

Transformaciones. De la línea a la superficie.

Francisco Pinto Puerto

El complejo funcionamiento de determinadas fábricas pétreas en arcos curvos o planos aplicados en la descarga y vaciado de muros y, sobre todo, aquellas que cubren grandes espacios, necesitan de un alto grado de especialización en el conocimiento y uso de los recursos gráficos válidos para su control. Esto es algo conocido y consciente en toda valoración actual de los aspectos constructivos de nuestros edificios.

Lo que ya no parece estar tan claro y evidente, a raíz de muchos de los trabajos de investigación conocidos, es la consideración de que la transformación formal de cualquiera de ellos lleve implícita la de los medios gráficos aplicados en el control de su ejecución. Creemos que unos y otros no pueden entenderse exclusivamente a través de una simple afiliación estilística, ni como resultado de la evolución autónoma de unos conocimientos alojados en el oficio, alimentado sólo de sus propias experiencias. ¿Cómo explicar entonces que determinados maestros formados y experimentados en la resolución de los problemas formales y constructivos góticos, usando una *Geometría Fabrorum*, de repente realicen una reformulación global de estos problemas, planteando una moderna visión estereotómica como la que vemos expresada en tratados y manuscritos españoles de Arquitectura a partir de la segunda mitad del siglo XVI?

Nuestra intención es interpretar esta transformación en un contexto muy cercano al presente Congreso, enmarcado por el espacio físico, intelectual y artístico abierto entre la Casa de Contratación y la gran obra arquitectónica llevada a cabo en la catedral His-

palense durante el transcurso del siglo XVI. En él encontramos la respuesta a muchas de las incógnitas que plantean las fábricas pétreas realizadas en el tránsito de un mundo medieval a otro moderno, que afectarían, ineludiblemente, a la forma de pensar la Arquitectura y su construcción. Cambios que demandaron la puesta en práctica de nuevos recursos y sistemas de control gráficos que permitieron pasar de una concepción lineal en el funcionamiento estructural de las fábricas, a su valoración como superficies activas.¹

CONTROL GRÁFICO COMO RACIONALIZACIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

El control de las formas construidas en general, y de todo su proceso de fabricación, tiene como exigencia esencial garantizar la trabazón de todas las piezas que la componen para alcanzar la meta de la estabilidad. En el caso de los elementos estructurales pétreos, y en especial en los arcos y bóvedas o *cierras superiores de espacios*, esta exigencia adquiere especial importancia, ya que estas piezas reunidas gravitan sobre el vacío. En palabras de Thomas Vicente Tosca:² «...cortando sus piezas, y ajustándolas con tal artificio, que la misma gravedad, y peso, que las avia de precipitar azia la Tierra las mantenga constantes en el ayre sustentando las unas a las otras, en virtud de la mutua complicación que las enlaza...».

Exigencia que en el gótico se traduce básicamente a través de una concepción de las fábricas como líneas de fuerzas que perceptivamente ascendían desde las bases de los pilares hasta la clave de las bóvedas, y mecánicamente describían el camino inverso, mientras en el renacimiento se transformaban en superficies y masas activas. En ambos casos, líneas o superficies, era preciso diseñar un orden con el que responder a los principios de firmeza, durabilidad y belleza que ya citara Vitruvio. Será León Battista Alberti quien deje constancia de un método para ello, que viene a resumirse así:³

El método para levantar una obra se reduce a una sola cosa, cual es el llevar a cabo, a partir de elementos reunidos conforme a un orden y dispuestos de una forma artística, tanto si son piedras escuadradas, argamasas, madera o cualquier otro material, una construcción firme hecha con ellos y, hasta donde sea posible, íntegra y unitaria. Se dirá que es íntegro y unitario de aquello cuyas partes no estén cortadas, separadas ni fuera del lugar que les es propio, sino que formen un conjunto y sean consecuencia unas de otras en todo el trazado de sus líneas.

Si esta propuesta puede tomarse como una invariante a lo largo de la Historia, no podemos decir lo mismo de los recursos gráficos implicados en cada momento. Desde estas palabras de Alberti en pleno siglo XV, hasta los postulados de Juan Bautista Villalpando⁴ (figura 1) aportando la primera formulación científica sobre la estabilidad de las estructuras pétreas, recorreremos una época de intensos cambios, cuyo análisis y valoración son de enorme trascendencia para entender el proceso de transformación de los sistemas gráficos de control formal, en especial aquellos encargados de definir las trazas y ejecución de elementos estructurales como bóvedas, arcos, etc.

Para poder asumir el proceso de racionalización anunciado en el texto de Alberti, era necesaria la participación de todos aquellos «Saberes» y «Artes» que permitieron llenar de sentido conceptual la rica práctica edificatoria heredada de la Edad Media. Para entender en toda su extensión este fenómeno, es imprescindible tener en cuenta algunos aspectos importantes:

1. En primer lugar, la conciencia de la relación entre ciencia y técnica, saberes y artes, aspecto que estaba ya presente en la Península, al menos desde la época de Alfonso X el Sabio, aunque la razón fuera

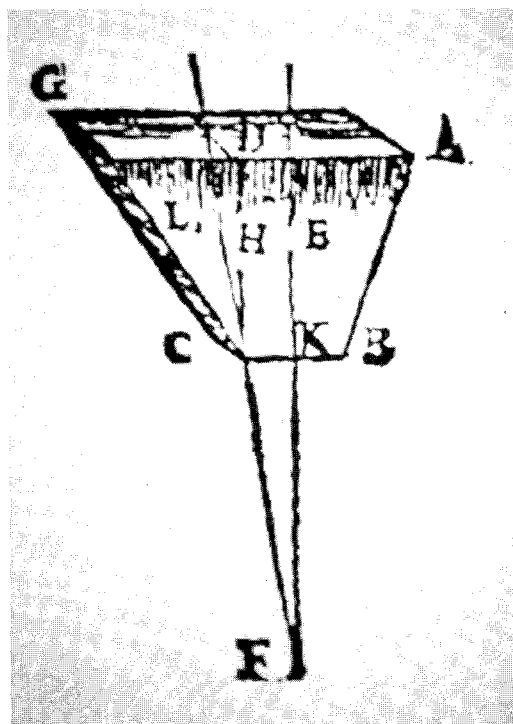


Figura 1
Diagrama explicativo de la teoría del polígono de sustentación. J. Bautista Villalpando.

estrictamente estratégica, ya que de esta forma,⁵ «cumplidos en su arte, y quando usan bien della, quierenlos los Reyes bien, y fazenle grandes mercedes, y son conocidos de los ricos omes,...»

