

ESTUDIO ARQUEOASTRONÓMICO DE LAS IGLESIAS DE SAN BARTOLOMÉ EN EL SUR DE ESPAÑA

José María Abril Hernández

Académico Correspondiente

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

Iglesias de San Bartolomé.
Sur de España.
Curvigram SPD.
Contraste de hipótesis.
Orto del 15 y 24 de agosto.

Estudiamos la orientación de las iglesias de San Bartolomé en Andalucía, Extremadura, Ciudad Real, Albacete, Murcia y Alicante ($n = 57$). La suma normalizada de densidades de probabilidad para las construidas bajo calendario juliano ($n = 41$, hasta 1582) muestra un grupo estadísticamente significativo de atractores: orto solar en la festividad de San Bartolomé (24 de agosto), y también el 15 de agosto. El estudio se complementa con la distribución espacial en la provincia de Córdoba.

ABSTRACT

KEYWORDS

St. Bartholomew's churches.
Southern Spain.
SPD curvigram.
Null-hypothesis testing.
Sunrise on August 15th and 24th.

This work studies the alignment of St Bartholomew churches in southern Spain ($n = 57$). The normalized sum of probability densities for those built under Julian calendar ($n = 41$, before 1582) shows a statistically significant group of attractors: alignments to the sunrise on St Bartholomew's feastday (August 24th) and on August 15th. The study includes the geographical distribution of these solar patterns in Córdoba.

1. INTRODUCCIÓN

Cuando se observa una iglesia desde el cielo, con fotografía aérea o satelital, la prolongación del eje de la nave principal, en el sentido del ábside, apunta a un determinado lugar del horizonte local, que podemos posicionar en relación con los puntos cardinales. Una mirada actual nos daría una amplísima diversidad de orientaciones, cubriendo eventualmente los 360° del horizonte. Sin embargo, la frecuencia relativa no es la misma para cualquier azimut (el ángulo, medido en sentido horario, que define el cardinal Norte con el eje de la iglesia antes descrito). La medida de los

azimuts de gran número de estructuras y su análisis estadístico permiten desentrañar interesante información sobre los distintos patrones de orientación usados en el pasado.

Las Constituciones Apostólicas de los siglos III-IV indican que las iglesias se deben construir como naves alargadas, con la cabecera dirigida hacia oriente¹. Entre los siglos V y XIII diversos autores, como el Papa Virgilio, Isidoro de Sevilla y Guillermo Durando, precisan que la orientación debe ser hacia el sol del equinoccio, evitando los solsticios (Vogel, 1962). Tras el concilio de Trento y de la influyente obra de Carlos Borromeo² (1577), formalmente se mantiene la preferencia por que el ábside apunte exactamente al este, pero se acepta que, cuando eso no sea práctico, se podría construir una iglesia incluso en un eje norte-sur, preferentemente con la fachada en el extremo sur. Esto vino a impulsar el declive que ya se venía observando en la importancia que se otorgaba al significado simbólico de la orientación de las iglesias. Pero incluso en los siglos anteriores seguimos encontrando una amplia distribución de orientaciones, aunque preferentemente en el hemisferio de levante. La razón hay que buscarla en que, en la práctica, cada fábrica particular hubo de resolver una serie de condicionamientos específicos, como el ajuste a parcelas, viarios o estructuras precedentes, a lo que se une una enorme laxitud en el cumplimiento de las reglas de orientación antes descritas (Abril, 2018).

El estudio de la orientación de las iglesias cristianas se ha convertido en un tema de creciente interés en las últimas décadas (Ali y Cunich, 2001; Hinton, 2010; Blaauw, 2012; Čaval, 2015; González-García, 2015; Allen, 2016; Abril, 2017; Kräuchi, 2020), y se enmarca en el ámbito de la arqueoastronomía, la disciplina científica que estudia la relación entre las antiguas construcciones y los elementos del paisaje celeste (Magli, 2015). La metodología habitual involucra la definición de una muestra coherente de iglesias, la medición de sus azimuts, con las incertidumbres asociadas, y en el análisis de los correspondientes histogramas de frecuencias relativas.

En los últimos años se han desarrollado avances importantes en la metodología. En primer lugar, la incorporación, tras un intenso debate, de técnicas de medida de azimuts a partir de ortofotografías georreferenciadas (Abril, 2017; Abril 2021). Esto ha permitido el análisis rápido y económico de grandes conjuntos de muestras, que habrían resultado prohibitivos con métodos anteriores basados en medidas directas *in situ* con teodolitos,

¹ Las Constituciones Apostólicas, II, 7, LVII, <http://www.ccel.org/ccel/schaff/anf07.ix.iii.vii.html> (consultado en octubre, 2019).

² Carlos Borromeo (1577): *Instruktionen Fabricae Et Supellectilis Ecclesiasticae*. Accesible en Fondazione Memofonte. <https://www.memofonte.it/>

brújulas y GPS (e.g. Ali y Cunich, 2001). Así, en el trabajo reciente de Kräuchi (2020) se analizan más de 3.000 iglesias a partir de fotografías de satélite.

Otro avance relevante atañe al desarrollo de métodos específicos de análisis estadístico que permiten el contraste de hipótesis con la cuantificación del parámetro de probabilidad p . En lugar del análisis cualitativo o semicuantitativo de histogramas de frecuencias relativas con funciones kernel tipo epanechnikov, Silva (2020) introduce los curvigramas de suma de densidades de probabilidad (SPD), y propone un método de contraste de la hipótesis nula basado en la curva envolvente (a un nivel de confianza dado), construida a partir de un gran número (del orden de miles) de SPDs sintéticos generados numéricamente y que la representan. Más recientemente, en el trabajo de Abril (2022), se avanza en el análisis de poblaciones muestrales compuestas de varias subpoblaciones que siguen distintos criterios de orientación, y se proponen métodos de formulación y contraste de hipótesis basados en ensayos de Bernoulli y en la distribución binomial.

Otro avance concierne a la estrategia de muestreo, que permite ahora trabajar con muestras de tamaño razonable de iglesias de una misma dedicación (Abril, 2017; 2020). Esto permite minimizar las interferencias entre distintos criterios de orientación que pudieran ser específicos del santo titular.

Como resultados más destacados que atañen al territorio peninsular caben destacar los siguientes:

I) A diferencia de las iglesias medievales de Inglaterra y el resto de Europa, donde las distribuciones de azimuts son relativamente simétricas, con valor modal en el este verdadero (azimut 90°) o ligeramente desplazado hacia el norte (Hinton, 2010; Kräuchi, 2020), en el sur de España la distribución está desplazada hacia el E-NE. En este contexto geográfico e histórico, a medida que avanza la frontera en la Reconquista, la reconversión de las mezquitas en iglesias es una práctica común. En una primera etapa se realiza el ritual denominado «alimpiar», para la conversión de una mezquita en iglesia, y se acondiciona con algunos elementos muebles. Más tarde vendrían las intervenciones traumáticas en el edificio, que podía implicar la demolición total o parcial de la estructura (García-Ortega, 2015). En un buen número de casos se conservó el alminar, reconvertido en torre campanario. En la nueva iglesia la zona del altar solía situarse en el lateral de levante, quedando la iglesia orientada con una rotación antihoraria de 90° con respecto a la quibla de la antigua mezquita. Durante la mayor parte del dominio musulmán de la Península aún no se habían des-

arrollado los conocimientos y los medios técnicos necesarios para encontrar la quibla de un emplazamiento como dirección o rumbo que apunta hacia La Meca. Coexistieron distintas soluciones prácticas que resultaron en una distribución continua de quiblas, centradas principalmente en el sector SE-S. Su rotación antihoraria de 90° explica las orientaciones mayoritarias hacia el E-NE en muestras de iglesias gótico-mudéjares de Andalucía (Abril, 2021) y de las iglesias de la Asunción en la mitad sur de España (Abril, 2017).

II) En otras ocasiones, y dado que el despoblamiento que siguió a la Reconquista favoreció la concentración parcelaria en las grandes ciudades (García-Ortega, 2007), los amplios espacios abiertos permitieron la expresión de otros patrones de orientación de las iglesias construidas *ex novo*. Así, en la muestra de iglesias gótico-mudéjares antes referida, Abril (2021) encuentra que el precepto de orientación al sol del equinoccio se habría materializado en la práctica de observar, desde la parcela donde habría de construirse la nueva iglesia, el orto solar sobre el horizonte local en la fecha del equinoccio canónico romano (25 de marzo). En calendario juliano de entre finales del XIII y principios del XV, en Andalucía esto se traduce en un azimut de alrededor de 84° (para horizontes con baja altura angular). Puede afirmarse que esta práctica se observa en alrededor del 15% de las iglesias de la muestra, sin que pueda explicarse por azar, y resultando independiente del santo titular. Nótese que la orientación hacia el este verdadero no era una cuestión trivial en esta época, en la que la estrella polar (α -UMi) distaba casi 5° del polo norte celeste. Sí podría resolverse con las técnicas de gnomónica descritas por Vitruvio en su *De Architectura*³ (escrita entre el 30 y el 15 AC), pero estos conocimientos no estaban al alcance de todos los maestros y canteros del mundo de la construcción (García-Ortega, 2007).

