dióptrica. La segunda de estas divisiones, la catóptrica, estudia el fenómeno de los rayos visuales que en su recorrido son interceptados por un cuerpo opaco y reflejados de tal forma que sus ángulos de incidencia y reflexión son iguales, ya se trate de una superficie plana, cóncava o convexa³². Sus principios habían sido desarrollados en los trabajos de Euclides, Ptolomeo, Al-Kindi y Alhazen³³ y retomados en el siglo XIII por Bacon Witelo y Pecham y, posteriormente, por los teóricos del Renacimiento. En este punto retomamos la pregunta que nos habíamos planteado al comienzo: ¿qué es lo que Brunelleschi pudo haber conocido y aplicado de la catóptrica en sus experiencias y eventual descubrimiento de la perspectiva lineal?

Nos centraremos solamente en lo que respecta a los espejos planos, ya que este es el tipo de espejo usado por Brunelleschi según la descripción de Manetti. El primer principio general ya fue enunciado: los ángulos de incidencia y reflexión son iguales. Es decir que un punto visto por reflexión aparece ubicado en la intersección rectilínea del rayo visual con el cateto. Esto significa que la reflexión de un objeto posicionado de manera perpendicular sobre la superficie de un espejo se extenderá siguiendo la misma dirección y distancia en el espacio virtual del espejo que la mantenida por el objeto frente a la superficie del mismo³⁴.

Para Avicenna, el ojo es como un espejo y el objeto visible es como aquello que se refleja en el espejo³⁵. Dado el uso que Brunelleschi hizo de este instrumento

³² PECHAM. *Perspectiva Communis* II. 6. LINDBERG (ed.). *Pecham ...op. cit.* p. 161. Ver LINDBERG. *Ibid.* nota 10 para una lista de fuentes en las que se cita este principio.

³³ PSEUDO EUCLIDES. De Speculis. En BJÖRNBO, Axel y Vogl, Sebastian. *Alkindi, Tideus und Pseudo-Euklid. Drei optische Werke* (eds). Leipzig und Berlin: B. G. Teubner, 1912, pp. 95-119; PTOLOMEO. *Optica*. LEJEUNE, Albert (ed.). *L'Optique de Claude Ptolémée, dans la versión latine d'après l'arabe de l'émir Eugène de Sicile*. New York, Leiden, Köln: E. J. Brill, 1989; AL-KINDI. De Aspectibus. En BJÖRNBO y VOGL. *Alkindi, Tideus und Pseudo-Euklid...*, *op. cit.* pp. 3-41; ALHAZEN. De Aspectibus. RISNER, (ed.). *Opticae thesaurus... op. cit.*

³⁴ PSEUDO EUCLIDES. De Speculis. En en BJÖRNBO (ed.). *Op.cit.* Vol. 26, pt. 3 pp. 1-176, en pp. 104 y 105; GROSSETESTE. *De lineis, angulis et figuris*. en BAUR, Ludwig (ed.). *Die philosophischen Werke des Robert Grosseteste*. Münster: BGPM, 1912, p. 63 y también en LERTORA MENDOZA, Celine A. (ed.). *Optica*. Buenos Aires: Ediciones del Rey, 1985, p. 39, prop. 8; BACON. *Opus Maius*, pt. IV, dist. 2, cap. 2. BRIDGES. *Op. cit.* Vol. 1, pp. 115-117 y también *Perspectiva* part. II, dist. I, cap. 3, en LINDBERG. *Roger Bacon...* *Op. cit.* p. 262 y 263; BACON *De multiplicatione specierum*. BRIDGES (ed.). *Op.cit.* Vol. 2, cap. 7, pp. 486-491; WITELLO. *Optica*. RISNER (ed.). *Op. cit.* Vol.9, pp. 392-403 y PECHAM. *Perspectiva Communis*, II. 16. LINDBERG (ed.). *Op. cit.*, p. 167.