El instrumento válido para conseguir este objetivo era el «Libro de Peso de los Alarifes, y Balança de los menestrales», que además de recoger una ordenación jurídica de los oficios, hacía hincapié en un aspecto de especial trascendencia para lo que estamos argumentando, como es la necesidad que cada oficio fundamente su arte en la ciencia, trascendiendo así el papel de meros artesanos: «y pusieron en fin deste libro, cosas que son seguidas de aquesta arte, que son de Geometría, que las han los alarifes mucho de menester, y son figuradas porque se entienda mucho mejor». La ciencia en general, y la Geometría en particular, se constituyeron en referentes fundamentales del oficio constructivo, al igual que lo serían posteriormente para el arte de navegar.⁶

Esta situación se reproduce de forma especial durante el siglo XVI, dando lugar a un especial desarrollo de la idea de progreso, que llevó consigo una nueva valoración de la técnica en relación a la ciencia, dentro de un contexto socio-cultural propicio. Esta nueva situación tuvo como uno de sus focos la ciudad de Sevilla,⁷ frontera y puerto entre el Antiguo y Nuevo Mundo. La necesidad de conocer, cuantificar y representar los nuevos territorios conquistados, exigió la participación de las *técnicas* que, como algunos autores coetáneos defienden,⁸ «proporcionan un conocimiento directo de la naturaleza, superior al puramente especulativo».

Es decir, la idea de progreso, como nos recuerda López Piñero, citando a Maravall, lleva implícita una nueva valoración de la técnica, con matices claramente positivistas. Esto lo vemos expresado, por ejemplo, en la obra literaria de científico y erudito Fernán Pérez de Oliva, quien en oposición a los defensores de la especulación frente a la técnica, alertaba del peligro de esta actitud,⁹ «los artífices que viven en las ciudades no tienen la pena que tú representabas, mas antes singular deleite.....¿Cuánto más te parece que sería mayor pena, que alguno en su entendimiento considerase alguna excelente obra, como fue el navío para pasar los mares o las armas para guardar la vida, si en si no tuviese manera de ablandar el hierro, hender los maderos y hacer las otras cosas que tú representas como enojos de la vida? Parece a mí que en mayor tormento viviera el hombre si la cosas usuales que viera con los ojos del entendimiento, no pudiera alcanzarla con las manos corporales. Por eso, no condenes tales ejercicios como éstos del hombre.....»

Esta forma de pensamiento permitió el acercamiento entre ciencia y técnica, creando una conciencia de esta reciprocidad mayor a medida que la ciencia necesita recurrir a la técnica, como en el caso de la Cosmografía o la Arquitectura, ambas muy presentes en la actividad que desarrollan los artífices de la ciudad de Sevilla, en el entorno cercano que hemos delimitado.

2. En segundo lugar, y como consecuencia de este nuevo marco cultural y social, el *Arte del corte de la piedra*, que ocupa junto a otras disciplinas la llamada «periferia técnica»,¹⁰ van a intentar superar su esencia empírica, revistiéndose de teoría a través de distintos discursos, que darían origen a una rica colección de manuscritos y tratados. El soporte básico

sobre el que se sustentaban las distintas técnicas estaba compuesto por un conjunto de normas prácticas y sencillas, la *Geometría fabrorum*. La evolución y formalización como ciencia de ésta última, permitió ampliar las posibilidades de la Arquitectura.

En este terreno abonado se percibe una interesante relación entre el arte del corte de la piedra y el arte de la navegación, que en sus aplicaciones gráficas, las Trazas de Monte y la Cartografía, respectivamente, aportan soluciones semejantes a un problema irresoluble por medio de la Geometría, como es el control gráfico y la trascripción plana de la esfera, figura que representa al orbe terrestre, como la mayor parte de las superficies que se usan para abovedar a partir de la segunda mitad del siglo XVI.

LA CARTOGRAFÍA. LA REPRESENTACIÓN PLANA DE LA SUPERFICIE TERRESTRE

Tras el descubrimiento de América se produjo una enorme transformación de la imagen del mundo que se reflejó en todos los saberes del momento, y de forma singular en aquellos que se ocupaban de su explicación y medición, como es el caso de la Cosmografía.¹¹ La mayor concentración de esfuerzos para avanzar en el conocimiento y representación de la superficie terrestre se concentraron entre el segundo y tercer decenio del siglo XVI, con posterioridad a la primera andadura alrededor del mundo llevada a cabo por la expedición de Magallanes, concluida, con el regreso de Elcano a Sevilla en 1522. Tras la demostración *empírica*, en el más riguroso sentido aristotélico de la palabra, de la esfericidad de la tierra, se produce una ruptura con la concepción medieval de una *ecúmene* plana que convivía, hasta entonces, con el concepto cosmográfico de la tierra redonda.¹² En este paso jugó un papel decisivo la Geografía de Ptolomeo, texto cosmográfico que enseñaba la proyección sobre la superficie plana de una *ecúmene* esférica, de cuyo método gráfico nos ocuparemos más adelante.

No es de extrañar que, a partir de estas fechas, se acumulen las noticias sobre los científicos y técnicos que se dedican al control y revisión de todos los recursos disponibles para la navegación de altura y la trascripción y representación geográfica de las tierras recién descubiertas. Científicos que habían comenzado a aceptar la idea de esfericidad o globalidad de la

tierra como «paradigma» algunos años antes, y que en la segunda década del siglo XVI lo contrastaron con la experiencia directa de Elcano.

Pero para obtener el estatuto de ciencia, los cosmógrafos tuvieron que asumir una serie de cambios conceptuales, como aceptar que las dos esferas, la del agua y la de tierra, estaban imbricados de tal manera que formaban una única, para así poder someterla a «medida uniforme» en todas sus partes y lugares (figura 2). El proceso de medición va a concluir en su representación sobre un plano, apoyándose para ello en el rigor matemático.¹³ Este proceso lo vamos a encontrar magistralmente narrado en la obra cosmográfica de Fernán Pérez de Oliva, personaje que nos va a ofrecer interesantes vínculos entre los sistemas de control de la superficie terrestre, necesari-

rios para el Arte de navegar, y de las superficies abovedadas esféricas en el Arte del corte de la piedra.

En ambos casos, el problema esencial es la representación plana, sin deformaciones, de estas superficies; en el primero, para determinar lugares y travesías de navíos,¹⁴ mientras en el segundo se usa para determinar la verdadera dimensión, orden y disposición de las dovelas o los *elementos reunidos* que citaba Alberti.

