



El módulo constructivo y la orientación del Palacio de Carlos V de Granada: arte, geometría y símbolo

Álvaro Martínez-Sevilla¹; José P. Cruz-Cabrera²

Recibido: 19 de diciembre de 2020 / Aceptado: 14 de septiembre de 2020

Resumen. El presente artículo es fruto de la aplicación del software matemático GeoGebra como herramienta analítica e interpretativa en el estudio histórico de la arquitectura. En concreto, su utilización sobre la planimetría del Palacio de Carlos V en la Alhambra de Granada ha permitido presentar contribuciones en dos cuestiones importantes. La primera es el descubrimiento de su módulo constructivo, lo que permitiría avalar el estrecho control de Pedro Machuca en las primeras fases de su edificación. A este respecto describimos el módulo como el radio de la capilla y analizamos la modulación de los elementos que componen la planta, haciéndola coherente con su diseño *ad quadratum*. La segunda refiere a los condicionamientos relativos a la orientación geográfica del conjunto, donde discutimos sobre las argumentaciones aportadas en la singular desviación respecto a la Alhambra, para concluir que ésta viene dada por la dirección a Jerusalén, como referente doctrinal para el imperio carolino.

Palabras clave: Palacio de Carlos V; GeoGebra; icnografía; módulo constructivo; arquitectura renacentista.

[en] The construction module and orientation of the Palace of Carlos V of Granada: art, geometry and symbol

Abstract. This paper is the result of the application of GeoGebra mathematical software as an analytical and interpretive tool in the field of the historical study of architecture. Specifically, its use on the planimetry of the Palace of Carlos V in the Alhambra of Granada has allowed to present contributions on two important issues: The first is the discovery of its construction module, which would allow us to guarantee the close control of Pedro Machuca in the early phases of its construction. In this aspect, we describe the module as the radius of the chapel and analyze the modulation of the elements that make up the architectural plant, making this analysis coherent with its “ad quadratum” design. The second one refers to the conditions related to the geographical orientation of the complex, where we discuss the arguments provided in the singular deviation from the Alhambra, to conclude that this is given by the direction to Jerusalem, as a doctrinal reference for the carolinian empire.

Keywords: Palace of Charles V; GeoGebra; iconography; construction module; renaissance architecture.

¹ Universidad de Granada (España)
E-mail: asevilla@ugr.es
<https://orcid.org/0000-0002-1343-3484>

² Universidad de Granada (España)
E-mail: jcruz@ugr.es
<https://orcid.org/0000-0003-1306-8365>

Sumario: 1. Introducción. 2. GeoGebra como herramienta aplicada a la historia de la arquitectura. 3. Un ejercicio icnográfico: el módulo constructivo del palacio, del radio de la capilla al sistema *ad quadratum*. 4. La construcción geométrica de la Planta Pequeña del palacio. 5. La posición en el conjunto alhambrense y la orientación geográfica. 6. Conclusiones. Referencias.

Cómo citar: Martínez-Sevilla, A; Cruz-Cabrera, J.P. (2021) El módulo constructivo y la orientación del Palacio de Carlos V de Granada: arte, geometría y símbolo. *Arte, Individuo y Sociedad* 33(1), 29-47.

1. Introducción

El Palacio de Carlos V en la Alhambra de Granada es sin duda alguna uno de los edificios singulares del Renacimiento español. Así lo pregonan su marcadísimo italianismo y su asociación con una de las figuras conspicuas en la introducción del nuevo estilo “a lo romano” en la Península Ibérica -Pedro Machuca, una de las llamadas “Águilas” por Francisco de Holanda en 1540, junto con Bartolomé Ordóñez, Diego de Siloe y Alonso de Berruguete- y con el mecenazgo imperial. El palacio se constituye como el primero erigido *ex novo* por el monarca con un criterio representativo del Estado Moderno y como núcleo fundamental de la Granada quinientista en la configuración de un proyecto de ciudad cortesana, junto con el conjunto catedralicio y de la Capilla Real, concebido como panteón de los Austrias hasta el viraje filipino hacia la fundación escurialense (Cruz, 2009: 65-152).

Por su importancia, ha sido objeto de atención por parte de la historiografía artística, especialmente a partir de la extensa y encomiable monografía que le dedicara el hispanista Rosenthal (1988), donde analizó pormenorizadamente su historia constructiva, sus significaciones y sus relaciones artísticas con ejemplares del ambiente romano en las décadas de 1520 y 1530, ligados a la actividad edilicia de artífices tan importantes como Rafael, Bramante, Francesco de Giorgio Martini, Giulio Romano, Perino del Vaga, Jacopo Sansovino, Antonio Sangallo el Joven o Baldassare Peruzzi, entre otros. Ello da una idea cabal de por qué el prototipo granadino podría considerarse como uno de los máximos ejemplos de clasicismo en la periferia del renacimiento itálico, hasta el punto de haber sido caracterizado por Tafuri como un “meteorito casualmente clavado en la Alhambra” (1987: 105), ajeno a la evolución de la arquitectura granadina coetánea, por lo que se entiende así la afirmación del cronista Santa Cruz, en su obra manuscrita de 1552, acerca de ser “el edificio tan costoso y soberbio que mejor se pudiera decir edificio romano que no castellano” (1920: II, 249).

Precisamente a Tafuri se debe el inicio de un debate aún no cerrado sobre la posible paternidad del conjunto. Frente a Rosenthal y la mayor parte de la historiografía española, que defienden la autoridad de Machuca en estrecha colaboración con el verdadero ideólogo del proyecto, don Luis Hurtado de Mendoza, III conde de Tendilla y alcaide de la Alhambra, para Tafuri, junto a H. Burns (1989: 575-581), y también Bury (1987: 195-196), cabe pensar en la posibilidad de un primer dibujo hoy desconocido, que pudiera deberse a Giulio Romano, en atención a la plausible mediación del nuncio papal Baldassare de Castiglione con el entorno de la corte imperial estante en Granada en 1526, cuando se generó el proyecto palatino. De esta manera, abriendo la puerta a un diseño generado en Italia se explicarían los solecismos arquitectónicos y el eclecticismo en la incorporación acrítica de motivos de diferente

progenie y cronología (monumento “modernamente antiguo e antiguamente moderno”, al decir de Tafuri) como algo derivado de una visión más propiamente pictórica, dado que Machuca, fiel escudero del poderoso Mendoza, era en esencia un pintor formado en el círculo de Rafael. Esta hipótesis ha sido seguida por otros autores, quienes, sin embargo, utilizando enfoques semejantes -un buen resumen de esta problemática puede seguirse en López y Espinosa (2001: 89-115)-, han planteado la intervención de otros artistas como Baldassare Peruzzi (Lorda, 2001), por el posible papel del cardenal Salviati y Juan Ginés de Sepúlveda como intermediarios; o Cesare Cesariano (Galera, 2000: 21-52), a partir de su nombramiento en 1528 como arquitecto imperial.

Independientemente de la discutible autoría inicial del proyecto y de la deuda directa con proyectos romanos que hacen que la relación del palacio con Machuca constituya un círculo vicioso en el sentido en que su análisis formal legitima su estancia romana antes de 1520 solo si se admite su autoría sobre las trazas (Toajas, 2007: 9), en cualquier caso quedaría fuera de toda duda el arraigo de algunas formas netamente castellanas, como la división espacial en dos alas con la capilla como nexo de unión y los zaguanes en eje, pero casi ocultando el patio en alto. Y, aunque se ha querido tildar la dirección de Machuca por parte de la historiografía foránea como una muestra ejemplar del proceder “bárbaro” en la cultura periférica al humanismo italiano y como muestra de un extremo “aggiornamiento” arquitectónico, podría decirse que este monumento levantado ciertamente en la periferia del clasicismo italiano ofrece un resultado sorprendente, “romanamente antiguo e moderno”, admitiendo la posibilidad de que las novedades posteriores a la década de 1520 quedasen justificadas mediante una segunda estancia italiana de Machuca en torno a 1535, acompañando a don Luis Hurtado de Mendoza tras la campaña de Túnez (Marías, 2000a: 107-128).