III) Desde que en 1823 el poeta inglés William Wordsworth⁴ escribiera que la mayoría de las iglesias antiguas en Inglaterra fueron alineadas hacia el orto solar en la festividad del santo patrón, diversos autores han tratado de encontrar evidencias empíricas de su aplicación real en iglesias medievales de distintas regiones de Europa. Hinton (2010) estudió unas 2.000 iglesias medievales de Inglaterra, para concluir que éstas no seguían «la regla Wordsworth». Similares conclusiones encontró Allen (2016), que estudió 630 iglesias medievales en Gales. En España, los estudios de Pérez Valcárcel (1998), con 187 iglesias románicas del Camino de Santiago,

³ Vitruvius (1931): *On Architecture*, Vol 1: *Books 1–5*, trans. F. Granger. Loeb Classical Library 251. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.

⁴ En la introducción a su segundo poema sobre la Capilla de St. Mary, Rydal: «On the Same Occasion», escrito en 1823 y publicado en 1827.

Pérez Valcárcel y Pérez Palmero (2018), con 43 iglesias mozárabes, y de González-García y Belmonte (2015), con 167 iglesias prerrománicas, habían descartado «la regla Wordsworth», tal vez con la excepción de algunas iglesias erigidas después del descubrimiento de la tumba del apóstol Santiago. Ha sido el análisis de muestras de iglesias con una misma dedicación lo que ha permitido aportar pruebas inequívocas de esta práctica. En una muestra sistemática que incluye todas las iglesias parroquiales dedicadas a la Virgen de la Asunción en la mitad sur de España, y construidas bajo calendario juliano (antes de 1582), se ha podido demostrar que sobre la distribución de fondo, dominada por la reutilización de antiguas mezquitas, se superpone un criterio específico de orientación al orto solar sobre el horizonte local en la festividad de la Asunción (15 de agosto), tal como se observaría desde la parcela donde se habría de construir la nueva iglesia. Este resultado, presentado por primera vez en Abril (2017), ha sido confirmado con las últimas técnicas de análisis estadístico del SPD empírico y el contraste de hipótesis con los métodos de la curva envolvente y de la distribución binomial (Abril, 2022). Este criterio de orientación, siendo estadísticamente significativo, es seguido por aproximadamente un 10% de las iglesias de la Asunción de la muestra.

IV) Ambas prácticas, la orientación al orto solar en el equinoccio canónico, y al sol de agosto para las iglesias de la Asunción, se observan en el sur de España inmediatamente tras la Reconquista, y aparecen distribuidas por el territorio con varios focos, por lo que puede inferirse que son prácticas importadas por los nuevos pobladores que llegan desde los reinos cristianos del norte. Esta hipótesis se ha podido contrastar con el estudio de las iglesias de la Asunción del denominado Románico de Repoblación, construidas entre los siglos XII y XIII en la provincia de Soria (Abril, 2020).

Estos resultados abren nuevos interrogantes, como la distribución y evolución espacial y temporal de estas prácticas, su alcance a otras dedicaciones no marianas, y su significado simbólico y justificación teológica, si la tienen, pues la orientación al sol del santo titular no aparece explícitamente recogida en la tradición escrita de la Iglesia, como sí es el caso para las orientaciones equinocciales (Vogel, 1962).

En este trabajo nos centramos en el estudio de la orientación de las iglesias dedicadas a San Bartolomé en la mitad sur de España, con especial foco en las construidas bajo calendario juliano. Es ésta una de las dedicaciones más populares en la Baja Edad Media, por lo que pueden manejarse muestras de tamaño razonable para su análisis estadístico.

San Bartolomé fue uno de los doce apóstoles de Jesús. Su nombre es patronímico, probablemente del arameo, *bar Talmay* (hijo de Talmay). Tradicionalmente es identificado con Natanael, que en el Evangelio de Juan (Juan 1: 45-51) se presenta como amigo de Felipe y se señala que vino «de Caná de Galilea». La Historia eclesiástica de Eusebio de Cesarea afirma que Bartolomé predicó en la India, donde dejó una copia del Evangelio de Mateo. Otras tradiciones lo registran como misionero en Etiopía, Mesopotamia, Partia y Licaonia. Junto con el apóstol Judas, se dice que Bartolomé llevó el cristianismo a Armenia⁵. Su martirio y muerte se atribuyen a Astiages, rey de Armenia y hermano del rey Polimio a quien San Bartolomé había convertido al cristianismo. Según algunos, fue decapitado; según otros, desollado vivo y crucificado cabeza abajo. Por ello, a menudo se lo representa en el arte como si hubiera sido desollado y sosteniendo en su mano su propia piel. La Iglesia Católica celebra la festividad de San Bartolomé el 24 de agosto.

Se le atribuye el evangelio apócrifo de Bartolomé, que tal vez se trate de *Las Preguntas de Bartolomé*, o *La Resurrección de Jesucristo*. Según estos textos, a San Bartolomé le fue dado conocer el descenso triunfal de Jesús a los infiernos «para poder sacar a Adán y a todos los que estaban con él»

En 983, el emperador Otón II trajo las reliquias de Bartolomé a Roma, que se alojaron en la iglesia construida en su nombre (la basílica de San Bartolomeo all'Isola). La devoción a San Bartolomé se desarrolló en torno a sus supuestas reliquias, que se dividieron y distribuyeron de diversas formas por Europa, y que fue especialmente popular en el sur de Italia e Inglaterra.

En el trabajo de Sousa y Rosas (2014) sobre la iconografía de San Bartolomé en el sepulcro de D. Pedro I (c. 1360-1367), del Monasterio de Alcobaça (Portugal), encontramos una detallada representación de la vida y martirio de San Bartolomé, contrastado con fuentes escritas y con otras obras coetáneas, particularmente los documentos de los siglos XIV y XV transcritos y publicados por Guy de Tervarent y Baudouin de Gaiffier (citados en el texto), y que recogen un conjunto de leyendas medievales que circulaban por toda Europa sobre la figura de San Bartolomé. En las diversas escenas que se muestran en el sepulcro, se narra el rapto del bebé Bartolomé y su sustitución en la cuna por un demonio hediondo, que no para de llorar, y que no crece durante muchos años, mientras que Barto-

⁵ San Bartolomé. (2021, 22 de junio). Enciclopedia del Nuevo Mundo. Consultado en octubre de 2021. https://www.newworldencyclopedia.org/p/index.php?title=Saint_Bartholomew&oldid=1054472

lomé, abandonado en la cumbre de una montaña, es protegido por las águilas. Después de ser rescatado y criado por un sacerdote, el joven Bartolomé regresa a su casa paterna y desenmascara al demonio en la cuna. San Bartolomé es el apóstol que expulsa, domina y encadena demonios con la fuerza de su voz. Así, en otra de las escenas del sepulcro, San Bartolomé libera del demonio a la hija del rey Polimio de Armenia, y lo presenta encadenado ante el monarca. Bartolomé convierte a la fe cristiana al rey Polimio. En el templo, junto al palacio real, San Bartolomé ordena al demonio que saliera del interior del ídolo, haciendo la estatua añicos, y consagrando después la iglesia para el culto del verdadero Dios. El rey Astiages, que sucede a Polimio, ordena el martirio de San Bartolomé. En otra escena, San Bartolomé, desollado, camina con su piel al hombro y reza ante un auditorio de ancianos.

San Bartolomé, dominador de demonios, es patrono por excelencia del exorcismo, y también patrón de aquellos que trabajan con las pieles.