EL PROBLEMA TÉCNICO DE LA REPRESENTACIÓN PLANA DE LA ESFERA

El problema de la representación plana de la esfera es imposible de solucionar a través sólo a la geometría, al menos con total exactitud, por lo que se recurrió a soluciones prácticas, más o menos aproximadas, que superaban, en lo posible, este obstáculo. Consistían en proyectar geoméricamente partes de la esfera sobre un plano, asociándola previamente a otras superficies intermedias, definiendo así «sistemas de proyecciones cartográficas».¹⁵ Cada uno de estos sistemas se desarrollaba mediante distintos métodos, como el de proyecciones cónicas (usando el desplegado o desarrollo de conos tangentes o secantes a la esfera) o cilíndricas (mediante desarrollo de un cilindro tangente al ecuador). Ambos ofrecían limitaciones y obligaban a instrumentalizaciones que permiten una extensa casuística, según fijemos unos valores u otros; las tangencias o secantes del cilindro y el cono con la esfera, así como la orientación de sus ejes, directrices y posición del vértice de concurrencia, etc.¹⁶

Para corregir las deformaciones entre las superficies proyectante y proyectada, se establecían correspondencias entre sus puntos, que se denominaban *acuerdos*, básicamente:

a. Distancia entre dos puntos cualesquiera, dando origen a una red de líneas. Con ellas se construyeron los primeros mapas aplicados a la navegación, los portulanos.¹⁷

b. Relación de ángulo entre dos curvas trazadas sobre la esfera. Esta dimensión se mantiene en su proyección dando lugar a planos deformados, característicos de representaciones como las de Ptolomeo, que nos ofrecen fragmentos de territorios sobre una carta con dos lados abiertos y otros curvos, que compararemos más adelante con las trazas para obtener

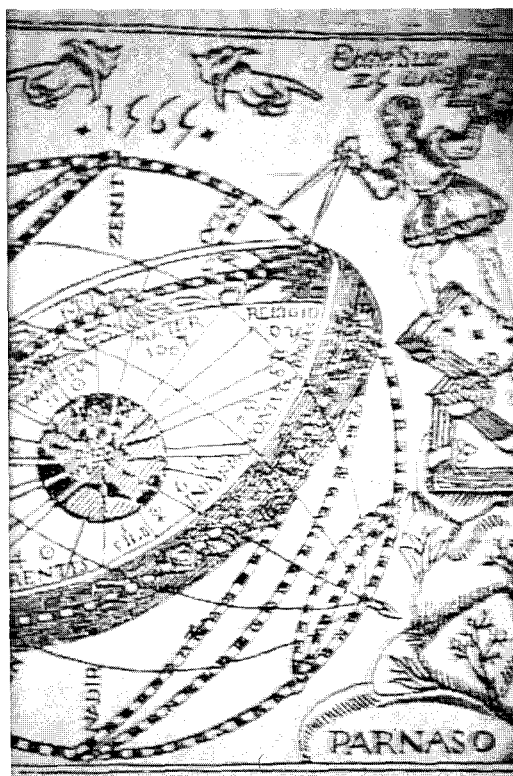


Figura 2
Grabado de la *Sphera*, comentado por Saenz de Santaella, 1564. Se representa a sí mismo midiendo la esfera celeste con un cospás, sobre los libros que coronan el Parnaso.

los despieces de cantería, obteniendo interesantes conclusiones.

c. Relaciones de área de una figura cualquiera, generando una figura poliédrica cuyo desarrollo plano mantiene áreas semejantes con su proyección esférica. Este último caso se suele usar cuando el área a representar es pequeña, siendo los acuerdos de escasa relevancia.

Ninguno es completo, ya que no podían llegar a definir a la vez los tres tipos de dimensiones: longitud, ángulo y área, aunque eran suficientes según el objetivo al que se aplicaban. De los tres acuerdos descritos nos interesa destacar aquel en el que se conservan ángulos, al ser el sistema que veremos aplicado tanto a la construcción de las cartas de navegar como a las trazas que realizaba un cantero para definir una bóveda. En ellos, las líneas sobre la esfera forman, al cortarse, el mismo ángulo que sus representaciones planas (el ángulo de dos curvas es el de sus tangentes), y es válido para cada par de curvas trazadas.

Otro de los recursos aplicados para facilitar la representación plana, consistía en establecer una red de líneas en meridianos y paralelos, a modo de armazón que permitía situar los elementos sobre la superficie de la esfera.¹⁸ Con ello no hacemos más que introducir una orientación de cada elemento respecto al conjunto, es decir, un posicionamiento de cada espectador respecto al espectáculo del mundo, sometiendo así a la esfera a un rigor métrico.

En el caso de las proyecciones cilíndricas, esta red es una cuadrícula de líneas paralelas y perpendiculares entre sí, donde el «acuerdo» consiste en establecer unas dimensiones para representarlas sobre los paralelos. En el caso de las proyecciones cónicas se caracterizan porque los meridianos son rectas y los paralelos circunferencias, entre las que se generan trapecios planos. Al emplear varios planos tangentes, según se van representando zonas próximas, se forma una figura poliédrica.

Estos métodos van más allá de aquel que Durero proponía en su tratado *Underweysung der Messung*,¹⁹ (figura 3) dirigido en realidad hacia el control perceptivo de las formas. Sin embargo, éste último es el que aportaba el sistema más coherente, basándose en los principios antes citados de Ptolomeo, que consiste en establecer el desarrollo de la esfera por usos, aunque sin definir sistema alguno de trazado de los distintos arcos que son proyección de cada meridia-

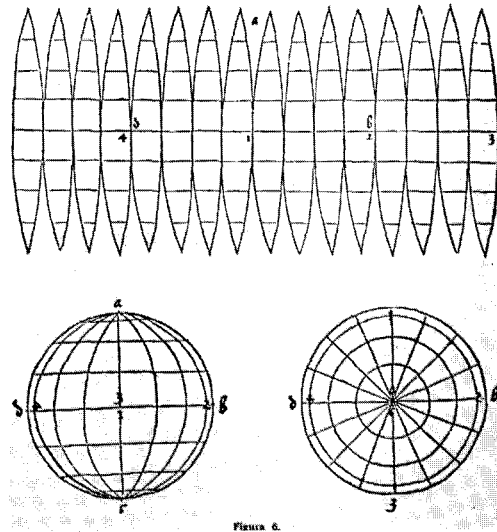


Figura 3
Representación de la esfera y su desarrollo según Durero. *Underweysung der Messung*. 1525.

no. Es una propuesta de intenciones, en la que, al menos, ya se define el criterio antes establecido para las proyecciones cónicas, es decir, los paralelos y meridianos forman trapecios simplificados, pero bastante aproximados. La repercusión de este trazado lo podremos observar más adelante, al compararlo con las trazas realizadas en el tratado de Arquitectura de Alonso de Vandelvira.

