

Filippo Brunelleschi (1377-1446), florentino de nacimiento, era de corta estatura y profunda honestidad, sin envidias, de respuestas ágiles e ingeniosas, admirador del Pantheon de Agrippa, e infatigable estudioso de la arquitectura romana.

Su interés por la perspectiva lo condujo al punto de fuga, y su pasión por la arquitectura lo llevó a realizar —pese a

todo— la intrépida construcción de la cripta de Santa María del Fiore conocida en Florencia como *Il Duomo*. Su amistad con Donatello duró hasta su muerte. Con Lorenzo Ghiberti tuvo primero amistad y luego rivalidad. A Donatello le cedió su parte —encomendada por los gremios de los carniceros y de los ensambladores— para la ejecución de las estatuas que decorarían los

nichos de Orto San Michele. En la competencia para la realización de las puertas del Baptisterio, su propuesta quedó como finalista; sin embargo, Filippo actuó en favor de Lorenzo y persuadió a los síndicos para que le asignaran el trabajo¹, aunque sobre este hecho otros autores dan la versión de que Filippo perdió el concurso y, por ello, se alejó de la escultura.



Sólo si comparamos el crucifijo de Donatello en la Cappella Bardi (S. Croce, 1411) y el crucifijo de Brunelleschi en la Cappella Gondi (S. María Novella, ca 1425) —ambas obras talladas en madera—, es posible comprender porqué Brunelleschi le dijo a Donatello que su Cristo parecía un campesino y no el Mesías. El suceso va más allá de la anécdota que relata

tiva para estudiar la estructura tangible de la pintura, es decir, su construcción espacial en el plano pictórico. Como veremos, la planteó mediante experimentos visuales, mostrando ese rasgo suyo de volver tangible lo intangible.

El padre de Filippo era un notario de la república y, dice Vasari, tenía la intención de que su hijo se dedicara a la misma acti-

liarizado, pues en su juventud él mismo los había elaborado.

Otro ejemplo, pero ahora de relaciones humanas en el trabajo, fue la forma en que evidenció la incompetencia de Ghiberti para compartir con él la dirección de la construcción de *Il Duomo*. Ocurrió que, con el pretexto de estar enfermo, Brunelleschi decidió ausentarse de la obra; ante la demanda de instrucciones por parte de los *capomaestros*, Ghiberti respondió: “¡eso es cosa que Filippo tiene que resolver!”. El suceso dio pie a que los mismos alcaldes de la iglesia dudaran de su eficiencia como codirector de la obra.

Desde luego, Filippo supo esperar el momento preciso para ausentarse: fue cuando la construcción se acercaba al tercio de su altura, es decir, cuando los arcos comenzaron a acentuar su curvatura hacia adentro y el peso de la piedra amenazaba vencerlos, momento justo para el que había previsto continuar la edificación empleando tabique en lugar de piedra, colocándolo de una manera que aún no había revelado —proporcionaba las indicaciones técnicas a medida que la obra avanzaba—, por el temor a ser reemplazado. Una vez terminada la cúpula hubo un segundo concurso para el diseño de la linterna, que naturalmente ganó él, aunque fuese Michelozzo quien la construyera.

¿Por qué a Filippo no le interesó superar el claro de *Il Duomo* en las dos basílicas que proyectó —S. Lorenzo (1419) y el Sto. Spirito (1434)—, coincidentes una con el inicio de esta obra, y la otra con su terminación? ¿Por qué prefirió dar paso a la búsqueda del estilo más que al alarde constructivo?

Una razón lógica podría ser que preveía no ser él quien concluyera tales obras; de hecho así fue, pues ambas se terminaron muchos años después de su muerte. Otra razón, pero de evidencia histórica, es que le interesaba más lograr su ideal arquitectónico con base en la geometría del cuadrado, por medio del cual innovó el patrón de “planta en cruz latina” (extensamente copiado después), lo que resulta evidente al analizar el diseño de estas obras.

En arquitectura, Brunelleschi orientó su reforma de estilo al diseñar *all'antica*,

Brunelleschi, *Il Duomo* y el punto de fuga

Tomás García Salgado

Vasari: evidencia un rasgo sobresaliente de la personalidad de Brunelleschi, en el sentido de no dejar la crítica sólo en palabras. Donatello fue quien pidió opinión a Brunelleschi; éste decidió que la mejor manera de expresarla era realizando otra escultura del mismo tamaño y en el mismo material, pero imprimiendo un realismo casi natural en el rostro y cuerpo de Cristo, ausente en el “campesino” de Donatello, que más se asemeja a la interpretación mecánica del gótico o a las *tavolas* de Cimabue y Giotto pintadas con el mismo tema.

En su juventud, Brunelleschi se interesó en la escultura; en ella encontró el medio tangible para alcanzar el realismo de la forma, hasta el punto de que sus obras llegaron a rivalizar con las de Donatello y Ghiberti. La dificultad para alcanzar la perfección de la escultura residía en la destreza del artista, pero en pintura era muy distinto: en ella era necesario reproducir la percepción visual a semejanza de la realidad. La única forma de lograrlo era mediante la aplicación rigurosa de la perspectiva, la cual no se traducía en algún tipo de destreza, sino de conocimiento científicamente elaborado.

A principios del *Quattrocento*, Brunelleschi dedicó mucho tiempo a la perspec-

tividad, pero reconoció en él una temprana inclinación por los mecanismos y el arte, y lo educó a *leggere et a scrivere et l'abaco*. Sus fuentes de estudio fueron el *Trattato d'aritmética* de Paolo Dagomari, y la *Practica geometriae* de Leonardo Fibonacci. Su padre también lo inició en el gremio de los artesanos del oro con un amigo suyo, donde llegó a dominar el arte.

Filippo demostró inquietud por otras disciplinas; leía a Dante y fue un devoto estudioso de las Sagradas Escrituras, tanto que Toscanelli lo llamaba el segundo San Pablo. Justamente fue Toscanelli quien lo entusiasmó para que profundizara en el estudio de la geometría. No obstante, Filippo encontró su verdadera vocación en la arquitectura, disciplina un poco más compleja que la pintura y la escultura, pues la forma diseñada debe ser edificable de acuerdo con un procedimiento constructivo específico.