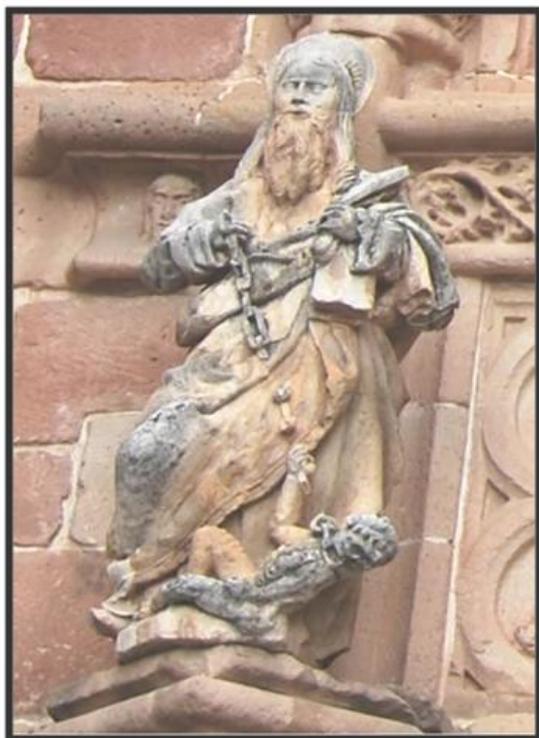


Fig. 1. Escultura de San Bartolomé, en la portada de la iglesia de San Bartolomé Apóstol de Montoro (Córdoba). Detalle de la fotografía de E. López⁶.

⁶ <https://www.flickr.com/photos/vertice1/4504720739>

En la zona geográfica de este estudio, la representación más común de San Bartolomé es en la que éste aparece con el libro, la daga de su martirio, y sujeta encadenado a un demonio, que se sitúa a sus pies (Fig. 1). En el contexto de la Reconquista, el dominio sobre los demonios podría asimilarse al dominio sobre el enemigo musulmán, pero ya la ubicuidad de la figura del demonio en el imaginario medieval explicaría por sí sola la devoción al protector San Bartolomé. En algunos lugares, como Montoro y Jerez de los Caballeros, aún perdura la tradición medieval, con teatralización callejera incluida, en la que el demonio se suelta de sus cadenas en las vísperas de la festividad de San Bartolomé, cuando sopla el viento, y corre para acosar a niños y ancianos hasta el nuevo día, cuando el Santo vuelve a encadenarlo.

A medida que avanza la línea de frontera durante la Reconquista, el asentamiento de nuevos pobladores cristianos sigue pautas comunes: La monarquía incentiva la ocupación de estos territorios mediante un sistema de fueros y exenciones tributarias, y los pobladores llegan en diversas oleadas desde Asturias, León, Aragón, norte de Castilla, Francia, etc., fundiéndose con la población autóctona. Cada núcleo de población, por humilde que sea, suele edificar su pequeña iglesia. A partir del siglo XV, y en particular con la nueva época que se abre con los Reyes Católicos, se produce en España una especie de fiebre constructiva, en la que las primitivas iglesias construidas tras la Reconquista van a ser destruidas y rehechas, o reformadas y ampliadas (Arcos Franco, 1998). En los entornos rurales, la escasez de fuentes documentales sobre las primeras iglesias, junto con el criterio conservador de las dataciones de los templos que nos han llegado, que suelen referirse a las estructuras arquitectónicas reconocibles de mayor antigüedad, suponen una seria limitación para su estudio. No es infrecuente que el nuevo templo herede del primitivo la plaza y la orientación, como en el caso que documenta Gimena Córdoba (2014) para la iglesia de la Asunción de Bujalance. En este contexto dinámico también es esperable encontrar casos de cambio de santo titular.

2. METODOLOGÍA

2.1. DEFINICIÓN DE LA MUESTRA

Para proceder de manera sistemática consideramos todas las iglesias parroquiales que, según los registros de la Conferencia Episcopal Española (CEE, 2021), aparecen en la actualidad dedicadas a San Bartolomé en Andalucía y en los obisposados de Mérida-Badajoz, Coria-Cáceres, Plasencia, Ciudad Real, Albacete, Murcia y Alicante. Una búsqueda en la red de localidades en esta zona geográfica que tienen como patrón a San Bartolomé, permite complementar la muestra con otro grupo de iglesias no

parroquiales, como las de Jerez de los Caballeros, Almagro, Alhambra de Ciudad Real, Almudaina, Bohonal de Ibor y Campo de Mirra. La muestra, tal como se recoge más adelante en la Tabla 1, comprende 57 iglesias, y será designada en lo sucesivo como muestra S1. No se han considerado localidades con este santo patrón que sólo conservan pequeñas ermitas, generalmente en entornos rurales (como las de Majuelas, Montehermoso, Villar de Plasencia, Yeste, Zarca la Mayor y Martos), o iglesias reconstruidas con otra advocación, como la de Cenes de Vega, ahora dedicada a la Virgen del Rosario.

La Figura 2 muestra un mapa con la distribución espacial de la muestra S1. La zona geográfica estudiada coincide aproximadamente con el dominio musulmán a mediados del siglo XII, y es la misma zona seleccionada en el trabajo de Abril (2017) para el estudio de la orientación de las iglesias dedicadas a la Virgen de la Asunción en la mitad sur de España. En este contexto geográfico y cronológico, la orientación de las iglesias está en buena parte ligada a la reutilización de los solares de antiguas mezquitas (Abril, 2021). En este estudio, la muestra S1 de iglesias de San Bartolomé será comparada con las iglesias dedicadas a la Virgen de la Asunción en la misma zona geográfica, con una muestra de iglesias gótico-mudéjares de Andalucía, referidas popularmente como «Fernandinas», y con una muestra representativa de mezquitas de al-Ándalus (tomada de Jiménez, 1991).

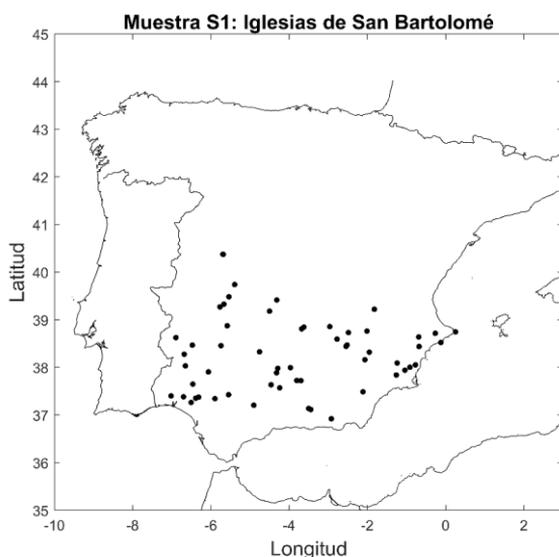


Fig. 2. Distribución geográfica de la muestra S1: iglesias dedicadas a San Bartolomé en Andalucía y en los episcopados de Mérida-Badajoz, Coria-Cáceres, Plasencia, Ciudad Real, Albacete, Murcia y Alicante ($n = 57$).

La mayoría de las iglesias de la muestra S1 deben tener su origen en las comunidades rurales del repoblamiento cristiano tras la Reconquista. No obstante, las evidencias documentales son débiles o inexistentes en la mayoría de los casos. Pueden ser frecuentes situaciones en las que una nueva iglesia se construyera sobre una más antigua, preservando o no su alineamiento, sin constancia documental. En las notas al pie de la Tabla 1 se recogen aquellos casos conocidos. Para todas las iglesias estudiadas se ha revisado la documentación histórica disponible en archivos oficiales de acceso online, como la Guía Digital del Patrimonio Cultural de Andalucía (IAPH, 2021). Las dataciones comúnmente siguen un criterio conservador, al referirse a las estructuras arquitectónicas reconocibles de mayor antigüedad.

Aquellas iglesias con cronología inequívocamente posterior a 1582, momento en el que se produce en España la reforma del calendario juliano promovida por el papa Gregorio XIII, se excluyen de la muestra S1 para conformar la sub-muestra S2, tal como se indica en la Tabla 1.

Los cambios de dedicación documentados son escasos, como el comentado anteriormente de Cenes de la Vega, si bien la casuística pudiera ser más amplia.

La mayoría de las iglesias estudiadas son construcciones modestas, generalmente de una sola nave. La longitud del edificio no supera los 38 m en el 75% de los casos (en S2). En la Figura 3 se muestra la fotografía de una de estas iglesias, en la localidad de Morente (Bujalance, Córdoba), y que sirve para ilustrar el alcance de las lagunas de documentación. En la Guía Digital del IAPH (2021) se nos dice que la iglesia parroquial de Aldea Morente, bajo la advocación de San Blas, fue construida en el siglo XVI. Pero la advocación de la iglesia es la de San Bartolomé Apóstol, como así recoge la tradición popular, aparece en los registros de parroquias de la diócesis de Córdoba, y en muy diversas fuentes documentales, como el Atlante Español o Descripción General de Todo el Reino de España⁷, de finales del XVIII. La datación del XVI debe corresponderse a los elementos arquitectónicos reconocibles, pero la población de Morente debió contar con una iglesia medieval de finales del XIII o principios del XIV, pues ya en la primera organización de la diócesis cordobesa tras la Reconquista se le asigna parroquia, y así lo recoge Castro (1657) cuando comenta las disposiciones del «Libro de las Tablas».