³⁵ LINDBERG. *Theories of Vision...* *op. cit.* p.49.

en la creación de su panel, es factible suponer que adhería a esta forma de concebir el ojo y que por ende lo usara para certificar aquello deducido intelectualmente. Tomando en cuenta la distancia entre el baptisterio y la catedral reprodujo el edificio y parte de la *piazza* tal como lo veía pero adaptándolo al esquema geométrico por él deducido. La mejor manera de certificar la verosimilitud del efecto ilusionista creado era contrastándolo con su reflejo. Visualizar el reflejo del panel a partir del orificio efectuado justo en el punto de fuga permitía comprobar empíricamente lo que ya había deducido por medio de su diagrama geométrico de forma más controlada que simplemente sosteniendo el panel y fijando la vista hacia la convergencia de las paralelas. Además, de esta manera hacía evidente la conexión entre el ojo del observador y el punto central o de fuga. Es muy posible que el uso del espejo fuese alentado por la certeza dada por la ley de la catóptrica a la cual ya hicimos referencia, asegurando la simetría de la imagen reflejada con la imagen real. Así, Brunelleschi sabría que el ángulo formado por el cateto y la perpendicular de la pirámide visual es igual a la prolongación de ambos en el espacio virtual del espejo (con la correspondiente inversión izquierda-derecha). Esto permitiría certificar la corrección de la pintura ya que, como explica Giulio Argan, si la imagen no es simétrica el espejo hará esto más evidente porque desplaza la imagen de una posición a la que el ojo se había acostumbrado. Si por el contrario la imagen es simétrica, la inversión no será suficiente para modificarla. Por ende, si el pintor ha determinado y mantenido de manera constante su punto de vista, el rayo central de la visión directa y el rayo central de la visión refleja coincidirán, de lo contrario serán divergentes³⁶. El punto central es sólo una construcción geométrica, sin embargo Brunelleschi lo materializó agujereando su panel, por ende, proyectándolo en el espejo haciendo evidente su coincidencia con el punto de vista del observador y comprobando así cómo su pintura era percibida por el ojo de la misma manera en que el ojo percibía el verdadero baptisterio, si el espectador se posicionaba en la puerta central de la catedral³⁷.

³⁶ ARGAN, G.A. The Architecture of Brunelleschi and the Origins of Perspective Theory in the Fifteenth Century, p. 105. En *Journal of the Warburg and Courtauld Institutes*, Vol. 9, 1946, pp. 96-121.

³⁷ A esta misma conclusión llega también David Summers aunque por medio de razonamientos distintos. Ver SUMMERS. *Vision, Reflection and Desire... op. cit.* p. 65.

Conclusión

De esta manera consideramos que Brunelleschi se valió del espejo, no tanto para deducir el punto de fuga como cree Edgerton, sino para certificar aquello que ya había deducido por medio de un esquema geométrico haciendo uso de sus conocimientos de la óptica medieval, enriquecida con las aportaciones que pudieron haber hecho personajes como Toscanelli y, especialmente, Biagio Pelacani di Parma.

La fijación del punto de fuga y su rol en la constitución de la perspectiva son los elementos esenciales, pero no los únicos en la construcción de la perspectiva matemática. Por ello es posible que Brunelleschi se valiese de otros procedimientos, ya sea la proyección arquitectónica como quiere Krautheimer, o el uso de un espejo donde copiara la imagen, como sugiere Edgerton.

Es probable que las conclusiones a las que llegara Brunelleschi fuesen transmitidas a algunos amigos cercanos como Donatello y Masaccio³⁸. Quizás, no siendo él mismo un pintor no se dedicó a desarrollar este sistema y a ponerlo por escrito como luego haría Alberti³⁹. Si bien en ningún pasaje de su tratado Alberti menciona a Brunelleschi, sin duda hay un reconocimiento implícito al dedicarle la versión italiana de su obra⁴⁰.

³⁸ La amistad con Masaccio y Donatello nos es comunicada por Vasari. En el caso de Masaccio, Vasari dice incluso que Brunelleschi le enseñó el sistema de la perspectiva. Ver Milanese. *Op. cit.* p. 332. La amistad con Donatello se menciona en distintas partes a lo largo del capítulo correspondiente a Brunelleschi, *ibid.* pp. 327-387.

³⁹ ALBERTI, Leon Battista. *Della Pittura*. Girolamo Tiraboschi (ed.). Milano: Società Topografica de Classici Italiani, 1804, pp. 1-100.

⁴⁰ La versión italiana fue también dedicada a Donatello, Masaccio, Ghiberti y Lucca della Robbia.