LOS PLANISFERIOS DE FERNÁN PÉREZ DE OLIVA

En la obra «Cosmografía Nueva» se realiza una descripción y fundamentación de la representación plana de la esfera terrestre a través de una serie de enunciados que el autor denomina «Planisferios». A través de ellos se establece una importante correspondencia con los sistemas de representación aplicados al arte de la cantería, usando como fundamento el concepto de perspectiva (figura 4).

a. En el primer planisferio se hace referencia a la veracidad de la representación aplicando para ello los principios de proporcionalidad que ya vimos en los artesanos de bóveda,²⁰ «siendo empresa imposible trasladar todos los rasfos de una superficie curva a

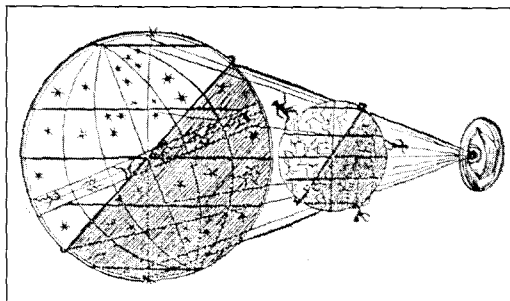


Figura 4
Demostración de la esfericidad del cielo y la tierra, según grabado del s. XVI.

otra plana, respetando la proporción de las distancias, la laboriosidad de los geógrafos consiguió que se levantaran en un plano representaciones de la tierra, muy poco discrepantes de su verdadera imagen.» Objetivo que se plantean también en el resto de las artes, llegando a los mismos o parecidos errores o conformes: «También observamos que se ha conseguido algo semejante en otras artes, en las que insignes artífices intentan, con el mínimo error, construir una reproducción cuando no pueden alcanzar una proporción exacta...».

El resultado es la construcción de una malla de meridianos y paralelos, es decir, la formalización de un sistema de control perceptivo de la continua superficie terrestre, tal como ya hemos visto en Alberto Durero, «insigne artífice» coetáneo a Oliva, y al que pudo hacer referencia. Sin embargo, el usado por Oliva es más exacto, y se basa en la utilización de un método geométrico para el trazado de los meridianos, que se resume en la aplicación de una proyección cónica basadas en las realizadas por Ptolomeo en Libro I de su *Geographia*²¹ (figura 5).

b. En el segundo planisferio, Pérez de Oliva plantea la construcción de una carta plana más exacta aún, donde poder representar el territorio, estableciendo como criterio básico la ya enunciada correspondencia entre los ángulos de dos líneas sobre la esfera y sobre su proyección plana,²² «La descripción de la superficie de la tierra en el plano es proporcionada, porque el ecuador y el paralelo que pasa por Tule [extremo del universo habitado sin dificultad] guardan en esta descripción la misma proporción que en la esfera.» Siguiendo el mismo criterio anterior,

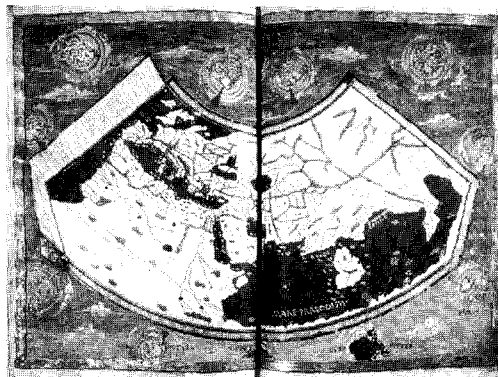


Figura 5
Desarrollo cónico de la superficie terrestre. *Geografía de Ptolomeo*. Valencia. Biblioteca de la Universidad.

sobre esta nueva red de líneas rectas concurrentes y circulares concéntricas, que definen la zona de la esfera entre los círculos intersección con el cono, es fácil describir el perfil geográfico o aquello que acontezca.

En resumen, Pérez de Oliva define un método gráfico para realizar la representación plana de la superficie terrestre, entre las que se pueda establecer una proporción, no una igualdad, ya que se trata siempre de aproximaciones geométricas. Para ello procede aplicando los recursos perspectivos de Ptolomeo, que no son sólo unas técnicas de construcción gráfica, sino que llevan implícito una concepción del mundo y del espacio como globalidad perceptible y dominante.

PTOLOMEO EN SEVILLA

Todos los hechos destacados hasta el momento y la influencia que pudieron tener en el mundo arquitectónico y artístico en general, tiene un reflejo muy directo en la obra de los cosmógrafos presentes en la Casa de la Contratación sobre todo a partir, curiosamente, de 1524, fechas en las que se comienzan a producir las primeras formas *a lo romano* en la arquitectura de Sevilla. Una de las figuras más destacadas será Alonso de Chaves,²³ quién protagoniza el cambio sufrido en esta fundación, retomando el trabajo de Diego de Ribero, y fundando las bases sobre

las que seguirían Martín Cortés y Pedro de Medina.²⁴ Entre sus cargos estaban la realización y homologación de instrumentos de navegación y de cartas náuticas, en el que sigue las doctrinas cosmológicas de Ptolomeo, utilizada habitualmente entonces, y con las que construyen finalmente la representación gráfica del Patrón Real.

En esta labor no estuvieron solos, ya que participaron activamente algunos de los más importantes científicos y pensadores del momento, como es el caso de Hernando Colón, quien realizó los trabajos de revisión y corrección a partir de los datos traídos por los navegantes, en lo que invirtió los años entre 1526 y 1536.²⁵ A partir de sus trabajos se plantean alternativas a la representación ptolemaica, en las que constatamos los principales vínculos con las artes de cantería y carpintería.

En resumen, el conocimiento y dominio de las superficies de generación esférica que hemos visto fundamentadas en la obra de Vitruvio, escritas a través de Alberti y otros tratadistas, teóricos y científicos, llevan implícito el problema de su representación y control gráfico. Problema al que se enfrentaron la ciencia y la técnica del momento, creando un foro común en el que se sucedieron y superpusieron distintos resultados que tienen un factor común, su rápida y a veces precipitada aplicación práctica. El resultado final de este foro de debate es la obtención de una sustitución plana de la superficie de un objeto esférico en la que poder verter los mismos anhelos de orden y rigor geométrico que vemos aplicados a otros elementos arquitectónicos murales, cuestión que hasta ahora quedaban velados por una lectura excesivamente vinculada a las cuestiones formales e iconográficas de lo ornamental.