Aunque pueda haber dudas acerca de la posible intervención de un maestro italiano en un diseño inicial desaparecido, resulta indiscutible la maestría de Machuca al frente de las obras del palacio alhambrense, tanto como el papel de don Luis Hurtado de Mendoza como mentor o programador, hasta el punto de que para Marías Franco se da una conjunción ideal entre ambos, arquitecto y cliente “architector” (2016: 85-93). La historiografía más reciente sobre el conjunto, a raíz de un simposio internacional celebrado en 2014 (Galera y Frommel, 2018) sobre la planta circular en la arquitectura del Renacimiento, ha vuelto a poner de relieve las divergencias sobre el tema. Así, C. Frommel (2018: 77-120) opta por reforzar la autoría de Machuca incluyendo un hipotético regreso a Italia en la década de 1530; Lorda (2018: 267-296) y Burns (2018: 297-336) mantienen su atribución, respectivamente, a Peruzzi y Giulio Romano, aunque dando el último a Pedro Machuca como arquitecto mucho más crédito de lo que reconociera en sus escritos de la década de 1980; y, en fin, Marías (2018:121-150) pone el énfasis en la figura de don Luis Hurtado de Mendoza como conecedor de la arquitectura y tratadística de la época.

2. GeoGebra como herramienta aplicada a la historia de la arquitectura

En la actualidad resulta difícil avanzar más desde el análisis tipológico, la visión cultural o la relectura de fuentes (a falta de nuevos documentos por exhumar) en la clarificación de las diferentes interpretaciones arriba planteadas y de otras

interrogantes generadas por la compleja historia y la significación del Palacio de Carlos V. De ahí que sea pertinente la utilización de otras metodologías que ayuden a arrojar más luz sobre sus arcanos o a trazar nuevos caminos desde los que abordar su recorrido. Los trabajos desde la óptica de la geometría aplicada, como podrá verse, pueden contribuir sin duda alguna al avance del conocimiento de las ciencias sociales.

Sin embargo, en toda la historiografía dedicada al monumento apenas si se han dado pasos en este sentido, con las excepciones, de carácter general, de Casado de Amezúa (2012) y Roldán Medina (2018: 355-381). En nuestro caso, y en línea con otros trabajos publicados recientemente -como el propio de Maure y Plaza (2019: 75-91)-, realizaremos un ejercicio de *ingeniería inversa* que pretende descubrir cómo fueron el proceso de diseño y la significación derivada del mismo.

GeoGebra es un software de matemáticas dinámicas que puede ser utilizado con especial adecuación para propósitos de análisis geométrico en construcciones arquitectónicas. Permite la inserción de imágenes como fotografías, planos o alzados, posibilitando la construcción de elementos geométricos sobre ellos, mediante una gran variedad de objetos matemáticos (puntos, líneas, segmentos, cónicas, funciones, ...), y su carácter dinámico hace que podamos desplazar y ajustar la construcción a nuestra imagen de base, sin que perdamos las propiedades geométricas de la misma. Fue creado en el año 2001 por el profesor Markus Hohenwarter, en la Universidad de Salzburgo, quien actualmente es director del Departamento de Educación Matemática en la Universidad de Linz y director ejecutivo de la Fundación GeoGebra Internacional. El sitio web oficial es <http://www.geogebra.org>.

Se trata además de un software gratuito, multiplataforma y mantenido al día, lo cual hace que esté muy extendido su uso, con más de 40 millones de usuarios repartidos por todo el mundo (en 50 idiomas diferentes) y cerca de 200 institutos oficiales de formación y difusión. La existencia de tan amplia cantidad de usuarios y la disponibilidad de espacios sociales en la misma, como *GeoGebraTube*, con una activa comunidad que ha compartido ya más de un millón de aplicaciones hechas mediante el mismo, lo han convertido en la herramienta matemática de más aplicación y uso en los diferentes campos del conocimiento. Hoy en día podemos afirmar, no solo por su flexibilidad y facilidad de uso, sino además por sus aplicaciones ya puestas de manifiesto en diferentes publicaciones (Martínez, 2017), que está en condiciones de convertirse en una herramienta de análisis geométrico también en el ámbito de la historia del arte.

3. Un ejercicio icnográfico: el módulo constructivo del palacio, del radio de la capilla al sistema *ad quadratum*

El término icnografía se refiere a la delineación de la planta de un edificio, y, por extensión, a los valores visuales y simbólicos del mismo. Pocas planimetrías revelan en la historia de la arquitectura española un afán tan geometrizable y racional como la propia del Palacio de Carlos V, en la que la forma se impone a la función, a la vez que la pureza de la idea sobre la conveniencia. Desde Rosenthal se han barajado diversos precedentes y paralelos, todos ellos inmersos en la cultura artística italiana. Verbigracia: el proyecto de villa regia de Francesco di Giorgio Martini hacia 1492, el

proyecto del patio circundante del templete de San Pietro in Montorio por Bramante en 1502, el primer proyecto de Villa Madama por Antonio da Sangallo el Joven, en torno a 1516, la versión final de la misma en 1519, por Rafael, el diseño de Baldassare Peruzzi para el palacio Orsini de Roma en 1530, el plano de “villa en España” de Aristotile da Sangallo fechable hacia 1535 o, en fin, la “villa para el príncipe” incluida por Serlio en 1550 en su *Tratado* (Rosenthal, 1988: 170-173).

Con todos ellos el Palacio de Carlos V tiene en común la combinación de la planta cuadrada exterior con el patio circular, imagen ésta que evoca inmediatamente la relación armónica entre lo terrenal y lo celestial, en consonancia arquitectónica con la aspiración carolina de lograr una nueva *pax romana* bajo la unidad espiritual de la iglesia católica: la *universitas christiana*. Una interesante muestra de “sacralización de lo terrenal” que Checa Cremades relaciona con las palabras pronunciadas por Clemente VII en la ceremonial imperial de coronación: “Y la paz perpetua del imperio sea en su reino y la dignidad real relumbre en los ojos de todos y con luz muy clara resplandezca como el relámpago” (1988: 43, tomado de *La coronación imperial con todas sus ceremonias*, de Diego Gracián, 1530).

La imbricación de ambas figuras, cuadrado y círculo, es un rasgo procedente de la proyectiva italiana, desde Francesco de Giorgio Martini, a la vez que un claro punto de contacto con las grandes obras imperiales romanas, especialmente en lo que se refiere a la última, habiéndose subrayado la doble relación de la catedral granadina con el Panteón de Agripa y del patio del palacio carolino con el Teatro Marítimo de la Villa Adriana en Tívoli, con el que coincide incluso en sus 42 metros de diámetro (Bustamante y Marías, 1982: 103-115; Galera, 1996: 25). Sin embargo, la presencia de la capilla octogonal en un ángulo, formando una bisectriz que claramente divide el palacio en dos alas diferentes, como bien explicita el profesor Galera, viene a separar el prototipo español de los planteamientos italianos, que se mantienen más en la esfera de lo ideal que de lo pragmático (Galera, 1995: 20).