Su amplia formación le permitió resolver situaciones y problemas de diversa índole. Citemos, por ejemplo, los andamios para la edificación de *Il Duomo*, cuyo diseño se basaba en el cálculo de los pesos, su balance y la forma de moverlos, algo parecido a los mecanismos de relojería con los cuales estaba fami-

retomando elementos constructivos y formales de la arquitectura antigua romana y también de la toscano-románica. Las primeras obras de Brunelleschi que anuncian la muerte del gótico y el nacimiento del nuevo estilo son la *Sagrestia Vecchia* (San Lorenzo, 1419-1428, donde realiza su ideal de planta cuadrada, cubierta con una cúpula y linterna), el *Ospedale degli Innocenti* (Piazza della SS. Annunziata, 1421-1424), la Cappella dei Pazzi (Santa Croce, 1430-1445) y, por supuesto, *Il Duomo*.

Los rasgos de su personalidad nos ayudan a comprender su versatilidad y dominio de diversas actividades. Sus dos más destacadas obras son *Il Duomo* y los experimentos de San Giovanni. En apariencia, lo único que tienen que ver el uno con el otro es que su hechura ocurrió por el mismo tiempo, pero son perfectamente explicables en una mente como la de Filippo, pues ambas tienen un ingrediente común: la resolución de un problema constructivo que demandaba ingenio.

Por un lado, *Il Duomo* era todo un reto en el sentido constructivo arquitectónico, y la perspectiva también lo era, pero en cuanto a la construcción geométrica. Es difícil explicarse cómo Filippo se dio tiempo para ocuparse de ambas cosas a la vez. O aún más: por qué prefirió que sus seguidores terminaran el *Ospedale degli Innocenti*—importante obra patrocinada por su propio gremio, destinada a ser el primer hospicio infantil (tal vez en todo el mundo)—, para dedicarse a pintar unas pequeñas *tavolas*, aparentemente sin trascendencia. En realidad se trataba del primer experimento científico de perspectiva. Corría el año 1425.

IL DUOMO

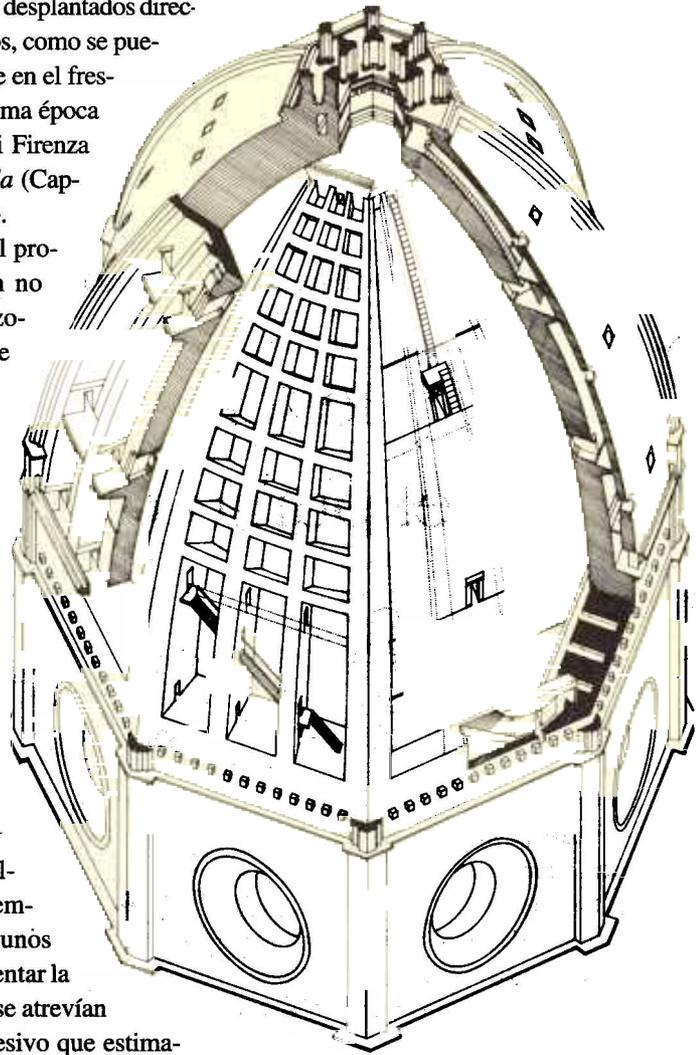
Al parecer, Arnolfo di Cambio (arquitecto florentino y también autor del proyecto del *Palazzo della Signoria*) no había dejado documentación alguna sobre su idea original para construir la cúpula de Santa Maria del Fiore. Cuando Francesco Talenti continuó la obra en 1367, preparó un modelo de la Catedral, en el cual se aprecian los arcos de la cúpula en perfil *a quinto acuto* (cuyo trazo se obtiene mediante un procedimiento

geométrico específico), desplantados directamente sobre los muros, como se puede apreciar actualmente en el fresco que pintó por la misma época (1366-1368) Andrea di Firenze en *Santa Maria Novella* (Cappellone degli Spagnoli).

Filippo sabía que el problema estructural aún no estaba resuelto; por razones de estabilidad, no le parecía conveniente desplantar la bóveda directamente sobre las mamposterías de los muros. Dado el interés especial que tenía en la obra, entre 1402 y 1407 comenzó a trabajar secretamente en la preparación de modelos y máquinas para estudiar su diseño y construcción, aún sin haber recibido oficialmente el encargo. Sin embargo, él sabía que algunos ingenieros querían intentar la construcción, pero no se atrevían por temor al peso excesivo que estimaban de la cúpula—el claro a salvar era de 45.42 m (es decir, mayor al del Panteón de París, que es de 43.28 m, y al de San Pedro en el Vaticano, que es de 41.90 m), y alcanzaba una altura de 91 m sin la linterna.