LAS PROYECCIONES CÓNICAS EN EL TRATADO DE ALONSO DE VANDELVIRA

En los modelos desarrollados por Alonso de Vandelvira en su *Tratado del Arquitectura*, el sistema empleado para definir el despiece de la piedras que forman una bóveda o un elemento de cubrición en general, es casi una transcripción literal de lo descrito hasta el momento. El control planimétrico tiene como objetivo hallar las plantillas necesarias para labrar las caras de cada pieza respecto al orden y composición preestablecidos. El sistema usado nos lo

describe Palacios al analizar el modelo del fol. 61 de éste tratado²⁶ (figura 6):

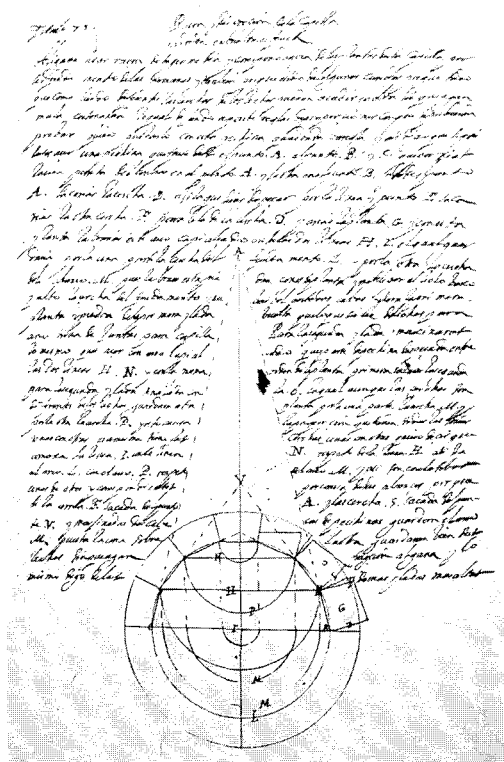


Figura 6
Folio 61v. Título 75. Razón y descripción de la capilla redonda en vuelta esférica. *Tratado de Arquitectura de Alonso de Vandelvira*.

En este título el autor propone algo sorprendente a primera vista. Se trata de resolver no una esfera sino un cuarto de esfera, sea, por ejemplo, un ábside o una hornacina. Una vez despiezada esta, Vandelvira construye una superficie aproximada a este cuarto de esfera «forrando» su interior con tres superficies cónicas, tal como se explica en la figura.

Es decir cada hilada de la esfera, que corresponde a la amplitud entre dos meridianos alejados, se simplifica mediante un cono cuya intersección con la esfera son justamente estos círculos paralelos. Así, la superficie curva, que por su tamaño se aproxima a

una plana, se reduce a un trapecio con dos lados curvos con radios y centros marcados sobre el eje de revolución elegido. Sólo resta, a través de un *baibel* construido a propósito, labrar la concavidad real de la cara de intradós (figura 7).

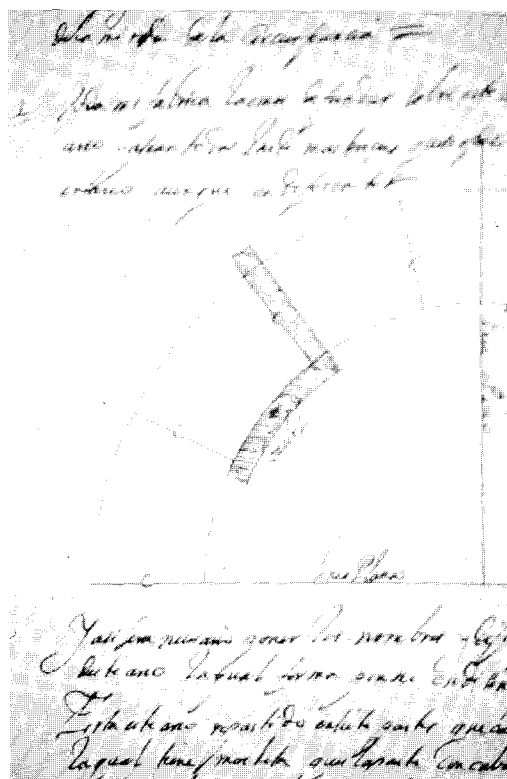


Figura 7
Folio 4v. Título 1. Definiciones. *Tratado de Arquitectura de Alonso de Vandelvira*. Detalle del instrumento para el sacado del intradós de las dovelas.

La referencia al método usado en cartografía es inmediato, aunque mucho más simplificado dada la menor escala de los bolsosres o elementos constructivos básicos de la bóveda respecto a la superficie terrestre, lo que hace posible eludir los errores que los distintos cosmógrafos se ocupaban de corregir y enmendar, como lo hiciera Martín Cortés²⁷ en su *crítica de las cartas planas y de los portularios*, «...no usan ni saben usar los pilotos y marineros de otras cartas

sino destas plana (como dicho tengo), las cuales, por no ser globosas son imperfectas. Y así dejan de señalar que, cuando se van alongando de la equinocial para cualesquiera de los polos las líneas meridianas, se va restringiendo y angostando...».

No es extraño que, conscientes de estas limitaciones y errores, le preguntaran a Alonso de Vandelvira por lo apropiado del uso de este sistema en las trazas de monte, a lo que el maestro jiennense responde en su manuscrito:²⁸ «Oblígame a dar razón de su geometría y correspondencia de las plantas de esta capilla por ser fundamento de las romanas y también porque he sido de algunos curiosos preguntado que cómo siendo diferentes las cerchas de los lechos pueden acudir en obra sin que hagan mala consonancia, lo cual dejando aparte reglas de proporciones con que se pudiera probar, quiero probarlo con una pechina cuadrada y a regla...».

La explicación se fundamenta en otros modelos más sencillos, las pechinas o superficies cónicas, con las que comienza a introducir al lector haciendo gala de una gran coherencia que según Palacios aporta una clara estrategia docente. Su tratado comienza por los principios geométricos básicos, para pasar a trazar elementos de cantería aumentando progresivamente el grado de complejidad. De esta forma ejercita al que se introduce directamente al principio o regla general: la proyección cónica.

Si el modelo sobre el que se explica la regla, *capilla redonda en vuelta redonda* (fol. 60v), nos descubre el método de las proyecciones cónicas, el siguiente, *capilla redonda por cruceros* (fol. 63r y 64r), hace aún más patente la relación con las cartas de navegación. Al definir los cruceros de los nervios es necesario tener como «conforme» los ángulos que forman al cruzarse, para lo que el método descrito es perfecto. (figura 8) La definición de la dimensión y forma del artesón o tablero que ocupa el hueco se hace aplicando el sistema de proyecciones planas sencillas, al ser la superficie un elemento muy limitado, como es el caso de esta *capilla*, donde vemos el desarrollo o proyección poliédrica que acompaña a la traza.