Ya Biget, Hervé y Thébert (1985: 244-279) llamaron la atención en su día sobre la presencia de tres figuras geométricas diferentes, cuadrado, círculo y octógono, en la planta del palacio, sometiéndolas a interpretación simbólica: la vida terrena, la eternidad y la vida celestial, recordando a su vez la propuesta de división tripartita propuesta por Marsilio Ficino entre cuerpo, alma y espíritu, (Delgado, 2017: 61), de forma que el octógono, síntesis imperfecta entre las otras dos figuras, sería una vía de purificación entre el primero y el segundo, al igual que el espíritu sirve de unión entre cuerpo y alma. Otros autores han insistido también en la importancia de simbolismos religiosos: la octava como día de la resurrección completando la semana terrenal y como trasunto de la Jerusalén Celeste (Brentjes, 1987: 87-96).

Lo que está fuera de toda duda, por más que el octógono como capilla cortesana tuviera ilustres precedentes arquitectónicos, como la Capilla Palatina de Aquisgrán, donde Carlos fue coronado rey de romanos en 1520 y con la que casi coincide en diámetro (Henssler, 1993-94: 235), es que por sus dimensiones y ubicación justo en el punto de enlace entre la nueva fábrica carolina y los dos grandes palacios nazaríes, Comares y Leones, estaba destinada a tener un papel importante en el diseño de proyecto, más allá de la reducción del esquema constructivo del conjunto a la unión del círculo al cuadrado. En este sentido, para Delgado Pérez, al evocar su relación tanto con los palacios nazaríes como con la vecina Rauda, se define la capilla como:

un santuario en el que la planta octogonal juega un papel protagonista indiscutible: marca el eje axial de la obra carolina; señala en sentido este-oeste los accesos al espacio sagrado tanto desde el patio circular renacentista como desde el palacio del Sultán; y comunica el espacio de los vivos y los muertos tanto desde la cripta-cueva como desde la antigua Rauda nazari. (2017: 66).

Cabe recordar uno de los primeros documentos históricos sobre los planteamientos iniciales del conjunto, en el que se alude al tamaño y orientación de la capilla y palacio, fechado el 30 de noviembre de 1527: “que la sala delantera sea grande y que en ella haya capilla para decir y oír misa ... si se pudiere, sea la capilla de manera que de arriba y abajo y por entrambas partes se pueda oír misa” (Rosenthal, 1988: 281). Para Antón Capitel (1988: 89-110), su importancia es tal que actúa como “rótula unitaria” del área palatina de la Alhambra, como lugar de comunicación entre las viejas construcciones nazaríes con el nuevo edificio clasicista. El análisis matemático de la planta del palacio mediante el software matemático GeoGebra no hace sino confirmar esta sospecha acerca de la importancia de la capilla en el diseño general del conjunto.

Desde Rosenthal se ha estudiado el módulo constructivo del Palacio de Carlos V como una consecuencia del principio geométrico de reduplicación del cuadrado perimetral, que circunscribe sucesivamente circunferencias (Rosenthal, 1988: 63; Marías, 2000a: 114). En efecto, si se realiza un proceso a la romana *ad quadratum*, podemos partir de la planta del palacio (remarcada en verde claro) para inscribir un primer cuadrado tomando como vértices los puntos medios de los lados (en marrón), y que por tanto ocupa la mitad de superficie que el cuadrado original y tiene por lado uno en proporción $2/\sqrt{2}$, lo que se deduce utilizando trigonometría elemental. El proceso podemos reiterarlo tres veces más, obteniendo los cuadrados de colores celeste, amarillo y verde intenso, con iguales relaciones entre cada uno y el precedente del que deriva.

Estos cuadrados, recurrentemente inscritos unos en otros, definen las piezas básicas del palacio. El primer cuadrado (verde) contiene toda la planta del palacio. El segundo cuadrado (marrón), determina la circunferencia inscrita (beige) que marca la línea externa, incluyendo el muro perimetral del patio circular. Esta circunferencia es, a su vez, la circunscrita al tercer cuadrado (celeste). Entre el tercer y el cuarto cuadrado (amarillo) se produce un proceso similar. La circunferencia inscrita en el cuadrado celeste y circunscrita en el amarillo define la colocación de la línea de columnas de la parte peristilada del patio, el segundo de los círculos.

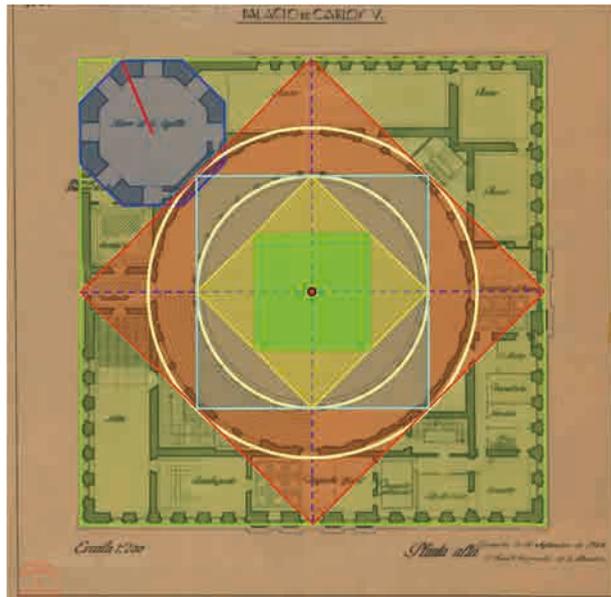


Figura 1. Diseño geométrico de la planta. Fuente: Elaboración propia.

Queda así un espacio modulado por el *gran número* dado por el radio del octógono, n . Este polígono de 8 lados no solo articula el palacio con los viejos palacios alhambreños, sino que su radio define la cuadrícula a partir de la cual se expande la planta del mismo. El radio del octógono exterior que la configura (o del círculo que la circunscribe) se constituye en el módulo geométrico o *gran número*, n , de la construcción, a partir del cual se obtiene el resto: El lado del palacio es $6n$, el radio del patio medido hasta el muro es de $2n$, el radio del círculo que define la posición de las columnas del peristilo es de $(3/2)n$, medido hasta el interior de las mismas, es decir el segundo de los dos círculos externos en la Figura 3, y por tanto la distancia desde el círculo del muro interior del patio hasta el exterior del muro que delimita la planta es de nuevo n .

La planta del palacio puede mirarse como un espacio reticulado, una cuadrícula cuya unidad base es n , dibujada en la Figura 2 por las líneas celestes discontinuas. Sin embargo, esta cuadrícula solo define el segundo de los círculos concéntricos, el que marca la distancia hasta el muro interior del patio. El otro círculo, el que coincide con la línea peristilada de columnas exentas, está definido por unidades a la mitad de esta cuadrícula dibujada.

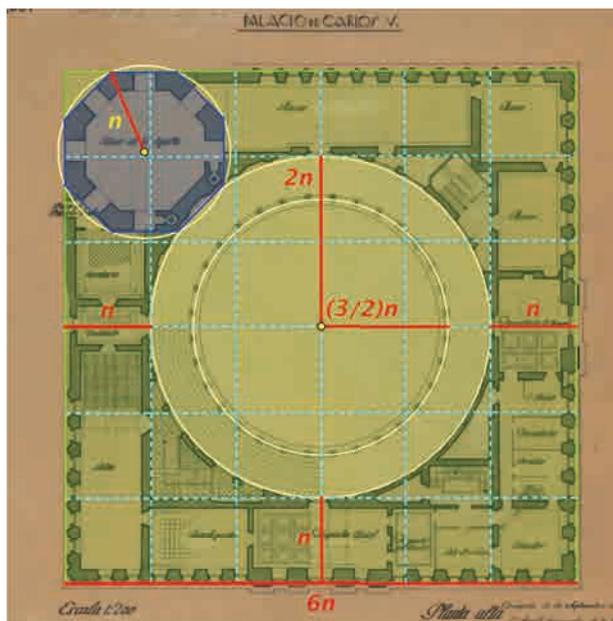


Figura 2. Modulaci3n por el *gran n3mero* n y reticulado del palacio. Fuente: Elaboraci3n propia.