Cuando Filippo fue consultado por los síndicos y alcaldes de la iglesia, percibió que no le hacían un ofrecimiento directo y les sugirió que, para decidir la mejor solución al reto estructural, invitaran a maestros expertos de Francia, Alemania, Inglaterra, España y, por supuesto, de la misma Italia, para presentar propuestas de diseño y procedimiento.

Fue así que en 1420, síndicos, superintendentes y algunos ciudadanos distinguidos de la ciudad se reunieron en el recinto de los alcaldes para escuchar a los maestros. Uno proponía levantar nuevas columnas para desplantar sobre ellas los arcos de soporte; otro recomendaba usar piedra



1. Vista axonométrica de la cúpula.

ligera para reducir el peso; algunos más consideraron la idea de levantar una columna central para cargar directamente la cúpula, y aun hubo quien propuso hacer un gran montículo de tierra—para que sirviese de cimbra— con algunas monedas esparcidas, para luego pedir a la población que sacara la tierra con la recompensa de allegarse una que otra moneda. ¿Tendrían idea del volumen de tierra y ducados que esto implicaba? Al fin, se pensaba que no encontrarían vigas suficientemente resistentes para construir el andamio.

Cuando tocó a Filippo exponer su idea, afirmó que la cúpula podría construirse sin columnas, sin un gran andamio, sin armazón, sin columna central, sin montaña de tierra, y a un menor costo que los demás. La audiencia se echó a reír, tomán-

dolo por tonto, pero Filippo no se arredró. Persistió en la explicación: era necesario usar arcos apuntados; la bóveda debería ser doble y con pasajes internos; los ángulos de los ocho muros tendrían que ser reforzados mediante arcos dovelados en piedra. Además —precisó—, los muros mismos deberían ceñirse alrededor por vigas de roble; también tendría que preverse la iluminación de las escaleras, el sistema de desagüe, y (lo que todos habían olvidado) el soporte de los mosaicos para el revestimiento exterior de la cúpula. Ante la insistencia de Filippo en continuar defendiendo su propuesta, tuvieron que sacarlo físicamente del recinto, circunstancia que —como relata Vasari— lo volvió tímido y temeroso de ser señalado como el Tonto de Florencia.

EL HUEVO Y EL MODELO

Inteligentemente tenaz, Filippo habló por separado primero con un síndico, luego con un alcalde, después con un ciudadano influyente, así hasta que finalmente logró que se convocara una segunda reunión abierta en donde se rediscutieran las propuestas. En la nueva cita de especialistas, Filippo no estuvo de acuerdo con los 19 modelos presentados. Asimismo se negó a presentar el propio, pero hizo una propuesta ingeniosa: que el arquitecto o ingeniero que fuese capaz de parar verticalmente un huevo sobre la mesa resultara vencedor del certamen. Todos lo intentaron sin éxito. Al final tocó el turno a Filippo: tomó en sus manos el huevo y, volteándolo hacia sí por su base mayor, lo golpeó levemente con el mango de un pincel, estrellándolo apenas lo suficiente para posarlo verticalmente sobre la mesa. Todos protestaron diciendo: “¡nosotros también podemos hacer eso!”, a lo que Filippo respondió sonriendo: “¡pues lo mismo van a decir si les muestro mi modelo!”. Así, con ingenio obtuvo el encargo de la obra, aunque fue requerido para ofrecer una completa y exacta información sobre el procedimiento edificatorio de la bóveda.

¿Cómo era el modelo de Filippo? Según André Morel, se trataba de un mo-

delo que medía 7 m de alto, y aunque asimismo por diversas fuentes y referencias que el modelo sí existió, no hay evidencia histórica de cómo estaba elaborado. Algunos historiadores presumen que se trataba de un modelo en madera; sin embargo, por sus dimensiones es posible que estuviera fabricado en tabique y piedra, con el propósito de simular el procedimiento edificatorio.

Es muy interesante la carta que Filippo envió al tribunal², en la que destaca su famosa frase: “me propongo construir para la eternidad”. En su texto explica que había determinado emplear arcos apuntados que partieran de los ocho ángulos de los muros, y cuando éstos fueran cargados con la linterna, cada uno ayudaría al otro a estabilizarse; que el grueso de la bóveda interior debía ser de 210 cm en su base, y disminuir gradualmente, a manera de pirámide, hasta 60 cm en la cúspide (las dimensiones reales son de 2.13 m en la base, y 1.52 m en la cúspide). También, que la segunda bóveda sería más ligera que la primera, para protegerla de la intemperie (76 cm en la base, y 38 cm en la cúspide), uniéndose ambas en la cúspide, y que además desplantaría la doble bóveda sobre un gran tambor —de planta octagonal— y no sobre los muros. En la figura 1 se ilustran los principales elementos constructivos de tal obra.

Al iniciarse ésta, los síndicos nombraron a Ghiberti colega de Filippo, es decir, su socio y codirector. La decisión no le agradó, por sobradas razones, entre ellas porque Ghiberti no era arquitecto. Porfiado, Filippo se las ingenió nuevamente para vencer este último obstáculo: como dividían el salario, Filippo pidió también que dividieran el trabajo.

En ese momento, como relata Vasari, tenían por delante dos dificultades a solucionar: el andamio —por dentro y fuera de la bóveda— que debía soportar el peso del trabajador, el material y el cran para subir la piedra, y, por otra parte, la cadena de trabajo para atar y dar seguridad a lo ya construido, a fin de distribuir el peso para que las partes se soportasen mutuamente, y la bóveda cargara con fir-

meza en su desplante. Ghiberti escogió la cadena de trabajo³, pero su solución no era la correcta, como luego advirtieron los mismos alcaldes, quienes decidieron dar total confianza y libertad a Filippo para que continuara él solo con la obra, y además de por vida. Su andamio fue tan ingenioso que el albañil trabajaba sobre él como si estuviese en el suelo, y su cadena de trabajo cubría los ocho lados de la cúpula, previendo lugares para comer y beber vino, ahorrándole al trabajador el largo viaje hasta el nivel de suelo.