Encontramos un paralelo cartográfico de éste último método en el trabajo de López Piñero, donde da noticia a través del testimonio de Alejo de Venegas (1540), de la carta de navegación que hizo Alonso de Santa Cruz,²⁹ «... una carta abierta por los meridianos, desde la equinocial a los polos, en la cual, sacando por el compás la distancia de los blancos que

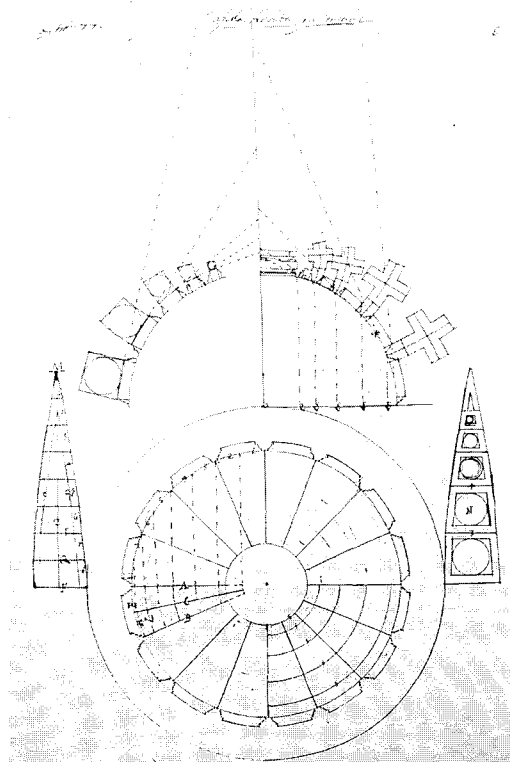


Figura 8
Folio 63r. Título 77. Capilla redonda por crucesos. *Tratado de Arquitectura de Alonso de Vandelvira.*

hay de meridiano, queda la distancia verdadera de cada grado, reduciendo la distancia que queda a leguas de línea mayor»...».

Definición que nos trae la imagen del desarrollo propuesto por Alberto Dürero en su *Underwysung*. Esta carta supone un nuevo esfuerzo por hacer que la cuantificación de los acuerdos o aproximaciones no sea numérica, sino geométrica, facilitando así el uso de la carta a través del compás. Tenemos que esperar a principios del siglo XVII, para ver una construcción semejante, como es la de Mapamundi incluido en el *Regimiento de navegación*, realizado en 1606 por Andrés García de Céspedes³⁰ (figura 9).

El círculo de relaciones que hemos planteado en apartados anteriores se va cerrando cada vez más, sobre todo considerando la envergadura de la figura y colección bibliográfica realizada por Hernando Co-

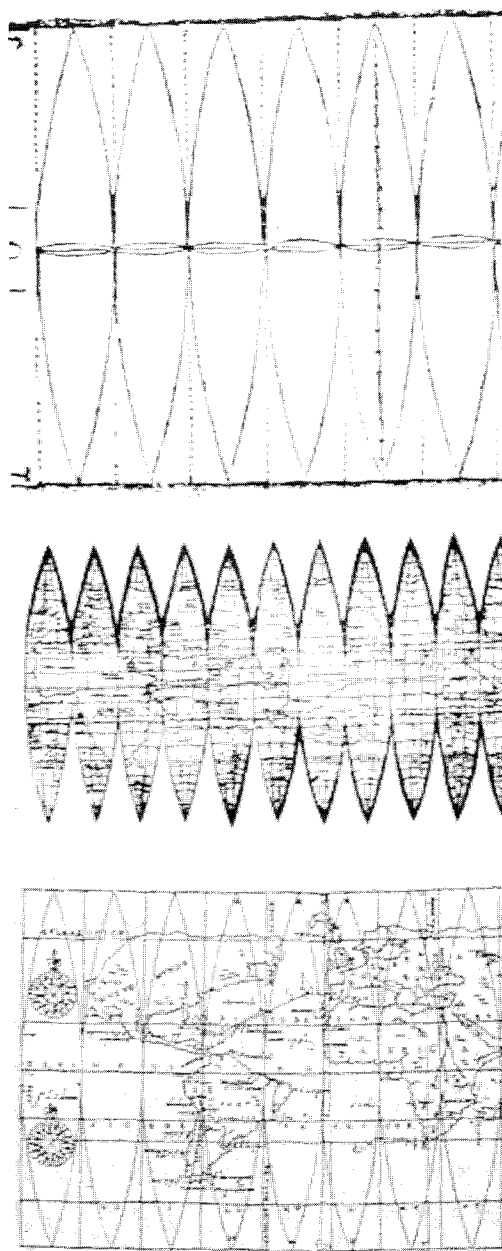


Figura 9
Tres representaciones del desarrollo de una esfera en usos. Desde arriba. Según López de Arenas, *Manuscrito de Carpintería*. Según Martín Waldseemüller. 1507, *Introducción a la cosmografía*. Según Andrés García de Céspedes, 1606, *Regimiento de navegación*.

lón, que se configura como mediador entre distintas disciplinas científicas y técnicas. La proximidad entre este intelectual y el círculo científico y teológico coetáneo se pone de manifiesto a través de dos figuras muy presentes en nuestro contexto, Hernán Pérez de Oliva, y Pedro de Pinelo,³¹ tendiéndose así un hilo que habrá que trenzar con otros estudios, entre las distintas «Artes». Finalmente, prueba irrefutable de la superación de los límites de la navegación, que estamos argumentando, nos la ofrece el testimonio aportado por Daniele Bárbaro, comentarista italiano de Vitrubio y soporte ideológico de Andrea Palladio, quien entre sus «autoridades» cita a Martín Cortés y Pedro de Medina, como ya hemos indicado.

CONCLUSIONES

Los distintos recursos gráficos aplicados para el diseño y el control de las formas construidas surgen, de un modo muy directo, de su interacción con las exigencias impuestas por los agentes sociales y culturales, y sobre todo por el contexto técnico y científico en el que se desenvuelven. Dicho de otro modo, las transformaciones formales, y sus recursos de control gráficos, surgen de la constante tensión entre dos fuerzas opuestas: de un lado la potente y experimentada costumbre, tradición sedimentada en hallazgos anteriores convertidos en soluciones constructivas típicas, incluso en elementos compositivos; de otro, la aplicación de los nuevos recursos de concepción y representación de los problemas constructivos, la siempre «nueva visión» que plantea cada cambio generacional, enraizado en las nuevas exigencias sociales y culturales, técnicas y científicas de cada momento y lugar.