⁷ Espinalt y García *et al.*: 1778-1795. Atlante Español o Descripción General de Todo el Reino de España. Biblioteca Digital Hispánica. <http://bdh.bne.es/bnesearch/detalle/bdh0000001375>



Fig. 3. Iglesia de San Bartolomé en Morente. Fotografía de A. Márquez⁸.

2.2. MEDIDAS ANGULARES Y CÁLCULOS ASTRONÓMICOS

La metodología para la determinación de los azimuts a partir de ortofotografías georreferenciadas ha sido presentada en Abril (2017). Los cálculos astronómicos se detallan en la referencia anterior y en Abril y Morena-López (2018). El uso de las herramientas de software de Google Earth Pro para la determinación de azimuts de las iglesias ha sido contrastado con las medidas tomadas a partir de ortofotografías del Instituto Geográfico Nacional de España, y presentado en el trabajo de Abril (2021). El desarrollo y revisión de los métodos de análisis estadísticos de histogramas de frecuencias se presenta en detalle en los trabajos de Silva (2020) y Abril (2022). Por lo anterior, aquí solo se exponen de forma sucinta las ideas principales.

Las ortofotografías del programa PNOA-LiDAR del Instituto Geográfico Nacional (IGN) tienen una escala equivalente de vuelo de 1:15000, y la incertidumbre del posicionamiento, $\sigma_{x,y}$, es inferior a 0.5 m (IGN, 2021). Google-Earth ofrece mosaicos de imágenes de fotografías aéreas tomadas con cámaras de alta resolución, y de satélites, como los de Landsat y DigitalGlobe. Esta última opera desde 2007 satélites con una resolución de imagen por debajo de 0.5 m (Worldwiew 3 y 4). En la zona de estudio la galería histórica de imágenes de Google-Earth contiene generalmente al

⁸ <http://www.elcoloiquidelosperros.com/2020/01/morente-por-angel-marquez.html>

menos dos imágenes de mayor resolución que las del IGN, y el software de la versión Pro permite medir distancias y determinar azimuts, que ya incluyen la corrección por ángulo de convergencia, como se muestra en la Fig. 4. Por esta razón se ha utilizado esta fuente de imágenes para el presente estudio, si bien es necesario suplir la falta de especificaciones técnicas detalladas de cada imagen de Google Earth.

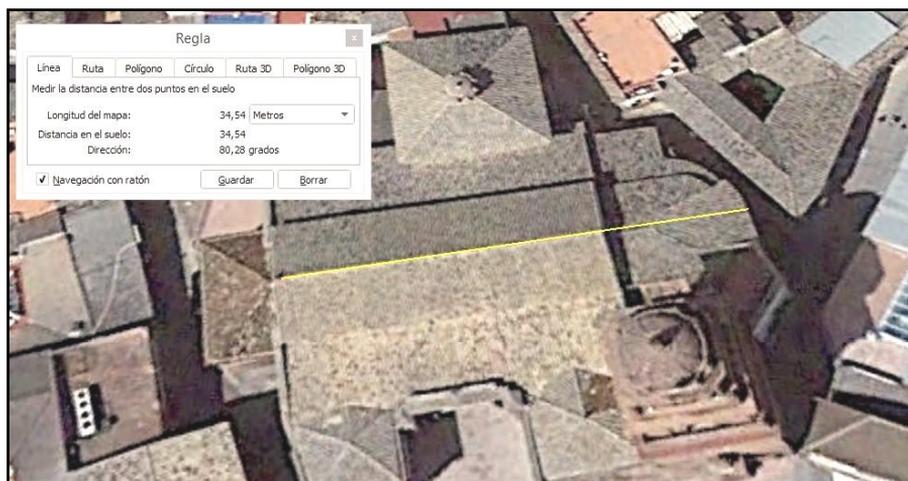


Fig. 4. Ejemplo de medida del azimut de la iglesia parroquial de San Bartolomé Apóstol, en Montoro (Córdoba), a partir de imagen satelital con el software de Google Earth Pro. La medida se repite n_t veces (5–6) usando series históricas de fotografías, trazos de líneas base usando caballete y aleros de cubiertas, y rotando la imagen en pantalla.

Debido a la gran altitud equivalente del vuelo, en fotografías no propiamente cenitales, la proyección de la línea de referencia, como el caballete del tejado (que se mantiene a cota constante), puede sufrir traslación, pero sin rotación. De este modo, la lectura del azimut, θ , sobre la proyección plana sigue siendo correcta, y en esta proyección es lícito extender el trazado de la línea más allá de la nube de píxeles que definen el caballete o cualquier otra referencia aceptable.

A partir de n_t lecturas se calcula el valor medio, la desviación estándar y la desviación estándar de la media, que recoge el efecto de la dispersión en la medida. Cada medida individual no puede ser más precisa de lo que permite el error de posicionamiento de los puntos de la línea base. Para ello se consideran dos puntos en la línea del eje de la iglesia y cuya distancia sea dos veces la longitud mayor del edificio, y se aplica el cálculo de propagación de errores a partir de las incertidumbres de posicionamiento

$\sigma_{x,y}$ (Bevington y Robinson, 2003; Abril, 2017). El resultado de la medida se informa con el valor medio, $\bar{\theta}$ y su error absoluto, σ_{θ} , englobando éste a la dispersión y al error propagado (Gil y Rodríguez, 2001).

La altura angular del horizonte local en la dirección del azimut, γ , se ha determinado a partir de modelos digitales del terreno utilizando la herramienta *HeyWhat'sThat* (Kosowsky, 2021). El efecto de la refracción de la luz en la atmósfera se tiene en cuenta aplicando la fórmula de Bennett (1982) para encontrar la altura angular con la que el punto central del disco solar se vería sobre el horizonte local, γ^* . La precisión de los modelos digitales del terreno puede ser variable por zonas. Es habitual atribuirle una incertidumbre de 0.5° , del orden de la que puede manejarse con el uso de clinómetros. Para este trabajo se ha tomado, por simplicidad, una lectura única de γ , en lugar de la digitalización de un intervalo angular de la línea de horizonte $\gamma(\theta) = \bar{\gamma} + g(\theta)$.

A partir de θ , γ^* , y la latitud geográfica, λ , se puede calcular la declinación, δ , del astro que asciende por ese punto del horizonte:

$$\sin \delta = \sin \gamma^* \cdot \sin \lambda + \cos \gamma^* \cdot \cos \lambda \cdot \cos \theta \quad (1)$$

La regla general de propagación de errores (Huhges and Hase 2010) permite estimar σ_{δ} a partir de la Ec. 1:

$$\sigma_{\delta} = \sqrt{\left(\frac{\partial \delta}{\partial \theta} \sigma_{\theta}\right)^2 + \left(\frac{\partial \delta}{\partial \bar{\gamma}} \sigma_{\gamma}\right)^2} \quad (2)$$

La Ec. 2 es apropiada cuando las derivadas parciales son continuas y las incertidumbres son pequeñas. La primera condición se rompe para valores de θ en el entorno de 0° y 180° (alineamientos a los cardinales Norte y Sur), y para intervalos de horizonte que incluyen máximos o mínimos relativos (picos y valles), o puntos de inflexión. En estos casos, y cuando las incertidumbres son grandes, es más apropiada la transformación numérica propuesta por Silva (2020). Para el presente estudio se cumplen las condiciones de aplicabilidad de la Ec. 2.

El tratamiento estadístico de los valores muestrales δ y σ_{δ} permite el contraste de hipótesis sobre la alineación del eje de las iglesias al orto solar en una fecha de calendario relevante.

Alternativamente, para testar estas hipótesis, se determina para la fecha de interés el valor de la declinación solar mediante la aplicación de cálculos astronómicos estandarizados, con apoyo del software Stellarium 0.20.2, y se usa γ^* para determinar el azimut solar, A_S . En muchas ocasiones la

fecha exacta de fundación no se conoce. El resultado del cálculo varía ligeramente con la proximidad a los años bisiestos, pero con cambios muy pequeños en un rango de fechas amplio (de varias décadas). Para comparar los azimuts de la iglesia y el del orto solar debe tenerse en cuenta, además de las incertidumbres de medida y propagadas, lo que denominamos «la incertidumbre o el error del arquitecto». Esto es, aun aceptando que el arquitecto persiguiese alinear el eje de la iglesia con el orto solar, desconocemos el criterio aplicado para el amanecer (aparición del primer rayo de luz, el centro del disco o el disco solar completo), y las incertidumbres asociadas con la captura de esa dirección y su posterior traslado a los muros de la iglesia.