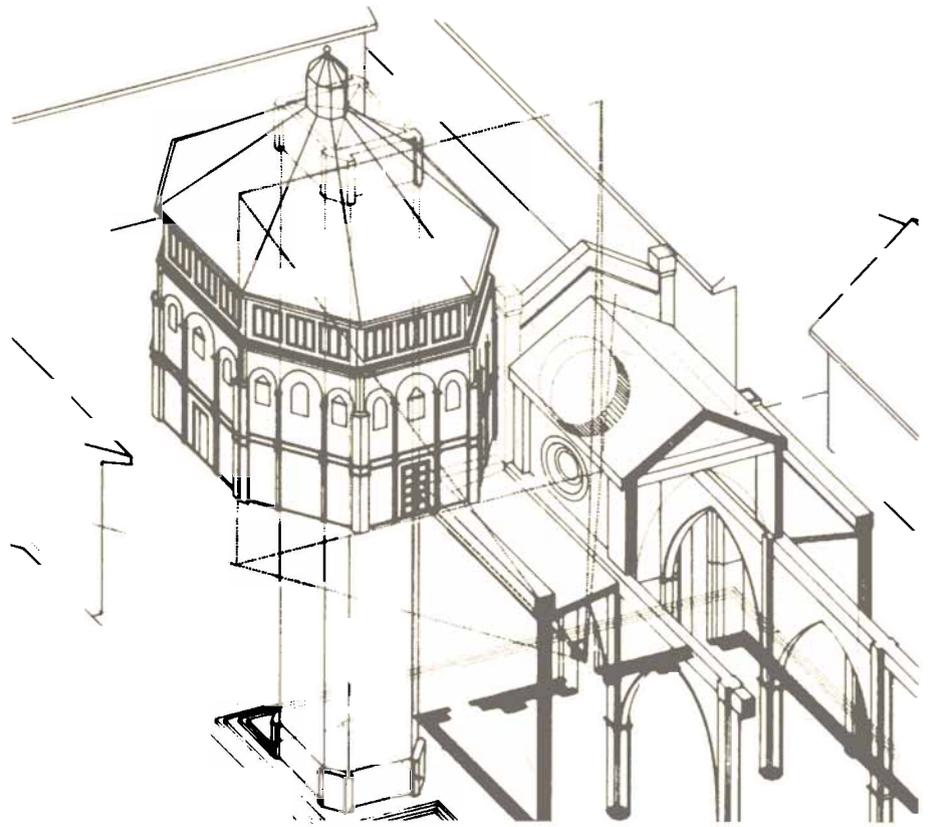
En suma, su solución constructiva fue cuidada en todos los aspectos: elevó el desplante de la cúpula sobre el tambor para evitar que cargara directamente sobre los muros, lo que evitó el riesgo de que los pudiera abrir (aunque existe la duda de si esa fue idea suya). También reforzó cada una de las ocho caras de la bóveda; agregándoles dos arcos más; empleó piedra dura en el desplante hasta alcanzar cierta altura, para después continuar con tabique hasta el nivel de la linterna. Además, previó el sistema horizontal de amarres, el alojamiento de cinco galerías para la inspección de la bóveda (de las cuales la última sirve para acceder a la linterna), su iluminación, el desagüe, las entradas y salidas del viento, las incrustaciones en mármol del tambor, y los mosaicos para revestir la bóveda, así, hasta completar detalladamente todo el procedimiento constructivo. Incluso, antes de morir dejó todo el material ya cortado y esculpido para edificar la linterna. La construcción de *Il Duomo* se inició el 7 de agosto de 1420 y se concluyó hasta la base de la linterna el 10 de agosto de 1436; la obra fue terminada totalmente en 1468.

¿Cuál fue la verdadera razón para emplear arcos apuntados y no semicirculares? Según Peter Murray⁴, el tambor sobre el octágono ya existía cuando la construcción se inició. Ante la falta de contrafuertes, todo el peso que se apoyase sobre la base del tambor debería de ejercer el mínimo absoluto de empuje lateral, cuestión que en el gótico se resolvía mediante arcos botatales, pero en el caso de la Catedral ni siquiera había espacio para

construirlos. Esta fue la principal razón para adoptar el sistema de arcos apuntados, cuyo empuje lateral es mucho menor al de los arcos semicirculares. Por otra parte, si Brunelleschi hubiese adoptado el sistema de bóveda sólida en concreto, como la del Panteón —cuyo empuje lateral no es excesivo por esta característica constructiva—, el peso propio sí hubiera excedido la capacidad portante del tambor, lo que pondría a la estructura en peligro de derrumbe.

El peso de la bóveda era otro factor a resolver. Al no poder reducirse las secciones de los arcos principales y de los meridianos, Brunelleschi planteó una solución innovadora, construyendo por primera vez en la historia de la arquitectura una bóveda de doble concha, que le permitía mantener la sección máxima posible con el peso mínimo posible.

Las cargas verticales en una bóveda —las de su propio peso principalmente— producen dos tipos de esfuerzos: de compresión en su parte superior, y de empuje lateral (o de tensión) en su base, los cuales se reducen mediante amarres horizontales. Ahora bien, la tendencia al agrietamiento por los esfuerzos de tensión es considerablemente menor en una bóveda de arcos apuntados que en una de trazo semiesférico. Por ello, Filippo introdujo nueve amarres horizontales de piedra reforzados con barras de hierro, que en la parte interior de la bóveda unen los ocho arcos de las esquinas (o principales) con los 16 arcos intermedios por medio de “arcos” horizontales, que en su conjunto forman nueve círculos —concéntricos— horizontales. Estos, de acuerdo con Mario Salvadori,⁵ trabajan estructuralmente como un domo circular, característica constructiva que le permitió a Filippo mantener estable la bóveda durante el proceso, pues al ir cercando los arcos y las dos capas de la bóveda simultáneamente, cada anillo de amarre trabajaría a la compresión —como una gran clave—, evitando que los arcos meridianos cayeran hacia adentro. Como es natural, los anillos de amarre no podían edificarse instantáneamente, por lo que previó utilizar el aparejo en *espina de pez* en la mampostería de tabique, co-



Vista axonómica de la plaza San Giovanni

locando de manera alternada los tabiques en tres hiladas horizontales por tres verticales, para que los amarres se fueran ligando (verticalmente) unos con otros, y formaran curvas en espiral a todo lo alto de la superficie de la bóveda.