El punto de conexi3n entre ambas construcciones, la verdadera proeza arquitect3nica, resulta del encaje perfecto del oct3gono que conforma la capilla en una de las esquinas del cuadrado, excedentes del c3rculo que delimita el patio perimetralmente y que est3 inscrito en el primer proceso *ad quadratum*. Dado que el espacio disponible en estas esquinas, desde el c3rculo hasta el v3rtice del cuadrado que delimita la planta es de $(3/\sqrt{2})n$, bastar3a con insertar un oct3gono de lado igual a $l \approx 0.727 n$ para ajustar la construcci3n³. Pero el procedimiento constructivo es m3s elaborado, permitiendo aprovechar el muro perimetral del patio interior tambi3n como muro de la capilla para insertar en la planta un oct3gono de dimensiones mayores, en concreto de valor $l \approx 0.765 n$, lo que supone un ligero aumento en el tama1o del lado y un m3s que notable aumento en la superficie total de la capilla. Es posible que este ajuste agrandado al l3mite sea consecuencia de los deseos de Carlos en 1527, antes referidos, de proveer de mayor tama1o a la capilla del palacio (Rosenthal, 1988: 280).

El centro del oct3gono aparece desplazado con respecto a las intersecciones de esa cuadr3cula, ya que el c3rculo que lo inscribe no es tangente con el cuadrado que define la planta del palacio, sino que 3sta delimita al oct3gono en s3, por lo cual la diferencia en su posici3n es la diferencia medida, en ambas coordenadas, entre el radio y la apotema, como ahora veremos.

³ Para encontrar el primer valor basta utilizar trigonometr3a elemental, teniendo en cuenta que el lado del tri3ngulo formado en las esquinas tiene valor $3n$. Para obtener el segundo valor hay que expresar la apotema en funci3n del radio, seg3n las f3rmulas anotadas justo debajo y tener en cuenta c3mo es la construcci3n del oct3gono inscrito en un cuadrado descrito en esta referencia, lo que lleva a la ecuaci3n $2 ap + (l/2) = 3n/\sqrt{2}$ (Mart3nez, 2017: 91-96).

La construcción geométrica del octógono de la capilla no es simple, pues si lo dibujamos sobre el reticulado del palacio dado por el radio, n , de la misma, su centro no coincide con el de la primera intersección de cuadrados modulares (punto rojo en el cruce reticular), dado que este punto daría una apotema del octógono de medida n , así como un radio de medida mayor. El ajuste podría hacerse por aproximación, moviendo el contorno de un octógono de radio n , hasta hacer coincidir dos de sus lados con los del cuadrado (verde) que define la planta del palacio. Pero existe un procedimiento geométrico, que Machuca, conocedor sin duda, como pintor, de la geometría de polígonos, pudo ejecutar para el diseño de la planta. Es el siguiente:

- i) En primer lugar, determinamos la relación entre el radio n , y la apotema, Ap , o el lado, L , de un octógono regular cualquiera. Ésta viene expresada a partir de la relación trigonométrica dada por el triángulo rectángulo Ap -Radio-Lado/2, cuyo ángulo agudo mide $\pi/8$.

$$\text{Lado} = 2 \cdot Ap \cdot \tan (\pi/8), \text{ lo que viene a dar: Lado} \approx 0.828 \cdot Ap$$

$$\text{Radio} = (\text{Lado}/2) \cdot ((\sqrt{\tan (\pi/8)^2+1}) / (\tan (\pi/8)))$$

lo que viene a ser aproximadamente: $\text{Radio} \approx 1.306 \cdot \text{Lado} \approx 1.306 \cdot 0.828 \cdot Ap$

- ii) Luego trazamos dos rectas paralelas a los lados del retículo y a una distancia Ap , determinada a partir del $\text{Radio } n$, obtenido en el punto anterior, de cada uno de los lados exteriores del palacio en donde se encajará el octógono (dibujadas en color claro en la Figura 3).
- iii) Finalmente hacemos la intersección de estas dos rectas. El punto resultante (en amarillo en la Figura 3) resultará el centro de nuestro octógono buscado, con $\text{Radio } n$ y lados coincidentes con los del cuadrado delimitador de la planta (por tanto, *octógono máximo*).
- iv) Además, los dos vértices más interiores (próximos al patio central) de la capilla (mostrados en Figura 3 con puntos celestes) resultan de la intersección del círculo que inscribe al octógono de la misma (en amarillo discontinuo) con el círculo interior que define el muro circular del patio (en amarillo continuo).

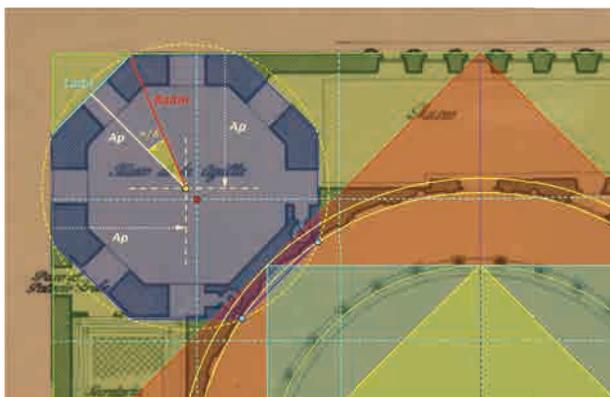


Figura 3. Trazado del octógono a partir del diseño de planta. Fuente: Elaboración propia.

Esta sucesión de cuadrados así construida enmarca, pues, los tres objetos simbólicos en la geometría del palacio, el cuadrado, los dos círculos del patio y el octógono de la capilla, mostrando de forma completa las relaciones de tamaño y posición que existen entre ellos, y definiendo su construcción. Podríamos preguntarnos por la motivación de tanto esfuerzo constructivo cuando bastaría con reducir, solo un poco, las dimensiones de la capilla. La razón creemos encontrarla aquí: en este proceso el diseño no se hace desde la planta del palacio hacia la capilla, sino al revés, desde la capilla hasta la planta general del palacio.

Resumiendo, de la importancia proyectual dada a la capilla en su relación con el conjunto del palacio se pueden derivar dos conclusiones diferentes. La primera, habida cuenta del control geométrico sobre todo el conjunto en las fases sucesivas de tanteos con las tres plantas a las que se alude a continuación, podría redefinirse la figura de Pedro Machuca más allá de un simple ejecutor de un modelo de prosapia italiana que le fuera ajeno, para retomar la hipótesis ya defendida por Rosenthal acerca de la autoría del toledano junto al personaje inspirador de la idea, don Luis Hurtado de Mendoza. Por su formación de pintor es evidente que Machuca tenía buenos conocimientos de geometría, pero otra cosa es llevarlos a la práctica en un conjunto tan monumental, sin perder nunca de vista la correspondencia numérica entre las partes. Así se explica la carta de 27 de febrero de 1528 que envió al monarca el marqués de Mondéjar, con su intención de hacer “un modelo de madera para que mejor se vea la gracia y proporción que ha de tener, y se entienda y se conozca lo que ahora por la traza no se conoce tan claro”, es decir, una maqueta para entender, en términos albertianos, “la gracia y proporción” del modelo (Rosenthal, 1988: 281).

Por otro lado, la consideración de la capilla como principio modular de todo el conjunto nos lleva a otorgarle un papel simbólico y programático mayor. De la misma forma que se ha defendido la significación de la capilla mayor catedralicia como imagen del Santo Sepulcro de Jerusalén, acorde con la herencia política y espiritual de Carlos V (Rosenthal, 1961), podría plantearse la equiparación de la capilla como imagen del templo de Salomón, más evidentemente en la versión medieval basada en las descripciones de los peregrinos de la Mezquita de la Roca, que en la construcción basilical auspiciada a partir del complejo escurialense filipino (Delgado, 2017: 66). Una idea sugerente, que marca una línea de continuidad entre las alusiones veterotestamentarias del Patio de los Leones con el conjunto imperial bajo el prisma del lenguaje clásico, y que además contribuye a definir la imagen simbólica de Granada no solo como Nueva Roma, sino también como Nueva Jerusalén Terrenal.