El recorrido que pretendemos establecer pretende aportar un nuevo horizonte para la valoración del contenido expresado en esta sección, superando la filiación estilística, e invitando a abrir las miras de toda lectura que sobre la construcción puede realizarse, pues creemos que lo aquí expuesto se reproduce, en una parecida y variada proporción, a lo largo de toda nuestra Historia.

NOTAS

1. El desarrollo de la propuesta que vemos esbozada en esta comunicación, es el objeto de una publicación que

saldrá a la luz en el transcurso del próximo curso 2000/2001, dentro de la colección *Monografías Archivo Hispalense 1999* de la Excm. Diputación de Sevilla. A ella nos remitimos para una mayor profundización.

2. Tosca, T.V.: *Tratado de la Montea y Cortes de Cantería* (1727 (Valencia, 1992, p. 81). El texto citado ocupa las primeras líneas de su introducción.
3. Alberti, L.B.: *De Re Edificatoria*. Libro III, Capítulo I. *Los Materiales*. Trad. de Ribera, J, y Fresnadillo Núñez, J.: *León Battista. Alberti. De Re Aedificatoria*, p. 93.
4. La teoría sobre el polígono de sustentación supone el final del largo camino recorrido en el siglo XVI en torno al conocimiento del funcionamiento de arcos y bóvedas. Esta transcrito íntegramente en López Piñero J.M.: *Materiales para la historia de las ciencias en España: S. XVI-XVII*. Madrid, 1976, p. 28. El enunciado es el siguiente: «Los graves que se apoyan en un área permanecen en equilibrio si la vertical trazada por el centro de dicha área pasa por el centro de gravedad, o si la vertical trazada por el extremo de dicha área pasa por dicho centro o, al menos, lo deja al mismo lado del área en que se apoya el cuerpo; por el contrario, si lo deja al otro lado del área, el cuerpo caerá necesariamente.»
5. Así se deduce de la preocupación de este por establecer un orden y consenso entre las artes sobre lo que «a de menester» un técnico, para que sean. Esta traducción se ha extraído del trabajo de Cómez Ramos, R.: *Arquitectura alfonsí*. Sevilla 1974, p. 72. Ver también del mismo autor *Las empresas artísticas de Alfonso X el Sabio*. Sevilla, 1979.
6. *Ibidem*, p. 72. Lo demuestra el hecho de establecer como fuente de conocimiento a autores clásicos como Ptolomeo, citado en el *Libro de las Armellas*.
7. Aspecto para cuyo análisis nos apoyaremos en los trabajos de autores como Maravall, J.A.: *Antiguos y modernos*, Madrid 1986, López Piñero, J.M.: *Ciencia y técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII*. Barcelona 1979, pp. 154 ss. y Cano Pavón, J.M.: *La ciencia en Sevilla. (siglos XVI-XX)*. Sevilla 1993.
8. Entre ellos está Juan Luis Vives, quien en su *De disciplina libri XX* (1531), nos dice: «El estudioso debe atender las artes y descubrimientos humanos, en lo que toca y atañe a la alimentación, al vestido, a la vivienda; en esta tarea le ayudarán los tratadistas de agricultura y los que estudian la naturaleza y las propiedades de las hierbas y los animales y los que trataron de arquitectura,... las artes de tracción animal, en que anden mezclados los caballos, el mulo, el buey y toda suerte de vehículos, así como el arte vecina de la navegación...no tenga empacho en acudir a las ventas y a los obradores, y preguntar y aprender de los artesanos, las particularidades de su profesión; porque de muy atrás los sabios desdeñaron apearse a este plano y se quedaron sin saber una porción incalculable de cosas que tanta importancia tienen para

- la vida.». Texto extraído de López Piñero, J.: *Materiales para...*, pag. 33.
9. Cita extraída de López Piñero, J.: *Ciencia y técnica...*, p. 155. Este texto surge como oposición a los defensores de la especulación frente a la técnica, alertando sobre el peligro y riesgo de esta actitud. A él se suman muchos intelectuales del momento, que exhortan al colectivo científico a prestar atención a los problemas técnicos. Con probabilidad su opinión se debe a la necesidad de encontrar una aplicación práctica de sus conocimientos, es decir, una utilidad que justifique su propia existencia, en un mundo eminentemente práctico que comienza a abrirse a la ciencia.
 10. Ibidem, p. 152. La definición de estas técnicas como periféricas puede parecernos algo exagerada, sobre todo si no lo situamos en su correcto contexto temporal. Podemos decir que es acertado y ajustado a medida que los científicos ocupan el lugar protagonista de la actividad dominante de una ciudad, como pasa en Sevilla en el transcurrir del siglo XVI. Pero en épocas anteriores los técnicos representan el centro de la actividad de ciudades completas, como es el caso de la construcción de una catedral, donde los maestros se constituyen en figuras dominantes. Pero una vez situados, la expresión al menos es suficientemente expresiva para definir el punto de partida de los contenidos y relaciones que intentaremos destacar.
 11. Según la descripción de las partes fundamentales de los libros de Aristóteles, la Cosmografía estudia dos cosas: la tierra con relación al conjunto del ciclo y la tierra en sí misma: componentes, partes y seres que en la misma se encuentran. Flórez Miguel, C.: «Ciencia y Renacimiento en la Universidad de Salamanca». *Fernán Pérez de Oliva. Cosmografía Nueva*. Salamanca 1985, p. 15.
 12. López Piñero, J.M.: *El arte de navegar.....* pp. 69-70. La geografía medieval tiene una importante carga simbólica, de interpretación y explicación del orbe, mientras la recuperación de los geógrafos clásicos como Ptolomeo, tratan de la medición y representación exacta, matemática del mismo. Sobre la trascendencia del Descubrimiento sobre la estructura social, ver Abellán, J.L.: *Historia crítica del pensamiento español. La edad de oro (siglo XVI)*. Madrid 1979, p. 351. del que citamos el siguiente texto por su carácter ilustrativo: «La iglesia sólo se rindió a la evidencia cuando Sebastián Elcano y sus diecisiete compañeros volvieron de la primera vuelta al mundo sanos y salvos, aunque muy maltrechos. Esto explica la emoción de las gentes de todas clases, aún de los más doctos, por aquella hazaña, pues era la prueba evidente de que el horror al vacío (horror vacui) estaba injustificado... A pesar de que se conocía la esfericidad de la Tierra, aún se ignoraba la ley de gravitación, y se suponía que aquel que avanzase demasiado lejos por la superficie terrestre llegaría un momento en que se vería arrojado al espacio, fuera del mundo».
 13. Ibidem, p. 23. «El conocimiento de la Geografía o Cosmografía de Ptolomeo a principios del siglo XV, que no había sido conocida en su totalidad durante la edad Media, es un punto de referencia fundamental para comprender cómo entre 1480 y 1530 o 1550 la Geografía experimentó una profunda transformación que la elevó a ciencia en el riguroso sentido del término; y ello ocurrió gracias a la precisa aplicación de las matemáticas a la medición del globo terrestre».
 14. Lógicamente, este tipo de representación tiene su punto de partida en la consideración del principio de esfericidad de la Tierra en lo que respecta a la navegación, así como en la recuperación del arco circular como fundamento de todo un sistema de ordenación arquitectónico.
 15. Como es sabido, una proyección es la correspondencia que se establece entre la superficie esférica del planeta y la plana de la carta que lo representa en parte o en su totalidad. De modo que, en sentido estricto, no cabe hablar de una representación de una porción de la Tierra que se halle desprovista de proyección. Vázquez Maure, F. y Martín López, J.: *Lecturas de Mapas*. Madrid 1987
 16. Ibidem, p. 125. Cap. VII. Este texto ofrece las más claras y técnicas definiciones que he encontrado sobre los sistemas de representación cartográficos. De su lectura obtuve la clave de la relación que vamos a intentar desgranar en este apartado.
 17. Si comparamos este sistema, común en la navegación por el Mediterráneo durante la Edad Media, con los fundamentos lineales de la arquitectura gótica, se puede intuir un cierto paralelismo, que no entramos a valorar, pero que intuimos interesante para futuras líneas de investigación.
 18. Selles, M.: *Instrumentos de navegación. Del Mediterráneo al Pacífico*. Barcelona, 1994, p. 40. «El crédito de la idea de posicionamiento geográfico mediante un patrón de meridianos y paralelos sobre la superficie terrestre hay que atribuirlo a Marino de Tiro, predecesor de Ptolomeo. Este último que desarrolló su obra astronómica y geográfica en Alejandría en el siglo II d.C, fue esencialmente un compilador en esta última materia...».
 19. Durero, A.: *Underweysung der Messung*. Original 1526. Consultado el facsímil editado en Portland, Oregón 1974, p. 34 y 34 v. El sistema representado por Durero parece coincidir con los aplicados para la construcción de globos terráqueos, como los realizados en cartón y yeso a finales del XV y principios del XVI. El más antiguo parece ser el conservado en Museo Germánico de Nuremberg, realizado en 1492 por Martín Behaim de Nürberg. Según Vázquez Maure, F.: *Lectura De...*, p. 237, en 1507 el lorenés Waldseemüller empleó el método de desarrollar la esfera por usos para la construcción de estos globos. La invención de este método se la atribuye a Durero.