Il Duomo es un ejemplo de la arquitectura universal, más que por sus dimensiones, por la unidad arquitectónica lograda entre su forma, estructura y edificación; tres principios que, conjugados científica y artísticamente, están presentes en el diseño de toda buena arquitectura. En mi opinión, el éxito de Filippo se debió en parte a su orgullo por demostrar que, unidos en una misma voluntad, los florentinos podían resolver un problema tan grande como su ánimo, pues en caso de no hacerlo se convertirían en la permanente burla de todos aquellos que los observaban; e, indudablemente, también al modelo que empleó para racionalizar su proceso de diseño y construcción, con lo que aportó a la arquitectura el método de la ciencia experimental edificatoria.

PLAZA SAN GIOVANNI

Mientras laboraba en la construcción de *Il Duomo*, hacia 1425, Brunelleschi llevó a cabo un singular experimento en un espacio real, al pintar el Baptisterio de la Plaza San Giovanni visto desde el portal de *Il Duomo*.

Su objetivo era demostrar, desde este sitio donde pintó una pequeña “tabla” (*tavola*, o *tavoletta*, de 29 x 29 cm, o como sugiere Martin Kemp, de 41 x 41 cm), la gran similitud entre la escena real y su reproducción pictórica. El experimento fue un tanto complejo, pues la observación no era directa sino mediante un espejo. Un segundo experimento fue la perspectiva del Palazzo Vecchio, en el cual, a diferencia del primero, la observación de la *tavola* —donde pintó la perspectiva— era directa, y para darle una ambientación casi real a la pintura, recortó la *tavola* siguiendo la silueta superior del Palazzo, de modo que al observarla desde el punto adecuado, el cielo y las nubes reales se

movían sobre la silueta. Estos experimentos fueron relatados por su biógrafo, Antonio di Tuccio Manetti⁶, quien aseguró haber tenido en sus manos las dos *tavolas*. Desafortunadamente ambas se perdieron, dejando muchas incógnitas por aclarar. Incluso cabe la posibilidad de que las *tavolas* que dice Manetti haber tenido en sus manos, hubieran sido las que pintó Paolo Ucello para reproducir los experimentos, pues existen datos de que éstas permanecieron en la colección de los Medici (en el Palacio de Florencia), por lo menos durante el siglo XV.

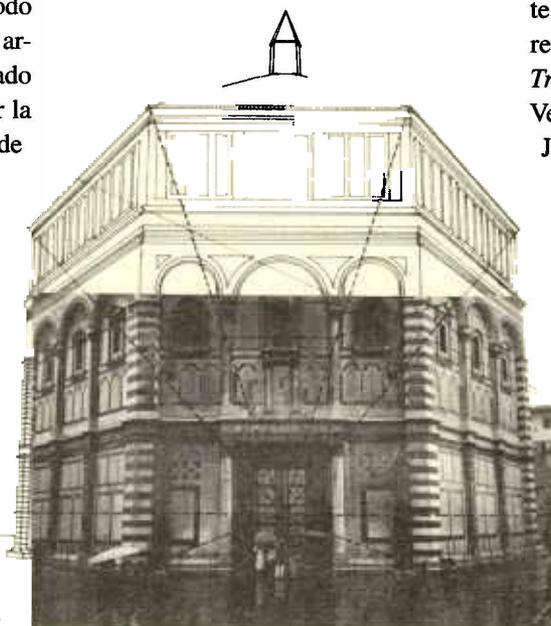
La conclusión importante a que llegó Brunelleschi —al igual que Alberti—, fue la postulación de lo que llamó el *punto central*, esto es lo que se denomina punto de fuga.

Antes de abordar la descripción del experimento de San Giovanni, formulemos una hipótesis sobre su origen. Al ser arquitecto, podría suponerse que la intención de Filippo era explorar una nueva forma de expresar los diseños, o de replantear los principios vitruvianos del dibujo arquitectónico (*iconografía, ortografía y escenografía*, es decir, planta, alzado y perspectiva). Sin embargo, el empleo de la perspectiva con este sentido se inició a mediados del *Quattrocento* con los dibujos de perspectiva arquitectónica de Bellini, de modo que Filippo no estaba pensando como arquitecto, sino como geómetra interesado en cuestiones de óptica. Su interés por la óptica obedecía a la influencia recibida de Toscanelli, quien había escrito para el vulgo un pequeño tratado sobre la *prospettiva*, que contenía los principios medievales de la óptica (en ese entonces se aplicaba el término *prospettiva* para referirse a la óptica). Su preocupación central era resolver la inconsistencia del espacio pictórico del *Trecento* —problema que desde Cimabue y Giotto parecía insoluble—, y qué mejor para demostrar los nuevos principios que los experimentos en espacios reales, donde la percepción natural (lo que la vista percibe) se pudiese comparar con la percepción artificial (lo que el dibujo representa).

Edgerton señala que la descripción de Manetti prácticamente nada dice sobre la manera en que arribó Brunelleschi a la noción de perspectiva lineal. No obstante, aún hoy no se ha definido claramente qué se entiende por perspectiva lineal, pues falta una teoría general de la perspectiva.

La confusión se desprende de que, al haber un solo punto de fuga, se piensa que se trata de un caso particular de la proyección perspectiva. Pero, como propongo en mi “teoría de la perspectiva modular”, cualquier caso de proyección requiere solamente un punto de fuga, pues cuando hay más de un punto éstos no son relativos al observador, sino que se derivan de las propiedades geométricas del cuerpo observado.

El tema amerita un extenso ensayo; aquí nos limitamos a un aspecto, a saber que los experimentos de Filippo están basados en el punto de fuga del observador y, por tanto, corresponden a un planteamiento general de la perspectiva y no a un tipo específico de proyección, como algunos autores lo interpretan. Por otra parte, el sentido demostrativo de los experimentos, como dice Damisch⁸, no tiene nada de ideal ni de pureza geométrica, pues implica otra forma de historia empírica que abre el campo del ensayo y la



Vista del Baptisterio.

interrogación, que no puede contenerse dentro de los límites de cualquier disciplina, ya sea arte, ciencia, técnicas, geometría, pintura, escenografía, u otras.