4. La construcción geométrica de la Planta Pequeña del palacio

Otra de las disyuntivas que afectan a la comprensión histórica del Palacio de Carlos V es la relativa a las tres trazas que se conservan del edificio, dadas a conocer ya por Gómez-Moreno (1941:106): el Plano Grande de la Biblioteca del Palacio Real, la Planta Pequeña y el conservado en el Archivo Histórico Nacional. El estudio de su secuenciación y sentido ha dado pie a dos variantes fundamentales (López y Espinosa, 2001: 92-97, ofrecen un buen estudio al respecto): el Plano Grande, que presenta la inserción del palacio en el conjunto de la Casa Real Vieja, se haría por Machuca en

torno a 1529, incorporando las exigencias de Carlos ya citadas sobre la capilla y gran sala delantera, amén de dos plazas a poniente y mediodía para caballerizas y oficinas. Le seguiría inmediatamente el dibujo del Archivo Histórico Nacional, con serias modificaciones al plan inicial de Machuca, al diseñar un anillo columnado y un peristilo circular, mediante arcos sobre pilares con columnas adosadas; un proyecto debido a Luis de Vega (Rosenthal, 1988: 35-46) o más bien a Diego de Siloe (Marías, 2000a, 107-128), por la semejanza con las soluciones constructivas planteadas por éste en el colegio Fonseca de Salamanca en 1529. Finalmente, la Planta Pequeña se haría por Machuca después de 1539 -una vuelta clarificada y en limpio al Plano Grande-, cuando replantea el patio circular con un pórtico adintelado de columnas dóricas y un muro perimetral continuo.

Delfín Rodríguez (2001: 419-447) ha propuesto una secuencia muy diferente: Primero Machuca diseñaría la planta del Archivo Histórico Nacional, antes de 1532, cuando se materializa una maqueta en madera con arcos de medio punto en el peristilo, por lo que Machuca habría influido en Siloe y no al contrario. El Plano Grande podría datar como poco de 1542, cuando es enviado a Toledo en una “caja de hoja de Milán”, e incluso redibujado posteriormente, pues entre las leyendas del mismo hay una referencia a la “Torre de Añasco”, por Pedro de Añasco, a quien en 1545 se le concedió la alcaidía de la Torre del Homenaje en la Alcazaba. Y, en fin, la Planta Pequeña sería una puesta en limpio del anterior, hacia 1550. La clave está en entender el Plano Grande no como un dibujo proyectual, sino como un levantamiento en el que con diferentes trazos aparecen edificaciones sucesivas en el tiempo, como los aposentos del emperador en la Casa Real Vieja, construidos entre 1527 y 1533.

Aquí hemos realizado un análisis matemático mediante el software GeoGebra, de la aludida Planta Pequeña, por entender que ésta, como versión clarificada y definitiva del proceso constructivo del palacio, guarda mayor relación con el levantamiento material del conjunto, al tiempo que no deja lugar a dudas sobre su autoría o adscripción a Pedro Machuca.

Partiendo del diseño geométrico *ad quadratum* de la planta del palacio, con hasta 4 cuadrados inscritos en el cuadrado que definen los muros perimetrales del palacio, podemos relacionar las plantas definidas para las plazas occidental y de mediodía. Ambas se conformarían como patios porticados, rodeados de una columnata definitoria del espacio ceremonial, siendo mayor la del lado occidental, frente a la fachada principal asociada al emperador, y menor la meridional, delante de la fachada sur, tradicionalmente asociada a los cuartos de la emperatriz Isabel de Portugal (Rosenthal, 1988: 36). Estas plazas, que no llegaron a construirse, fueron una de las exigencias del monarca en su carta ya antes aludida de 1527.

La plaza o patio de honor occidental se plantea a partir del primer cuadrado inscrito (en azul) en la Figura 4 en el cuadrado de planta del palacio (en rojo), definiendo el lado menor de su parte porticada, mientras que el lado mayor se construye a partir del menor utilizando una de las proporciones matemáticas de más significación en el Renacimiento: la proporción áurea. Ello permite disponer de un patio adosado al lado occidental del palacio que cubre toda su longitud y la supera ligeramente, de forma que queda un espacio longitudinal de conexión, a modo de pasillo, con el otro patio.

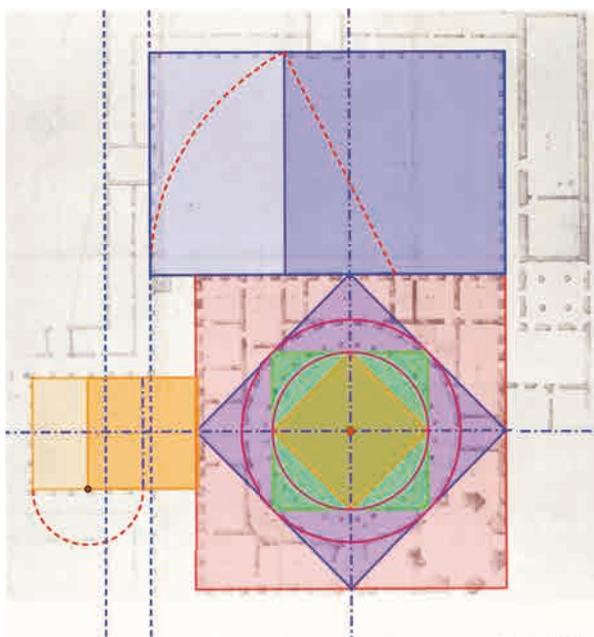


Figura 4. Geometría de los patios en la *Planta Pequeña*. Fuente: Elaboración propia sobre plano de Pedro Machuca de la Biblioteca Nacional. 1531.

Mientras tanto, el patio de honor meridional se define, en su parte porticada, a partir del tercer cuadrado inscrito (amarillo) adosándolo a la parte central de la fachada sur, centrado sobre la portada decorada con figuras mitológicas oceánicas. Este patio también se agranda, pero en lugar de hacerlo como el occidental, en sentido de la fachada del palacio, lo hace en sentido perpendicular al mismo, con un factor de proporción $3/2$. Hay que recordar que esta fachada meridional ya está recorrida por el *pasillo* de conexión de ambas plazas, el cual estaba remarcado por un arco pétreo del que tenemos la evidencia de su diseño y el testimonio de su arranque en la construcción actual.

En conclusión, ambos espacios rectangulares se definen, en su lado menor, desde los cuadrados inscritos en el de planta del palacio en los pasos impares, esto es, desde los que están girados 45° en el diseño de planta, y tienen por tanto una relación de medida con el original del palacio expresada en función de $\sqrt{2}$. Parece buscarse así que el diseño geométrico recurrente de la planta del monumento sea también generador del mismo en otros aspectos, como el de los patios exteriores, configurándolos como un elemento de carácter funcional, pero también de contenido simbólico, y a los que cabe asignar por tanto un carácter ceremonial, además de integrar funciones administrativas y de servicio a la Corte.