- buye a Alberto Durero. Nebnzhal, K: *Atlas de Colón y los Grandes Descubrimientos*. Madrid, 1990, p. 27.
20. García Castillo, P.: « El manuscrito de la Cosmografía Nueva de Fernán Pérez de Oliva» en *Cosmografía Nueva*. Salamanca, 1983, p. 113.
21. *Ibidem*, p. 117.
22. *Ibidem*, p. 121.
23. Cano Pavón, J.M.: *La ciencia en...*, p. 13. Su principal contribución fue la dedicación completa, durante treinta y cuatro años, a la labor científica abarcando muy distintas disciplinas, que le permitían recoger y relacionar los informes geográficos que traían los barcos, así como realizar los exámenes a los nuevos pilotos.
24. López Piñero, J.M.: *El arte de navegar...*, p. 158. Pedro de Medina no era marino, sino un científico y hombre de letras de formación universitaria. Su principal aportación fue la de dar soporte científico a las técnicas tradicionales de la navegación, y sobre todo difundirla. Como ejemplo sus cuatro obras impresas *Libro de Cosmografía* (1538), *Coloquio de Cosmografía* (1543), *Summa de Cosmografía* (1550), *Summa de Sevilla* (1561). Respecto a Martín Cortés, quién fija su residencia en Cádiz desde 1530, escribe *Breve compendio de la sphaera y del arte de navegar* (1545) impreso también en Sevilla en 1551.
25. Cano Pavón, J.M.: *La Ciencia en...*, p. 15. Al referirse al papel de Hernando Colón en la Casa de la Contratación; «participó en diversas ocasiones en los trabajos del centro, y puede incluirse entre el personal científico de la Casa», citando a López Piñero, J.M. et al.: *Diccionario Histórico de la ciencia moderna en España*. (2 vol.). Barcelona, 1983.
26. Barbé-Coquelin de Lisle, G.: *El tratado de arquitectura de Alonso de Vandelvira*. Facsímil editado en Albacete 1977. p. 138. El modelo descrito en este folio es, en palabras de A. de Vandelvira «principio y dechado de todas las capillas romanas porque así en el romano los arcos son redondos y a medio punto y no apuntados como en el moderno así todas las maneras de cerramientos de capillas guardan esta misma orden y su regla general es esa otra redonda, la cual se labra con la misma cercha de su circunferencia como un arco de medio punto».
27. Martín Cortes desarrolló su actividad en torno a la mitad del siglo XVI, llegando a publicar su *Arte de Navegar* (1551), dedicado a Carlos I, en el que recoge algunas de las correcciones de estos errores, introduciendo escalas de latitudes en grados.
28. Barbé Coquelin De Lisle, G.: *El Tratado de...* Título LXXV: Razón y discreción de la capilla redonda en vuelta esférica. fol 61v.
29. López Piñero, J.: *El arte de Navegar...*, p. 214. Este científico, como lo denomina Piñero, fue catedrático de navegación y cosmógrafo mayor del rey, puesto que ocupó desde 1539, aunque su actividad no estaba conectada con la del Concejo de Indias, desconexión que intento superar, hasta 1571, fecha en la que murió. En torno a la figura de los cosmógrafos reales se creó en Madrid la Academia de Matemáticas en 1582, que viene a unir los caminos hasta este momento aparentemente paralelos de la cosmografía y la arquitectura.
30. López Piñero, J.: *Ciencia y técnica...*, p. 204. García de Céspedes fue primer piloto mayor de la Casa de la Contratación, y luego Cosmógrafo del Concejo de Indias en la Corte. Utilizó los escritos de Nunes.
31. Pedro de Pinelo, canónigo de la Catedral, ha demostrado ser una pieza clave en la definición de uno de los espacios renacentistas más paradigmáticos y fundacionales, la Sacristía Mayor. Su cúpula, cerrada en 1543, es la primera con forma esférica sobre pechinas de todo el renacimiento peninsular. Sobre la dimensión de este personaje ver Morales, A.J.: *La Sacristía Mayor de la Catedral de Sevilla*. Sevilla, 1984.