En efecto, los paneles se pueden considerar arte en cuanto a su realización pictórica; ciencia en cuanto a su planteamiento experimental como modelo de principios teóricos; técnica, por lo que toca a su construcción y mediciones; geometría, referida a la comprobación del trazo sobre la imagen. Es decir, desde un principio los experimentos abarcaron diversos campos del conocimiento relacionados con la perspectiva. Por lo mismo, este campo es tan amplio —como bien lo señala Veltman— que uno de los principales problemas es su clasificación: definir a qué arte o ciencia pertenece o corresponde, o bien si debería formar un campo propio.

El objetivo del experimento era reproducir, lo más fielmente posible, la imagen captada por el observador desde la puerta central de la Catedral, mirando hacia el Baptisterio que está en medio de la Plaza San Giovanni, de modo que al frente viera la Puerta del Paraíso (al centro en el Baptisterio), a la izquierda La Misericordia y la Volta dei Pecori, y a la derecha la Colonna de S. Zanobi y el Canto a la Paglia.

Aparte del relato de Manetti, las fuentes de estudio son el comentario que Filarete hace sobre los experimentos en su *Trattato*, y los recientes análisis de Kim Veltman, Samuel Edgerton, Martin Kemp, John White, Hubert Damisch, Decio Gioseffi, A. Parronchi, Nicholas Pastore y otros más. Se trata de estudios que abarcan distintos ángulos del suceso: su interpretación histórica, su reconstrucción *in situ*, su análisis geométrico, y su sentido fenomenológico.

EL PUNTO DE FUGA

Alberti escribió su tratado *Della Pittura* diez años después que Brunelleschi sentara las bases científicas de la construcción perspectiva, y es curioso que dedicara la versión “vulgar” de su obra “A Filippo di Ser Brunelles-

EL EXPERIMENTO

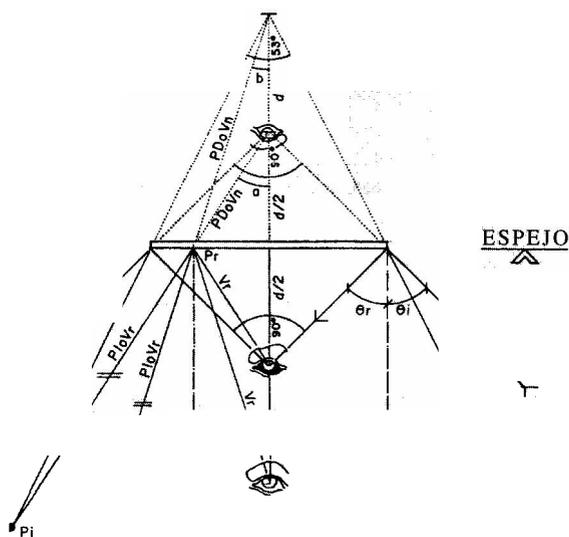
• El observador se ubica de pie bajo la puerta central de *Il Duomo*. Edgerton⁹ determinó con precisión su distancia y altura (a la de los ojos). Sin embargo, si variásemos ligeramente esta posición no se provocarían cambios perceptibles, pues la distancia del observador al Baptisterio (unos 56 *braccia*, aproximadamente lo mismo que tiene de ancho este edificio) no se

gen), ya que una mínima variación, digamos de 1 cm, desajustaría notablemente la imagen captada en el espejo. Como es natural,...

• ... la imagen quedaba invertida al dibujarse sobre la *tavola*, así que para mirarla era necesario hacerlo por el mismo espejo. Para esto Brunelleschi hizo un pequeño orificio en la *tavola*, justamente en el punto de fuga. Des-

una *lenta* (¿5-10 mm?) por el anverso, y de un *ducatò* (20-23 mm) por el reverso. Respecto a su espesor no hay ningún dato, pero éste pudo haber sido entre 15-25 mm.

• La forma que señala Edgerton¹¹ para observar la *tavola* es correcta. No obstante, habría que analizar las posiciones: del observador frente al espejo que capta la imagen real del Baptisterio, y del observador que capta la imagen de la *tavola*. En el dibujo de esta página (1) se aprecia la posición del espejo, y cómo se capta en él la imagen del Baptisterio que está a espaldas del observador. En el de la página opuesta (2) se muestra la *tavola* que contiene el dibujo copiado del espejo, el observador acercando su ojo al orificio de ésta, y el espejo colocado frente a la imagen de la *tavola*. Ahora bien, para validar que la dirección de cualquier *visual* captada por el espejo en el dibujo 1 sea la misma que capte el observador en el dibujo 2, es condición necesaria que la distancia del espejo al Baptisterio, y de la *tavola* a éste sea la misma. Obsérvese en el dibujo 1 que, mediante el *punto focal* se determina la dirección del *rayo visual* proveniente del lado derecho del Baptisterio, que al ser captado sobre el lado izquierdo del espejo aparecerá sobre el mismo lado en la *tavola*. Así, en el dibujo 2 la *tavola* ocupa la misma posición que el espejo en el dibujo 1. Por tanto, para que el *rayo visual* tenga la misma dirección en ambos dibujos, hay que situar el espejo frente a la *tavola* a un $1/8$ de *braccia*, de modo que al retirar la *tavola* y el espejo, el observador deberá ir un poco hacia atrás ($1/4$ *braccio*), para situarse en el *punto focal* donde llega el *rayo visual*. En el dibujo 1, el observador es a su vez la fuente puntual (fp). Cada fuente puntual en el *espacio del objeto* corresponde a un punto situado —a una distancia igual detrás de la superficie del espejo— en el *espacio de la imagen*¹². La finalidad de buscar la coinciden-



la de Brunelleschi interpretación TGS 94.

d ancho de espejo o tavola; Vr visual reflejada; Vn visual natural; PDo punto derecho ot