5. La posición en el conjunto alhambrenño y la orientación geográfica

Otro interesante debate historiográfico gira en torno a la relación existente entre los palacios nazaríes y el conjunto imperial, la “Casa Real Vieja de la Alhambra” y la

“Casa Real Nueva”. Con su rotundidad y geometrismo planimétrico no se inserta tanto como un palacio urbano o una villa suburbana aislada cuanto como una real fortaleza en una acrópolis militar y áulica (Marías, 2000b: 201-222). Si los viajeros románticos describían con horror el edificio carolino como una agresión brutal o un atentado contra el conjunto medieval, la historiografía posterior ha minimizado su impacto, atendiendo a la pérdida solamente de una crujía, conocida como la Sala de las Helias (Vílchez, 1989: 127-165; 1991: 9-22), y a una hipotética e improbable portada palatina (García, 1988) de acceso, al tiempo que ha valorado la intervención quinientista como un garante de la conservación de todo el recinto alhambrense, al prolongar el interés de la Corona por el mismo durante los siglos subsiguientes. Además, se ha pasado de la idea de negación a la de integración entre ambos conjuntos, como una clave esencial en su lectura (Capitel, 1988: 89-110; Henssler, 1993-1994: 233-272). De esta forma, el Palacio de Carlos V obedecería a un proceso de emulación y superación sobre lo nazarí (Marías, 2000a: 112) como alternativa cristiano-romana frente al irregular recinto de la Alhambra. Así se deduce de una carta del conde de Tendilla al emperador, en mayo de 1531: “En la obra de esta casa yo tengo fin a que es la primera cosa que Vuestra Majestad manda edificar en España, y así como lo morisco es la mejor cosa que hay de su manera, así ésta lo sea por su arte” (citado por Galera, 2001: 52).

Esta voluntad de integración se muestra en un documento del monarca en el que expresa que el nuevo edificio se construya adosado por dos de sus lados a los palacios de Comares y de los Leones, si bien finalmente no fue así, quedando su muro septentrional ligeramente desviado con respecto a la crujía vecina de Comares, bien fuese para evidenciar mejor la rotundidad volumétrica de aquél, bien por otras causas, como la reiterada negativa del arzobispo de Granada en 1529 a demoler la cercana mezquita mayor de la Alhambra para liberar espacio destinado a la nueva construcción (Rosenthal, 1988: 282). Cabe considerar (Redondo, 2000: 88) que el levantamiento del palacio nuevo ocupando parte del Cuarto de Comares estuviese relacionado con las propias motivaciones del emperador acerca de la continuidad entre ambos conjuntos, de forma que los aposentos nuevos de la Alhambra, construidos entre 1527 y 1533 fuesen concebidos con función privada -y no solo de forma perentoria- y el nuevo conjunto monumental con carácter puramente representativo. De ahí también los cambios iniciales en la disposición de la capilla en el ángulo nororiental, para que fuese accesible desde ambos espacios.

El resultado final ha sido la inserción del palacio carolino en el recinto de la Alhambra con una marcada oblicuidad respecto a la Casa Real Vieja, lo que ha motivado las más diversas valoraciones, desde la “embestida a codazos” relatada por Emilio García Gómez a la admiración por su “matizada intencionalidad” o “inconsciente sabiduría” por parte de Antón Capitel (Galera, 1996: 11-32).

La orientación del palacio, por tanto, es un asunto controvertido y a la que se han dado diversas explicaciones. El edificio no está orientado siguiendo los cuatro puntos cardinales, y tiene una desviación de 11.8° sobre el Norte geográfico en su fachada oeste (o este), y de 101.8° en su fachada sur (o norte). Así que resulta muy curioso su encaje con los palacios nazaríes, que siguen muy cercanamente la orientación de los puntos cardinales. Para dicho encaje hubo de demolerse parcialmente el pabellón sur del Cuarto de Comares, dejando este llamativo, aunque arquitectónicamente inessential, ángulo de 11.8°. En el siglo XVIII, el arquitecto José de Hermosilla expresa esta idea de forma muy gráfica quejándose de la: “irregularidad de su unión, no

pudiendo investigar por qué causa ejecutarían una tan excelente obra comunicándola con la ya hecha de un modo tan extravagante no habiendo obstáculo para seguir la paralela” (Rodríguez, 1992: 106).

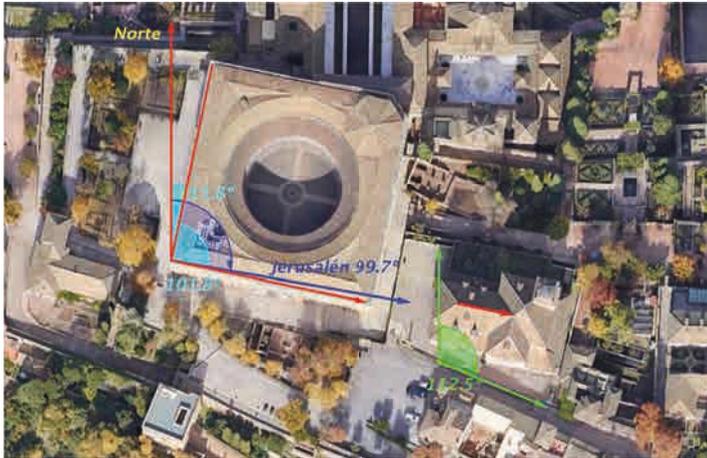


Figura 5. Orientación del Palacio de Carlos V, de la calle Real de la Alhambra y de la iglesia. Fuente: Elaboración propia sobre vista aérea de Google Maps®

Sin duda, desde un punto de vista de simplicidad constructiva, lo consecuente hubiese sido seguir la alineación norte-sur de los Cuartos Reales de la Alhambra, para colocar el Palacio de Carlos V paralelo al borde sur de ellos. Pero no fue así, y diversas razones se han argumentado para ello. Rosenthal (1988: 38-40) sostiene que la ubicación del palacio está condicionada por el aprovechamiento del espacio disponible entre el gran aljibe de los Tendilla -mandado construir en 1494 por don Íñigo López de Mendoza- y la citada mezquita; sin embargo, en puridad no habría sido estrictamente necesario para ello dotar al conjunto renacentista de la desviación existente con respecto al muro meridional del Palacio de Comares.

Gámiz (2001: 167-188) relaciona el conjunto con Villa Madama, residencia papal romana diseñada en 1519 por Rafael Sanzio y Sangallo el Joven, ambos con patios y jardines anexos. Quizás para superar a Villa Madama (más aún después del *Saco de Roma* de 1527) se proyectaron dos grandes plazas porticadas mencionadas más arriba, la mayor delante de la fachada oeste, y la segunda, bastante menor, delante de la fachada sur. No se construyeron nunca, pero aún hoy se puede observar el hueco correspondiente al arranque de un arco que uniría los pórticos de ambas. Por tanto, según Gámiz, la verdadera razón de esta extraña orientación sería la de encajar dichas plazas porticadas en la explanada existente, sin tener que derribar la muralla que une la Puerta de la Justicia con la Torre de las Rocas, con la que se superpondrían al sur en caso de disponerse paralelamente a los palacios nazaries.

Pero esta tesis en términos de espacio útil es también refutable. En la Figura 6 podemos ver la hipótesis gráfica de la colocación del edificio y sus plazas porticadas en paralelo (en color rojo) a la orientación de los palacios nazaries, y respetando el supuesto espacio de la Sala de las Helias. El monumento y sus plazas caben en el recinto fortificado, sin tener que derribar la muralla y no difieren en mucho estos

planteamientos en su relación a la cercanía a las defensas. En el caso de la plaza porticada menor, la que corresponde a su fachada sur, casi roza la muralla en su hipotética nueva ubicación, pero esta es, como hemos visto, una plaza no principal ni definida por una proporción de simbolismo especial. ¿No podían redimensionarse ligeramente las plazas, que de hecho nunca llegaron a construirse, para acomodarlas más holgadamente a la muralla delimitadora del recinto? A la luz de los planos y de las posiciones posibles del espacio a construir no parece, pues, que este argumento sea tampoco adecuado como para forzar el derribo de la sala meridional del Palacio de Comares.