2.3. SUMA DE DENSIDADES DE PROBABILIDAD Y CONTRASTE DE HIPÓTESIS

El resultado de la medida del azimut de una iglesia se expresa con el valor medio, $\bar{\theta}$ y su error absoluto, σ_{θ} , parámetros que definen una distribución normal para la probabilidad de que un proceso completo de medida arroje como valor medio θ . La suma normalizada de densidades de probabilidad (SPD) para los azimuts de n estructuras, cada una de ellas descrita por la distribución normal $\mathcal{N}_i(\bar{\theta}_i, \sigma_{\theta,i})$, es:

$$f(\theta) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathcal{N}_i(\bar{\theta}_i, \sigma_{\theta,i}) \quad (3)$$

Así, $f(\theta)d\theta$ es la probabilidad de que la medida de una estructura arroje como resultado un valor medio del azimut comprendido en el intervalo $(\theta, \theta + d\theta)$, con θ comprendido entre 0 y 2π rad (o entre 0° y 360°). La normalización implica que $\int_0^{2\pi} f(\theta)d\theta = 1$. El número de estructuras con un azimut comprendido en el intervalo (θ_i, θ_f) es $n \int_{\theta_i}^{\theta_f} f(\theta)d\theta$.

El SPD puede determinarse para la distribución de azimuts y de declinaciones, y constituye el objeto matemático que el investigador puede manejar para el contraste de hipótesis.

Un primer nivel de análisis suele contemplar la hipótesis nula de una distribución puramente aleatoria de azimuts en el intervalo $[0^\circ, 360^\circ)$, que denominaremos hipótesis nula A. Para aquellos casos en los que pueda rechazarse la hipótesis nula A, cabe plantear una nueva hipótesis nula acerca de los criterios de agrupamiento, siguiendo la metodología presentada en Abril (2022). El SPD empírico puede reflejar la distribución agregada de varias subpoblaciones muestrales, cada una siguiendo criterios de agrupación particulares. Cuando el criterio de agrupación de una subpoblación

define un rango estrecho de valores del azimut (o de la declinación), nos referiremos a estos valores como «atractores», en cuyo entorno podemos encontrar picos (máximos relativos) en el curvigrama SPD. Una nueva hipótesis nula, denominada hipótesis B, puede formularse en sus versiones fuerte y débil. La versión fuerte niega la existencia de cualquier atractor, reconociendo una única población que sigue una distribución de azimuts susceptible de ser descrita por una distribución de probabilidad límite (para un hipotético tamaño muestral indefinidamente grande). La versión fuerte de la hipótesis B se rechaza en aquellos casos en que el área de los picos no pueda explicarse como una fluctuación estadística de la distribución límite para tamaños de muestra finitos. La versión débil de la hipótesis nula B sólo considera el entorno del potencial «atractor», sin necesidad de más asunciones sobre el número de subpoblaciones o las distribuciones de probabilidad límite que las gobiernan, y compara el área del pico con los valores basales del SPD en su entorno.

Para el contraste cuantitativo de estas hipótesis, que permite evaluar la probabilidad p de rechazar impropriamente la hipótesis nula, manejaremos dos metodologías que han sido desarrolladas recientemente. Por un lado, consideraremos el método propuesto por Silva (2020), que se basa en la envolvente, para un nivel de confianza prefijado (generalmente el 95%) de un gran número (generalmente varios miles) de SPDs sintéticos (generados numéricamente) que representan la hipótesis nula, y el cálculo posterior del área en la que el SPD empírico y los sintéticos exceden a dicha envolvente⁹. Este método resulta especialmente útil para el contraste de la hipótesis nula A (formulada en términos de frecuencia) y la versión fuerte de la hipótesis nula B. Por otro lado, consideraremos la metodología propuesta por Abril (2022) basada en ensayos de Bernoulli descritos por una distribución binomial con un parámetro de probabilidad que se determina por el cociente de elementos geométricos (como longitudes de arco o áreas) que representan el número de éxitos y todos los casos posibles.

Para este trabajo hemos escrito códigos en BASIC para la construcción de los SPDs empíricos y sintéticos, y para el contraste numérico de hipótesis. En la aplicación que sigue se ofrecerán más detalles sobre la metodología de análisis estadístico.

⁹ El valor de p se cuantifica por la fórmula $p = 1 - (z + 1)/(N + 1)$, donde N es el número total de SPDs sintéticos generados, y z el de aquellos para los que el estadístico «área sobre la envolvente» es menor que el del SPD empírico (Silva, 2020).

Tabla 1. CRONOLOGÍA Y MEDIDAS ANGULARES PARA EL CONJUNTO DE IGLESIAS DEDICADAS A SAN BARTOLOMÉ (MUESTRA S1), JUNTO CON CÁLCULO ASTRONÓMICO DEL AZIMUT DEL ORTO SOLAR PARA FECHAS SIGNIFICATIVAS (TEST)

LOCALIDAD	CRONOLOGÍA	Φ (°)	Λ (°)	L (M)	$\bar{\theta}$ (°)	$\Sigma\theta$ (°)	Γ (°)	Δ (°)	Σ_d (°)	TEST	A_s (°)	Δ (°)	NOTAS
San Bartolomé de la Torre	XVIII	-7.1067	37.4466	33.3	5.5	0.61	0.5	52.23	0.15	-	-	-	
Navalmoral de Béjar	1789	-5.7825	40.4226	23.6	17.8	0.88	0.8	46.84	0.30	-	-	-	[1]
Cherín	< XVI	-3.0131	36.9675	33.7	35.9	0.61	9.4	47.39	0.42	-	-	-	[2]
Feria	Principios XV	-6.5638	38.5131	41.2	39.2	0.54	0.1	36.98	0.34	-	-	-	[3]
Sevilla	< XVIII	-5.9865	37.3876	38.5	41.5	0.55	0.3	36.32	0.37	-	-	-	[4]
Finestrat	< XVIII	-0.2119	38.5672	27.4	42.3	0.80	9.2	42.02	0.56	-	-	-	[5]
Librilla	XVII	-1.3506	37.8863	38	45.8	0.54	0.8	33.70	0.38	-	-	-	
Torredecampo	< XVI	-3.8965	37.7704	32.3	54.8	0.65	2.6	28.70	0.50	-	-	-	
Jávea	XIV-XVI	0.1636	38.7893	36	57.1	0.57	1.8	26.07	0.46	-	-	-	
Almudaina	Final XVI	-0.3540	38.7613	22	57.6	0.93	1.7	25.65	0.70	-	-	-	
Bohonal de Ibor	Final XV	-5.4859	39.7844	28	60.9	0.74	0.0	21.62	0.58	-	-	-	
Almagro	1602	-3.7133	38.8896	44.8	62.5	0.46	0.2	20.86	0.41	-	-	-	
Puerto de Santa Cruz	XVI	-5.8589	39.3166	29	65.9	0.70	16.2	28.70	0.58	-	-	-	
Ulea	XV-XVI	-1.3324	38.1381	24.85	68.5	0.83	1.8	17.72	0.68	-	-	-	
Valenzuela de Calarava	1560	-3.7722	38.8530	32.8	68.6	0.62	0.8	16.79	0.54	-	-	-	
San Bartolomé Orihuela	XX	-0.8627	38.0969	24.6	69.4	0.84	0.1	15.81	0.70	-	-	-	

Longitud geográfica, ϕ , latitud, λ , longitud del templo, L, azimut de las iglesias, $\bar{\theta}$, error absoluto, σ_{θ} , altura angular del horizonte en la dirección de $\bar{\theta}$, γ (con lectura única e incertidumbre de 0.5°), declinación calculada, δ , con incertidumbre propagada, σ_{δ} , azimut solar para el orto sobre el horizonte local en el año de fundación y fecha del Test, A_s , y la diferencia $\Delta = A_s - \bar{\theta}$. El test estudia los siguientes casos: festividad de la Asunción (A; 15 de agosto), festividad de San Bartolomé (B; 24 de agosto), equinoccio canónico (C; 25 de marzo), y cardinal Este (D; $\bar{\theta} = 90^\circ$). Los casos con $|\Delta| < 2\sigma_{\theta}$ se resaltan en negrita, y se subrayan las que no cumplen el criterio anterior, pero que son $|\Delta| < 2\sigma_{\theta}$. Las iglesias se listan por localidad, siguiendo un orden creciente de azimuts. La cronología, según las fuentes, se refiere generalmente a la estructura arquitectónica reconocible con más antigüedad. En cursiva se indican las iglesias con cronología posterior al cambio de calendario gregoriano (1582), y que se excluyen de la submuestra S2.

NOTAS:

- [1] Sustituye a una anterior, cambiando de emplazamiento.
- [2] Reconstruida a finales del XVI por incendio en 1568, durante la «rebelión de los moriscos».
- [3] Hacia 1500, tras la expulsión de los judíos, la antigua iglesia de San Bartolomé se trasladó a la sinagoga, perdurando hasta 1779, cuando es demolida y reedificada.
- [4] Consagrada en 1751, construida sobre una antigua del XVII.
- [5] Construida en el XVII sobre restos de una anterior.