PLo punto izquierdo objeto; a, b ángulos visuales; Pi punto imagen;

Pr punto reflejado; E espejo; Oi ángulo de incidencia; Or ángulo de reflexión

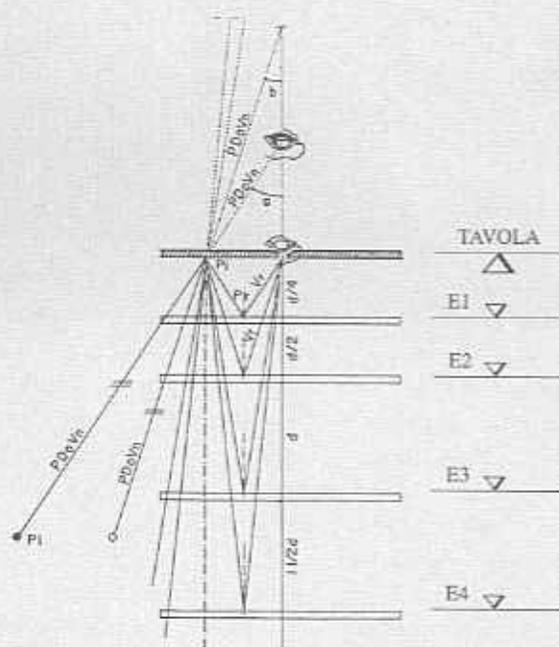
alteraría significativamente si avanzáramos o retrocediéramos 90 cm, o si subimos o bajamos la altura 20 cm. Así, carece de interés tratar de fijar con exactitud la estación de observación.

• Al estar Brunelleschi de espaldas al Baptisterio, colocó sobre el caballete un espejo de medio *braccio*, y a un lado de éste una *tavola* en la que iba pintando lo que veía y medía por el espejo¹⁰. Esta labor requería gran precisión, pues debía fijar de alguna manera la posición de observación (es posible que utilizara algún tipo de mirilla referida a un punto de fijación de ima-

pués, sosteniéndola con una mano por el reverso y mirando a través del orificio, observó la imagen reflejada en el espejo que sostenía con la otra mano a una distancia de un octavo de *braccio*, en forma centrada y perpendicular a su vista. Como la descripción de Manetti sobre el empleo del espejo no aporta suficientes detalles para reconstruir el experimento paso por paso, surge la duda de si construyó la imagen por medio del espejo, o bien si éste sólo sirvió para demostrar su construcción geométrica. El orificio en la *tavola* era del tamaño de

cia entre los rayos visuales de ambos dibujos, es que el ojo perciba el mismo tamaño aparente del objeto real, pero proyectado en este caso sobre la *tavola*.

- En el segundo experimento que realizó en la Loggia della Signoria, Brunelleschi no utilizó espejo para captar la imagen ni para observarla.



(Krautheimer, *etal.*), mediciones con astrolabio (Beltrame), con base en la óptica medieval (Parronchi), o incluso algún método híbrido que incluya varias aplicaciones a la vez.

- Un último aspecto al cual le han dado suma importancia los historiadores, es el referido al ángulo de observación. Los diferentes

Es probable que la perspectiva la haya deducido mediante proyección geométrica¹³. No obstante que ambos experimentos son similares, tuvieron propósitos distintos. En San Giovanni buscó demostrar que los rayos visuales fugan a un punto, el cual se encuentra sobre la visual principal que pasa por el orificio de la *tavola*; mientras que en la Loggia su idea pudo haber sido comparar simplemente la percepción visual entre el objeto real y su dibujo perspectivo. En ningún caso existe evidencia respecto a la aplicación de algún método de trazo en particular, por lo que la especulación sobre esta cuestión continúa, como señala Martin Kemp: pintura sobre un espejo (Gioseffí), empleo de planta y alzados

análisis ponderan este ángulo en un rango que va de los 45° a los 90°, en función del tamaño de la *tavola*, de la distancia de observación, y de la abertura visual que restringe el mismo marco de la puerta de la Catedral. Sin embargo, hay dos factores no ponderados en dichos análisis: a) carece de sentido tratar de definir un ángulo respecto a la visión humana, pues fisiológicamente no se puede cambiar de ajuste su distancia focal de formación de imagen (como en una cámara fotográfica); b) por lo tanto, el tamaño de la *tavola* simplemente permitió pintar lo que cabía en ella, sin que el propósito fuera demostrar la capacidad del ángulo de visión humana.

co" (la edición latina la dedicó a Giovan Francesco di Mantova), pero sin hacer mención a sus experimentos —que fueron todo un acontecimiento— o a cualquier aspecto relacionado con la perspectiva. Centró su elogio en la obra de *Il Duomo*, así como a sus amigos en común: Donatello, Masaccio, Nencio y Luca.

Recordemos que Masaccio fue el primer artista que aplicó con todo rigor los principios de la perspectiva geométrica en su célebre obra de La Trinità (Santa Maria Novella, Florencia, 1427-28)¹⁴, y Donatello lo haría de igual forma en su escultura en bronce: *El banquete de Herodes* (Fuente bautismal, Catedral de Siena, 1425). Por su parte, Ghiberti, que se mantenía cerca de los acontecimientos, pondría en práctica los nuevos principios en los diez paneles de bronce de la Puerta del Paraíso (lado oriente del Baptisterio, Florencia, 1425-1452). Si comparamos estas puertas con las del lado norte —del mismo Ghiberti—, notaremos la ausencia de la construcción espacial en perspectiva, pues fueron ejecutadas en un periodo anterior (1403-1424) a los experimentos, bajo la influencia del estilo gótico.

Aunque no hay evidencia de que Toscanelli participara en los experimentos de Brunelleschi —por la época en que regresó a Florencia (1424)—, tampoco es improbable que hayan discutido su planteamiento y la forma de realizarlos, pues ambos estaban interesados en escudriñar y resolver el problema fundamental de la perspectiva: determinar la disminución del tamaño aparente de los objetos por el efecto del alejamiento, es decir, encontrar *la regola* para medir la profundidad.