Figura 6. Hipótesis sobre planta y patios del palacio con orientación este y actual.

Por su parte, Casado (2012: 71-84) ha sido el primero en establecer una explicación más allá de lo meramente funcional o acomodaticio. Su oblicuidad respecto a los palacios de la Casa Real Vieja se debería a una orientación consciente en dirección a Tierra Santa, recordando así, al igual que ocurre con la Catedral de Granada como proyecto de panteón cortesano, la titulación del monarca, por derecho propio y legítimo, como rey de Jerusalén. No obstante, yerra al calcular la orientación⁴. También referencia la cercanía de la Iglesia de Santa María de la Alhambra -construida parcialmente sobre el solar de la antigua mezquita mayor demolida en 1576- que asimismo se orientaría hacia Jerusalén, como puede verse en la Figura 5, en el vector paralelo a la orientación del palacio que recorre la divisoria de aguas y eje de la nave principal en la cubierta de la misma. Este último dato

⁴ En realidad Casado de Amezúa establece en 9.87° SE la orientación del palacio, con una diferencia de 2° con respecto a la calculada por nosotros, concluyendo que se diferencia en poco con los 8.32° de diferencia de latitud entre Granada y Jerusalén. Esta comparación no es procedente, ya que en la orientación intervienen de forma obvia no solo la latitud, sino también la longitud, y además tampoco es concordante con el dato que figura en el gráfico que aparece en esas mismas páginas de 5.82° como diferencia de latitud, mucho más ajustado a la realidad. Para salvar estos errores de concepto, tendría que comparar la cantidad inicial (la orientación del palacio) con los 10.96° SE que él mismo obtiene de orientación entre Granada y Jerusalén en el gráfico descrito solo dos páginas más adelante.

viene a reforzar la idea de que la iglesia siguió conscientemente la orientación del palacio por su significación, ya que para ella no había restricciones de espacio ni acomodaticias en su lugar de ubicación.

Sobre un mapa actual con proyección Mercator, la dirección que se obtiene desde Granada a Jerusalén es de 99.7° desde el Norte verdadero, calculado mediante GeoGebra con la orientación del mapa al Norte y los puntos colocados sobre las dos ciudades. En realidad, esta dirección es, a brújula constante, de 99.61° , lo que muestra la buena precisión de nuestro método de cálculo gráfico. La desviación, pues, en la orientación del Palacio de Carlos V respecto de la dirección de Jerusalén es de unos 2° , y en los mapas de la época, y con las mediciones de coordenadas de entonces, no debía de variar apenas, a pesar del deficiente conocimiento del aspecto del Mediterráneo en aquellos tiempos.

La tesis de Rosenthal habría sido el ligero desplazamiento del monumento hacia el este y su articulación en paralelo con los palacios nazaríes (1988: 37-38), todo ello a partir de una carta del arzobispo de Granada a la reina doña Isabel de Portugal, fechada en 1529, en la que ponía trabas al derribo de la antigua mezquita mayor. Sin embargo, como se observa en el Plano Grande de la Alhambra, se conformó el conjunto con una clara desviación de 11 grados respecto a los cuartos de Comares y Leones (no los 7 citados por Marías, 2000a: 11), innecesaria desde el punto de vista funcional. Parece pues claro que la explicación más coherente a la orientación del palacio es la de su mirada a Jerusalén como inicio de una simbólica unión de peregrinaje entre la residencia granadina del emperador y el templo del Santo Sepulcro, y en recuerdo de cómo los reyes hispanos ostentaban el título de monarcas hierosolimitanos.

Por otra parte, esta precisión, desde nuestro punto de vista, es sin duda deliberada y además está en consonancia con otros reflejos de la importancia de la ciudad santa como hito doctrinal y utópico en la iconografía y decoración del propio palacio. Así, en una de las dos esferas cartográficas presentes en los bajorrelieves que adornan los pedestales de las columnas en la fachada occidental aparece marcada, en la de la derecha, como un claro ecuador terrestre, la dirección entre Roma y Jerusalén, vieja y nueva sede referencial para el imperio carolino, mientras que la de la izquierda tiene como centro el sur de la Península Ibérica, como alusión a Granada (Martínez y Cruz, 2021, remitido para publicación). Hay que recordar que el monasterio de El Escorial, mandado construir por el hijo de Carlos V, el monarca Felipe II, se orienta también exactamente según la misma dirección, la de 101.8° (salvo precisión de la medición, que cifraríamos en las décimas de grado), que por otra parte era la dirección de orientación de numerosos edificios religiosos.

6. Conclusiones

Mediante análisis matemático con un software de geometría dinámica como *GeoGebra* hemos podido descubrir el módulo constructivo del Palacio de Carlos V como el radio de la capilla octogonal del mismo. De esta manera se marcan no solo las dimensiones del conjunto mediante un espacio reticulado al que se ajustan patio y planta, sino que además este módulo se hace coherente con el diseño, mediante geometría *ad quadratum*, del propio edificio, como una generación de espacios regida por las leyes inmutables y recurrentes de la geometría y que permiten la

transición desde el cuadrado al círculo, y el encaje del octógono entre ellos, como las tres figuras matemáticas de su composición.

Respecto a la orientación cabría concluir que el espacio de explanada disponible sería una limitación, pero que no impediría una mejor conexión con los palacios nazaríes, como deseaba el propio emperador, redimensionando, en todo caso, las plazas anexas. También parece patente el deseo de contraste en la orientación de nuestro palacio con el Cuarto de Comares, definiendo no solo un nuevo estilo arquitectónico más rotundo, sino además una orientación guiada por principios religiosos e históricos distintos.

Referencias

- Biget, J.L., Hervé, J.C. & Thébert, Y. (1985). Expressions iconographiques et monumentales du pouvoir d'État en France et en Espagne à la fin du Moyen Age: l'exemple d'Albi et de Grenade. En *Culture et idéologie dans la genèse de l'État moderne*, Actes de la table ronde de Rome (15-17 octobre 1984) (pp. 244-279). Rome: Ecole Française de Rome, 1985.
- Brentjes, B. (1987). El palacio de Carlos V de la Alhambra, símbolo de dominio imperial sobre la Tierra y el Cosmos. *Cuadernos de la Alhambra*, 23, 87-96.
- Burns, H. (2018). Was Giulio Romano the architect of the Palace of Charles V in the Alhambra? En P.A. Galera Andreu & S. Frommel (eds.), *El patio circular en la arquitectura del Renacimiento. De la Casa de Mantegna al Palacio de Carlos V* (pp. 277-336). Sevilla: Universidad Internacional de Andalucía.
- Burns, H. & Tafuri, M. (1989). La fortuna di Giulio Romano architetto. Da Serlio all'Escorial. En *Giulio Romano* (pp. 575-581). Milano: Electa.
- Bury, J. (1987). The Palace of Charles V in Granada by E.E. Rosenthal. *The Burlington Magazine*, 1008, 195-196.
- Bustamante García, A. & Marías Franco, F. (1982). La catedral de Granada y la introducción de la cúpula en la España del Renacimiento. *Boletín del Museo e Instituto Camón Aznar*, 8, 103-115.
- Capitel, A. (1988). *Metamorfosis de monumentos y teorías de la restauración*. Madrid: Alianza.
- Casado de Amezúa, J. (2012). *Las Casas Reales de la Alhambra. Geometría y Espacio*. Granada: Universidad.
- Checa Cremades, F. (1988). Imperio universal y monarquía católica en la arquitectura áulica española del siglo XVI. En E.E. Rosenthal (dir.), *Seminario sobre arquitectura imperial* (pp. 11-43). Granada: Universidad de Granada.
- Cruz Cabrera, J.P. (2009). Desarrollo de la arquitectura en Granada. En R. López Guzmán (coord.), *Arquitectura doméstica en la Granada Moderna* (pp. 65-152). Granada: Fundación Alcaicín.
- Delgado Pérez, M.M. (2017). El palacio de Carlos V en el conjunto monumental de la Alhambra. En F. Roldán Castro & A. Contreras Rey (coords.), *Paisajes, espacios y objetos de devoción en el Islam* (pp. 17-70). Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Frommel, C.L. (2018). Il Palazzo di Carlo V a Granada e Pedro Machuca. En P.A. Galera Andreu & S. Frommel (eds.), *El patio circular en la arquitectura del Renacimiento. De la Casa de Mantegna al Palacio de Carlos V* (pp. 77-120). Sevilla: Universidad Internacional de Andalucía.