Tabla 1. CONTINUACIÓN

Localidad	Cronología	ϕ (°)	λ (°)	L (m)	$\bar{\theta}$ (°)	σ_{θ} (°)	γ (°)	δ (°)	σ_{δ} (°)	Test	A_3 (°)	Δ (°)	Notas
BEAS	XIV	-6.7930	37.4263	37.8	69.5	0.54	0.3	16.01	0.49				
JEREZ DE LOS CABALLEROS	< XV	-6.7714	38.3222	38	70.8	0.55	1.2	15.48	0.50				
VIVEROS	XVI?	-2.5756	38.7736	29.3	71.8	0.70	0.2	13.91	0.60				
CARMONA	XV	-5.6400	37.4714	37.2	73.0	0.55	1.9	14.41	0.51	A	76.7	3.7	[6]
POZOBLANCO	XIV	-4.8506	38.3733	27.5	74.4	0.74	1.8	13.11	0.64	A	76.1	<u>1.7</u>	
MURCIA	XIII?	-1.1305	37.9854	51.4	75.4	0.40	0.4	11.42	0.42	A	74.5	-0.9	
ESPEJO	1483	-4.5543	37.6802	41.2	75.6	0.50	0.3	11.22	0.48	A	75.8	0.2	
LA CORONADA	XV	-5.6720	38.9210	31.4	76.2	0.70	0.6	10.78	0.61	A	75.3	-0.9	
FUENTEBUENA DE BÉJAR	XVI?	-5.7767	40.4189	19	76.4	1.07	10.5	17.06	0.87	A	84.3	7.9	
CAMPILLO DE LLERENA	XV	-5.8309	38.5002	41.1	78.2	0.50	0.9	9.51	0.49	B	79.8	<u>1.6</u>	
NERVA	XVI?	-6.5510	37.6952	30.5	78.6	0.70	1.3	9.57	0.62	B	80.6	2.0	[7]
CUMBRES DE SAN BARTOLOMÉ	XIII	-6.7431	38.0770	40.7	78.9	0.51	3.4	10.69	0.50	A	77.2	<u>1.7</u>	
BAENA	1448	-4.3309	37.6142	37	79.5	0.59	1.6	9.08	0.55	B	80.6	1.1	
JAÉN	XIV	-3.7911	37.7680	25.5	80.3	0.91	2.2	8.83	0.78	B	80.7	0.4	
BIENSERVIDA	XVI	-2.6110	38.5153	42.8	80.8	0.51	6.5	11.17	0.50	A	80.9	0.1	
MONTORO	XV	-4.3815	38.0265	40.2	80.9	0.51	1.3	7.76	0.50	B	84.9	4.1	
SANTA CRUZ DE LOS CAÑAMOS	XV	-2.8684	38.6377	29	81.7	0.74	0.7	6.63	0.65	B	80.2	-0.6	
MORENTE	< XVI	-4.4112	37.9311	27.6	81.9	0.75	2.8	7.98	0.66	B	81.6	-0.3	[8]
VILLARODRIGO	XV	-2.6351	38.4858	36.3	82.7	0.57	7.7	10.41	0.54	A	76.1	<u>1.7</u>	
PATERNA DEL CAMPO	XIII	-6.4013	37.4212	37	83.5	0.57	0.6	5.28	0.54	B	85.5	2.8	
										C	79.3	-4.1	
										C	84.0	0.6	

NOTAS:

[6] Ermita del XIV convertida en parroquia. En reforma del XX se invierte su orientación. Se reporta la orientación primitiva.

[7] Sobre su cronología solo se conoce una inscripción en las paredes de la iglesia que dice: «se hizo el año 1599». El cálculo de A_3 se refiere a los límites del calendario Juliano.

Con cronología de mediados del XV la diferencia se reduce a 1.7° , que aún excede $2\sigma_{\theta}$.

[8] Cálculo basado en cronología de mediados del XV. Con cronología de mediados siglo XIV la diferencia es de -0.7° .

Tabla 1. CONTINUACIÓN

Localidad	Cronología	φ (°)	λ (°)	L (m)	$\bar{\theta}$ (°)	σ_{θ} (°)	γ (°)	δ (°)	σ_{δ} (°)	Test	A_s (°)	Δ (°)	Notas
ALDEA CENTENERA	XVI	-5.6282	39.5273	30.3	84.4	0.68	3.7	6.54	0.61	B	82.6	-1.8	
AGUADULCE	XVIII	-4.9932	37.2520	25.5	84.5	0.82	3.4	6.30	0.72	C	85.9	<u>1.5</u>	
NAVALPINO	XIV	-4.5912	39.2253	23.1	85.0	0.88	2.7	5.42	0.75	C	85.4	0.4	
ABEJUELA-LETUR	XVII	-2.0397	38.3638	23	85.0	0.88	0.2	3.73	0.76				
VILLALBA DEL ALCOR	XV	-6.4762	37.3973	44.2	85.7	0.51	0.6	3.50	0.50	C	83.7	-2.0	
HERGUJUELA	XVI	-5.7589	39.3745	34	87.8	0.60	2.6	3.18	0.56	C	84.9	-2.9	
REAL DE LA JARA	XV	-6.1557	37.9507	24.4	90.8	0.84	4.6	2.09	0.73	D	90.0	-0.8	[9]
GRANADA	1524	-3.5941	37.1837	31.2	91.7	0.65	4.8	1.45	0.60	D	90.0	<u>1.7</u>	
ALHAMBRA DE CIUDAD REAL	1214	-3.0537	38.8996	36.7	92.1	0.62	0.5	-1.61	0.57	D	90.0	2.1	
PETRETER	XVIII	-0.7695	38.4850	40.2	94.0	0.53	7.1	1.26	0.51				[10]
TARAZONA DE LA MANCHA	XVI	-1.9121	39.2653	40	97.9	0.51	0.3	-6.21	0.50				[11]
ANDUJAR	XV-XVI	-4.0588	38.0403	40.8	99.3	0.50	0.6	-7.26	0.49				
CENES DE LA VEGA	1572	-3.5372	37.1594	27	99.4	0.76	6.5	-3.54	0.67				
RETUERTA DE BULLAQUE	XVI?	-4.4090	39.4614	38.2	100.7	0.54	2.6	-6.74	0.51				
VALVERDE DE LEGANÉS	< XVI	-6.9832	38.6705	37	150.2	0.59	1.7	-41.51	0.31				[12]
ROCJANA DEL CONDADO	XX	-6.5987	37.3077	33.2	154.2	0.65	0	-46.23	0.33				[13]
CAMPO DE MIRRA (IGLESIA)	XVIII	-0.7795	38.6868	35.2	210.4	0.62	5.6	-37.66	0.31				
BENIEL	XVIII	-1.0017	38.0464	29.7	244.2	0.70	1	-19.65	0.57				
POZUELO	XIX	-2.1019	38.8092	36	246.8	0.58	0.8	-17.66	0.50				[14]
EL SABINAR	XVIII	-2.1551	38.2055	23.2	297.9	0.91	4.3	24.25	0.72				
LOS CERRICOS (ORJA)	XIX	-2.2034	37.5338	28	302.5	0.75	1.8	26.21	0.59				

NOTAS:

- [9] En este lugar estaba la mezquita Alburriana, derribada en 1524 para la construcción de la actual iglesia, que se remató en 1574.
- [10] Su construcción comenzó en 1779 sobre los restos de una iglesia anterior, de cronología desconocida.
- [11] Las primeras noticias que se tienen del edificio datan de 1530, pero los primeros datos constatados de su construcción no se encuentran hasta 1549.
- [12] Se sabe que en los inicios del siglo XVI (1530 -1535) se hicieron reformas para ampliar la antigua iglesia.
- [13] Se edificó en torno a los años 1936-1958 para sustituir a la anterior parroquia mudéjar perdida tras la guerra civil.
- [14] Se construyó sobre una pequeña iglesia que se encontraba en estado ruinoso y fue terminada en 1810. De la anterior se desconoce orientación y cronología.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. MUESTRA S1: MEDIDAS ANGULARES, SPD Y CONTRASTE DE LA HIPÓTESIS NULA A (DISTRIBUCIÓN ALEATORIA DE AZIMUTS)

La Tabla 1 recoge la localización geográfica y la cronología de las iglesias de San Bartolomé definidas en la muestra S1, junto con de las medidas de su longitud, azimut (valor medio con su error absoluto), altura del horizonte local (para la que se asume un error de 0.5°), y cálculo de declinación, con su error propagado (Ecs. 1 y 2). El listado está ordenado por valores crecientes del azimut.