Tiempo ha que los pintores intentaban descubrir el secreto de la regla; no lo habían logrado pues se requería algo más que la búsqueda empírica por representar el espacio. Esto es, se requería formular el problema científicamente, racionalizando en su conjunto el fenómeno de la visión, o al menos sus principales componentes: el observador, el objeto, la captación de la imagen y su interpretación geométrica. En este proceso debieron haber influido la discusión del tercer método para la proyección de mapas de Ptol-

meo, y la revisión de los principios básicos de la óptica¹⁵: “en particular, el tercer método planteaba claramente un tipo de proyección perspectiva, pues para su deducción se requiere de un *punto de observación* desde el cual es visto el globo terráqueo.”¹⁶

Por ser éste el único método no ilustrado en la *Geografía* de Ptolomeo, el autor recientemente realizó su interpretación proyectiva, llegando a la conclusión de que difícilmente se pudo haber logrado en el *Quattrocento*. Sin embargo, al ser suficientemente clara su descripción teórica, ésta sí pudo haber influido en los cuestionamientos de Brunelleschi y Toscanelli en torno a la construcción geométrica del espacio.

Quizás provenga de Witelo la idea de usar un espejo en el experimento, como lo señala Veltman,¹⁷ pues en su *Opticae Thesaurus* describe su modo de empleo y certificación, es decir, su comprobación visual mediante instrumentos como el astrolabio o el cuadrante. Lo interesante del empleo del espejo es que se asociaba por lo menos a dos técnicas de medición descritas por Fibonacci, lo cual sugiere que Brunelleschi pudo haber echado mano de una de ellas para medir el volumen octagonal del Baptisterio, y que concuerda con la referencia que Filarete hace en su *Trattato di Architettura*¹⁸ sobre el experimento de Brunelleschi, al enfatizar el sentido demostrativo que tuvo en éste el uso del espejo, único medio disponible para medir y reproducir lo que se veía.¹⁹ A estas ventajas, Brunelleschi añadió una más:



el movimiento. Imaginemos el Baptisterio con sus mármoles en color, pintado con gran diligencia —que ningún miniaturista pudo haber hecho mejor, según Manetti—, bajo un cielo real cuyas nubes están en movimiento. ¿Cómo pudo haber sido hecho? Muy sencillo: cubrió con plata bruñida el fondo celeste de la pequeña *tavola*, para así evocar no sólo la realidad dimensional, sino la realidad visual de la escena.

Lo trascendente de los experimentos es que no fueron sucesos aislados. Si bien

estuvieron influidos por el tercer método de Ptolomeo y por los principios de la óptica hasta entonces conocidos, éstos a su vez influyeron en la solución científica al problema de la disminución proporcionada, hallando *la regola* de oro de la perspectiva, mediante la cual los artistas del *Quattrocento* alcanzaron la racionalización del espacio pictórico —convirtiéndolo en el lenguaje de comunicación más potente de su época—, gracias a la aportación de Pippo di Ser Brunelleschi a la ciencia de la perspectiva: el punto de fuga.

TOMÁS GARCÍA SALGADO

Facultad de Arquitectura, UNAM.

El presente ensayo forma parte del libro aún no publicado, *Las principales aportaciones a la perspectiva*.

Notas y referencias

¹ Vasari, Giorgio, 1967. *Vasari's Lives of the Artists* Clarion Books,

² *Opus Cit.* [1], p.76

³ Wigny, Damien, 1991. *Firenze* Milano: Electa, p.266:

⁴ Murray, Peter, 1986. *The Architecture of the Italian Renaissance*. New York: Schocken Books, p.33.

⁵ Salvatori, Mario, 1990. *Why Buildings Stand up* W. W. Norton & Co., p.239.

⁶ Howard Saalman, 1970. ed., *The Life of Brunelleschi by Antonio di Tuccio Manetti* University Park, pp.42-46.

⁷ Veltman, Kim H. 1986, *Literature on Perspective A Select*

Bibliography (1971-1984) Universität Marburg/Lahn,

⁸ Damisch, Hubert, 1995. *The Origin of Perspective* MIT Press, p.84.

⁹ Edgerton, Samuel, 1976. *The Renaissance Rediscovery of Linear Perspective* London: Harper & Row pub., p.147: “la ubicación del espejo estaba a unos cinco pies sobre el piso del Duomo y a unos nueve pies adentro del mismo portal.”

¹⁰ *Opus Cit.* [9], p.145: “La reflexión resultante servía entonces como modelo para esta pequeña pintura...”

¹¹ *Opus Cit* [9], p.151: “Brunelleschi conducía entonces a sus testigos a la puerta de *Il Duomo*, y estando él de espaldas al Baptisterio, en el mismo lugar que había estado mientras pintaba la pintura, ponía al observador tomando el pequeño panel contra su ojo para que mirara por atrás a través del orificio. En la otra mano del observador, Brunelleschi ajustaba el espejo que tenía que reflejar la pintura e invertir los elementos de izquierda a derecha a su posición correcta. La distancia

entre el panel y el espejo se fijaba justo a medio *braccio*.”

¹² Hecht, Eugene, 1976. *Optica*, McGraw-Hill México, p.81: “En consecuencia, para un espejo plano, Mt (el aumento transversal) es igual a +1; la imagen es de tamaño natural, virtual y derecha (hacia arriba).”

¹⁴ García-Salgado, Tomás, 1996. “Masaccio (1401-1428)”, *Ciencia y Desarrollo*, No 127, pp.80-85.

¹⁶ García Salgado, Tomás, 1996. “Orígenes de la perspectiva y su interpretación actual”, *Ciencia y Desarrollo*, No 129, p.65 (véase el dibujo 2).

¹⁷ Veltman, Kim H., *The Sources of Perspective* (manuscript),

¹⁸ *Opus Cit.* [18], p. 241

¹⁹ No hay evidencia sobre el uso de la *camera obscura* con propósitos experimentales o de auxilio en el trazo pictórico, sino hasta el *Settecento*, con Carlevarijis y Canaletto. Sin embargo, la *camera obscura* fue empleada en la Edad Media por Alkindi y Alhazen en la demostración de principios ópticos.