- Galera Andreu, P.A. (1995). El Palacio de Carlos V. la idea arquitectónica. En P.A. Galera Andreu, (coord.), *El Palacio de Carlos V. un siglo para la recuperación del monumento* (pp. 13-66). Granada: Comares.
- Galera Andreu, P.A. (1996). La Alhambra: del palacio nazarí al palacio de Carlos V. En *Palacios reales en España. Historia y arquitectura de la magnificencia* (pp. 11-32). Madrid: Visor.
- Galera Andreu, P.A. (2001). Carlos V y la Alhambra. En P.A. Galera Andreu (com.). *Carlos V y la Alhambra* (pp. 21-52). Granada: Junta de Andalucía.
- Galera Andreu, P.A. & Frommel, S. (eds.) (2018). *El patio circular en la arquitectura del Renacimiento. De la Casa de Mantegna al Palacio de Carlos V.* Sevilla: Universidad Internacional de Andalucía.
- Gámiz Gordo, A. (2001). *La Alhambra Nazarí. Apuntes sobre su paisaje y arquitectura.* Sevilla: Universidad de Sevilla.
- García Gómez, E. (1988). *Foco de antigua luz sobre la Alhambra: Desde un texto de Ibn al-Jaṭīb en 1362.* Madrid: Instituto Egipcio de Estudios Islámicos en Madrid.
- Gómez-Moreno Martínez, M. (1941). *Las águilas del Renacimiento español.* Madrid: C.S.I.C.
- Henssler, R. (1993-1994). Una visión en piedra: el palacio de Carlos V y la idea de Imperio Universal. *Cuadernos de la Alhambra*, 29-30, 233-272.
- López Guzmán, R. & Espinosa Spínola, G. (2001). *Pedro Machuca.* Granada: Comares.
- Lorda Iñarra, J. (2001). La arquitectura de Carlos V. Una hipótesis sobre Peruzzi en Granada. *Cuadernos de la Escuela Diplomática*, 17.
- Lorda Iñarra, J. (2018). La perfección esquiva. Problemas de la arquitectura centralizada: Granada y Cádiz. En P.A. Galera Andreu & Frommel (eds.), *El patio circular en la arquitectura del Renacimiento. De la Casa de Mantegna al Palacio de Carlos V* (pp. 267-297). Sevilla: Universidad Internacional de Andalucía.
- Marías Franco, F. (2000a). El palacio de Carlos V en Granada. Formas romanas, usos castellanos. En M.J. Redondo Cantera & M.A. Zalama Rodríguez (coords.), *Carlos V y las artes. Promoción artística y familia imperial* (pp. 107-128). Valladolid: Junta de Castilla y León, y Universidad de Valladolid.
- Marías Franco, F. (2000b). La Casa Real Nueva de Carlos V en la Alhambra: letras, armas y arquitectura entre Roma y Granada. En *Carlos V: las armas y las letras* (pp. 201-222). Madrid: Sociedad Estatal para la Conmemoración de los Centenarios de Felipe II y Carlos V.
- Marías Franco, F. (2016). Don Luis Hurtado de Mendoza y la arquitectura de la Alhambra. En R. López Guzmán (com.) *Los Tendilla, señores de la Alhambra* (pp. 85-93). Granada: Patronato de la Alhambra.
- Marías Franco, F. (2018). Luis Hurtado de Mendoza, II marqués de Mondéjar, arquitecto. En P.A. Galera Andreu & S. Frommel (eds.), *El patio circular en la arquitectura del Renacimiento. De la Casa de Mantegna al Palacio de Carlos V* (pp. 121-150). Sevilla: Universidad Internacional de Andalucía.
- Martínez Sevilla, A. (coord.) (2017). *Paseos matemáticos por Granada. Un estudio entre arte, ciencia e historia.* Granada: Universidad de Granada.
- Martínez Sevilla, A. & Cruz Cabrera, J.P. (2021). Las esferas cartográficas del Palacio de Carlos V de Granada: arte, matemática y simbología del poder. Artículo remitido para publicación.

- Maure Rubio, M.A. & Plaza Beltrán, M. (2019). Geometría y técnica en dos retablos-tabernáculos fingidos españoles: Ermitas de Nuestra Señora de La Soledad (Puebla de Montalbán, Toledo) y de San Isidro (Alcalá de Henares). *Arte, Individuo y Sociedad*, 31, pp. 75-91. DOI: <https://doi.org/10.5209/ARIS.58786>.
- Redondo Cantera, M.J. (2000). La arquitectura de Carlos V y la intervención de Isabel de Portugal: palacios y fortalezas. En M.J. Redondo Cantera & M.A Zalama Rodríguez (coords.), *Carlos V y las artes. Promoción artística y familia imperial* (pp. 67-106). Valladolid: Junta de Castilla y León y Universidad de Valladolid.
- Rodríguez Ruiz, D. (1992). *La memoria frágil. José de Hermosilla y las antigüedades árabes en España*. Madrid: Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos.
- Rodríguez Ruiz, D. (2001). Las trazas del Palacio de Carlos V en la Alhambra de Granada. En M.L. López-Vidriero Abello (ed.), *Las trazas de Juan de Herrera y sus seguidores* (pp. 419-447). Madrid: Patrimonio Nacional.
- Roldán Medina, F.J. (2018). Geometría y métrica en el Palacio de Carlos V. En P.A. Galera Andreu & S. Frommel (eds.), *El patio circular en la arquitectura del Renacimiento. De la Casa de Mantegna al Palacio de Carlos V* (pp. 355-381). Sevilla: Universidad Internacional de Andalucía.
- Rosenthal, E.E. (1961). *The Cathedral of Granada. A study in the Spanish Renaissance*. Princeton: University Press. Trad. castellano (1990), Granada: Universidad de Granada.
- Rosenthal, E.E. (1985). *The Palace of Charles V in Granada*. Princeton: University Press. Trad. castellano (1988). Madrid: Alianza.
- Santa Cruz, A. (1920). *Crónica del emperador Carlos V*. Madrid: Real Academia de la Historia, 1920. Ed. del manuscrito original, de 1550-1552.
- Tafari, M. (1987). Il palazzo di Carlo V a Granada: architettura a lo romano e iconografia imperiale. *Ricerche di Storia dell'arte*, 32, 4-26. Trad. castellano (1987). *Cuadernos de la Alhambra*, 24, pp. 77-108.
- Toajas Roger, M.A. (2007). Artistas hispanos en Italia en el siglo XVI: los viajes de Diego Siloe y Pedro Machuca. En F. Checa Cremades (dir.), *El viaje del artista en la Edad Moderna: materiales para su estudio*, (pp. 1-21). Madrid: Universidad Complutense.
- Vílchez Vílchez, C. (1989). La sala de las Elías o Helias de la nave sur del patio de Comares de la Alhambra. *Revista del Centro de estudios Históricos de Granada y su Reino*, 3, 127-165.
- Vílchez Vílchez, C. (1991). Sobre la supuesta fachada meridional del palacio de Comares. *Cuadernos de Arte, de la Universidad de Granada*, 22, 9-22.