Para el conjunto de iglesias de la muestra S1, la longitud de la nave principal estuvo en el rango de 19.0 a 51.4 m, con una media de 33.2 m, resultando en incertidumbres para el azimut de entre 0.39° y 1.1° , con media de 0.64° (calculadas para $\sigma_{x,y} = 0.5$ m). La desviación estándar en las medidas repetidas 5-6 veces estuvo en el rango de 0.11° a 1.1° , con una media de 0.35° . La desviación estándar de la media estuvo entre 0.05° y 0.45° , con media de 0.15° . El error absoluto combinado de las medidas estuvo entre 0.40° y 1.1° , con media de 0.66° .

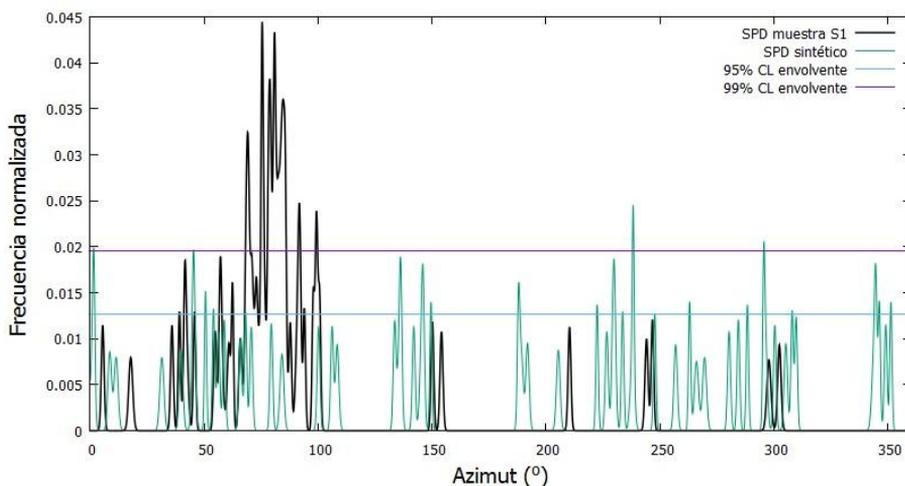


Fig. 5. Suma normalizada de densidades de probabilidad (SPD) para los azimuts de la muestra empírica S1 (Tabla 1), junto con un ejemplo de SPD sintético generado con una distribución puramente aleatoria de azimuts en el intervalo $[0, 360)$ con el mismo tamaño muestral ($n = 57$) y con valores de σ_θ seleccionados al azar de entre los de la muestra S1 (Tabla 1). Los SPDs están contruidos con una resolución de 0.1° . En la gráfica se muestran las envolventes para un nivel de confianza de 95% y 99%, respectivamente, ambas contruidas a partir de 4000 SPDs sintéticos como el del ejemplo.

La Fig. 5 muestra el SPD de la muestra S1, junto con un ejemplo de SPD sintético que representa la hipótesis nula A. Las envolventes para niveles de confianza del 95% y 99% han sido calculadas a partir de 4000 SPDs sintéticos. Esto es, para un valor dado del azimut θ , en el 95% (o 99%) de las 4000 distribuciones de SPDs sintéticos, el valor de la frecuencia normalizada $f(\theta)$ cae por debajo del valor de la envolvente, que, por la simetría intrínseca del problema, toma un valor uniforme en todo el rango de azimuts. El SPD de la muestra S1 presenta altas frecuencias en el intervalo 70° - 100° , definiendo un área de 0.2878 por encima de la envolvente del 95% (nótese que el área total bajo la curva SPD es 1.0 por normalización). Los SPDs sintéticos también presentan pequeñas áreas por encima de esta envolvente, pero ninguna de entre los 4000 SPDs sintéticos resultó mayor que la de la muestra S1. Así, el parámetro de probabilidad, estimado según Silva (2020), resulta $p < 0.0001$, lo que permite rechazar la hipótesis nula A (expresada en términos de frecuencia relativa) con este nivel de confianza.

En la muestra S1, las iglesias con azimuts 35.9° y 100.7° definen un intervalo angular $\Delta\theta = 64.8^\circ$, de manera que en una distribución puramente aleatoria de azimuts, el resultado de la medida de una nueva estructura tendría una probabilidad $p_\theta = 64.8/360$ de caer en dicho intervalo. En la muestra S1 encontramos 46 «éxitos» de entre 55 ensayos. La distribución binomial, con el parámetro p_θ permite calcular la probabilidad de que este resultado se dé por azar, resultando < 0.0001 , lo que permite rechazar la hipótesis nula A, formulada ésta en términos de distribución de azimuts.

3.2. SPD PARA LOS AZIMUTS DE LA MUESTRA S2: ESTUDIO COMPARATIVO CON OTRAS MUESTRAS DE REFERENCIA, Y CONTRASTE DE LA HIPÓTESIS NULA B

Descartada la hipótesis nula de una distribución aleatoria de azimuts, procede preguntarse acerca de las características y de los criterios de la agrupación.

En la sección de introducción se han revisado los criterios de orientación desde las Constituciones Apostólicas de los Siglos III-IV hasta el Concilio de Trento y Carlos Borromeo. Una diversidad de consideraciones prácticas se ha venido imponiendo al criterio de orientación equinoccial, resultando en distribuciones continuas de azimuts sobre un amplio sector del horizonte. Así, un reciente estudio con más de 3014 iglesias construidas en Europa entre el 300 y 1300 (Kräuchi, 2020), mostró que el 66% de las iglesias se ajustaban a una distribución Normal con media 90° y desviación estándar 15° , a la que se superponen un grupo de atractores en 90° (equinoccio astronómico), en los solsticios vernal y estival, en el orto

solar del 21 de marzo y 23 de septiembre, y en la denominada «ventana de Pascua» (festividad móvil en el calendario). La distribución de frecuencias de la muestra S1 (Fig. 5) es bien distinta, estando muy escorada hacia el E-NE.

El interés por la importancia simbólica de la orientación de las iglesias decae después de la influyente obra de Carlos Borromeo. Así, en la Tabla 1 observamos que las iglesias con azimuts más extremos (menores de 30° o mayores de 155°) se adscriben a una cronología del siglo XVII o posterior. Estas iglesias no muestran patrón alguno de agrupación, como puede inferirse de la comparación de estas zonas del SPD empírico con los sintéticos que siguen la hipótesis nula A (Fig. 5). Otra cuestión relevante es que en octubre de 1582 se implanta en España el nuevo calendario gregoriano, que introduce un desplazamiento de 10 días respecto del calendario juliano vigente hasta entonces. Con estas consideraciones se define la submuestra S2, excluyendo de S1 todas aquellas iglesias con una cronología claramente posterior a la vigencia del calendario juliano (aparecen en cursiva en la Tabla 1). La muestra S2 está integrada por 41 iglesias.

Por el contexto histórico la reconversión de las mezquitas en iglesias es una práctica común en el área de estudio, como ya hemos comentado. En la Fig. 6 se compara el curvigrama SPD de la muestra S2 con el de una muestra de la quibla de 82 mezquitas de al-Ándalus compilada por Jiménez (1991) y estudiada en Abril (2021) tras aplicar una rotación antihoraria de 90° , así como con el SPD una muestra de 68 iglesias Gótico-Mudéjares o «Fernandinas» construidas *ex novo* en Andalucía tras la Reconquista de Fernando III y hasta principios del XV (Abril, 2021). De la figura se infiere que la reconversión en iglesias de los espacios ocupados por las antiguas mezquitas explicaría la concentración de orientaciones alrededor del E-NE. En el caso de las iglesias «Fernandinas», destaca un pronunciado pico alrededor del azimut 84° , y que corresponde a la orientación de este subgrupo de iglesias hacia el orto solar sobre el horizonte local en el día del Equinoccio Canónico Abril (2021). Este patrón de orientación se intuye también en el SPD de las iglesias de la Asunción (Fig. 7). En el caso de las iglesias de San Bartolomé, aparecen picos en el SPD alrededor del azimut de 75° , al igual que en las iglesias de la Asunción (Fig. 7), y un doble pico alrededor del azimut de 80° , que pudiera explicarse por la orientación al orto solar en la festividad de San Bartolomé (24 de agosto), debiéndose el desdoblamiento al efecto de la altura del horizonte local. Esta hipótesis será objeto de estudio detallado más adelante. Salvo esta estructura alrededor de los 80° , los SPDs de las iglesias de San Bartolomé y de las iglesias de la Asunción son bastante similares (Fig. 7).

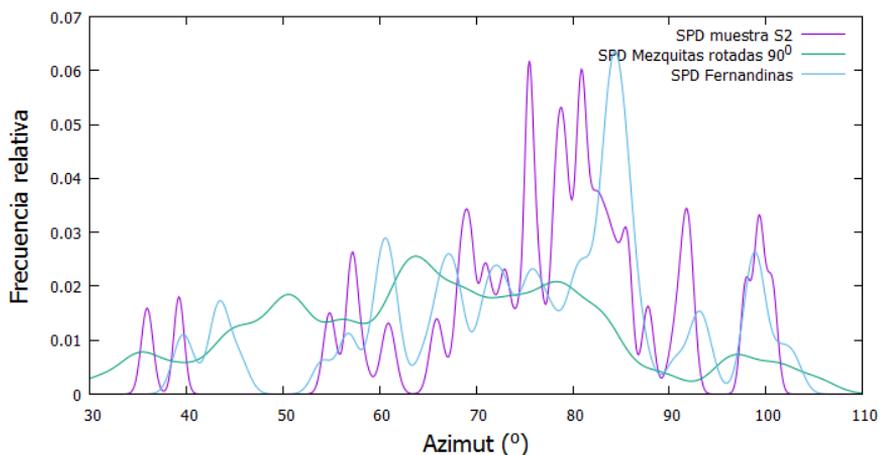


Fig. 6. SPD de la muestra S2 (Tabla 1), con las iglesias dedicadas a San Bartolomé y construidas en la zona de estudio durante la vigencia del calendario juliano. Se compara con el SPD para la quibla de una muestra de 82 mezquitas compilada por Jiménez (1991), tras aplicar una rotación antihoraria de 90° , y usando un valor uniforme de 2.0° para σ_θ . El tercer SPD corresponde a los azimuts de la muestra de 68 iglesias Gótico-Mudéjares, popularmente conocidas como *Fernandinas*, tomadas del trabajo de Abril (2021), y para las que se usa un valor uniforme de 1.0° para σ_θ . Por claridad, la figura enfoca el intervalo de azimuts de 30° a 110° . Sólo una iglesia de S2 cae fuera de este intervalo (Valverde de Leganés, con $\theta = 150.2^\circ$).

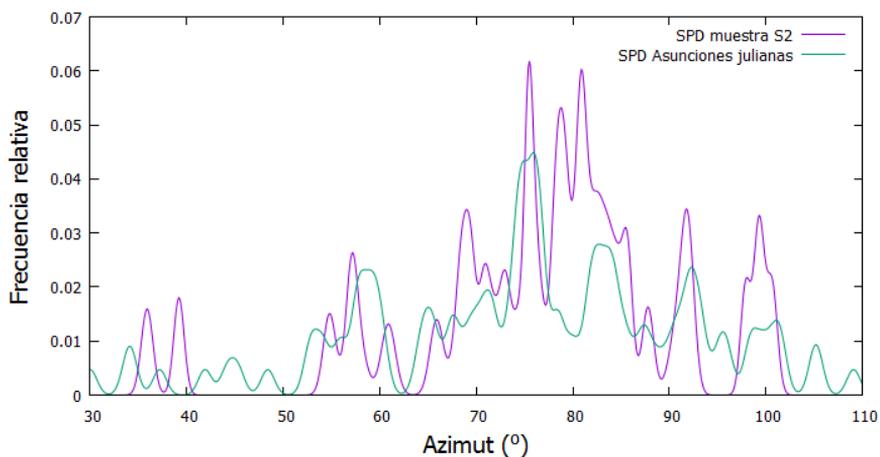


Fig. 7. SPD de la muestra S2 (Tabla 1), con las iglesias dedicadas a San Bartolomé, como en la Fig. 6, comparado con el SPD de un grupo de 121 iglesias dedicadas a la Virgen de la Asunción, y construidas bajo calendario juliano en la misma área geográfica que la muestra S2 (datos tomados de Abril, 2022).

Cabe destacar las altas frecuencias relativas en el SPD de la muestra S2 alrededor del azimut de 100° , que, por simetría, pudiera relacionarse con orientaciones al ocaso solar en la festividad de San Bartolomé. Sin embargo, este pico también aparece en las iglesias «Fernandinas» con una amplia variedad de dedicaciones (Fig. 6). Las altas frecuencias alrededor del azimut 92° aparecen también en el SPD de las iglesias de la Asunción (Fig. 7).

En cuanto a las orientaciones más extremas, el azimut de 150.2° de la iglesia de Valverde de Leganés corresponde a los grandes muros perimetrales del proyecto monumental e inacabado que se inició en 1569. De la primitiva fábrica no tenemos información. El proyecto original del XVI fue abandonado, el brazo derecho de la cruz latina fue transformado en cuerpo principal de la iglesia más modesta que encontramos hoy. De la iglesia de Cherín, con su azimut de 35.9° , sabemos que se trata de una antigua mezquita adaptada a templo cristiano, y que queda dentro del rango de las quiblas rotadas que se muestra en la Fig. 6. Para el caso de Feria, con 39.2° , no hemos localizado referencias documentales sobre usos anteriores de su emplazamiento.

Para el estudio cuantitativo de la significancia estadística de un pico definiremos una región de interés (ROI), como un intervalo que fija los límites del pico o múltiple a estudiar, como las dos que aparecen en el gráfico de la Fig. 8. Los mínimos relativos y puntos de inflexión pueden ayudar a definir la ROI, sin excluir otros criterios.

En la formulación débil de la hipótesis nula B sólo hay que cuantificar los valores locales de la frecuencia relativa que caracteriza a la subpoblación de fondo (la que no es sensible a potenciales atractores en la ROI). Para muestras de gran tamaño (n grande) un procedimiento sencillo es tomar los puntos extremos de la ROI y calcular el área del trapecio que definen, siendo este valor el parámetro de probabilidad \bar{p}_R de la distribución binomial que usaremos para calcular la probabilidad de obtener k éxitos (el número total de estructuras dentro de ROI) de los n ensayos de Bernouilli. El parámetro p_R sigue una distribución Normal de media \bar{p}_R y desviación estandar $\sigma_p = \sqrt{\bar{p}_R(1 - \bar{p}_R)/n}$, de modo que el valor $p_{R,\alpha} = \bar{p}_R + 1.6485 \sigma_p$ es la cota superior para un nivel de confianza del 95%¹⁰. El pico o múltiple resultará significativo a este nivel de confianza si la distribución binomial¹¹ $P_{r,\alpha}(k, n, p_{R,\alpha}) < 0.05$.

¹⁰ Nos referimos al conjunto de los trapecios que podríamos definir en SPDs de réplicas muestrales.

¹¹ Distribución binomial: $P_r(k, n, p_\theta) = \frac{n!}{k!(n-k)!} p_\theta^k (1 - p_\theta)^{n-k}$.

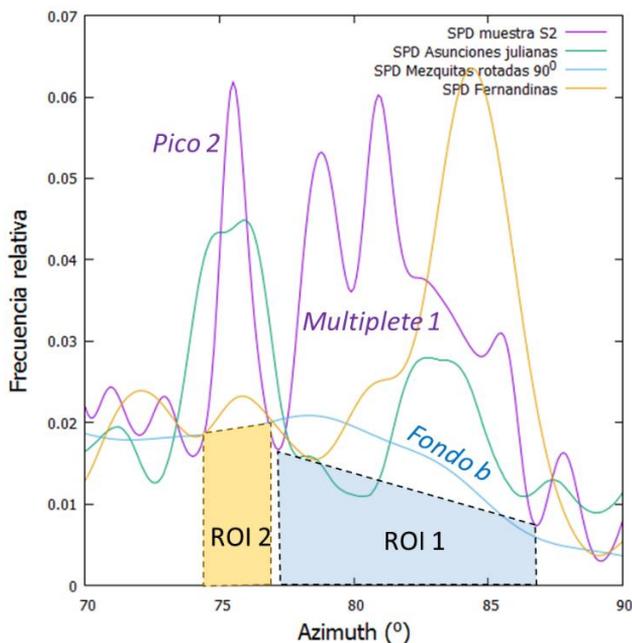


Fig. 8. SPDs de las figuras 6 y 7, con foco en el intervalo de azimuts de 70° a 90°, mostrando las dos regiones de interés que se definen para el contraste de la hipótesis nula B en su versión débil, con dos estimaciones alternativas del fondo: I) área de los trapecios; II) área bajo la curva del SPD «Fondo b» (rotación de 90° de las quiblas de la muestra de mezquitas).

En la Fig. 8, para ROI-1 el área del trapecio es $\bar{p}_R = 0.115$, con $\sigma_p = 0.0498$. La integral del SPD dentro de ROI 1 es 0.349, lo que corresponde a $k = 14$ (redondeo al entero más próximo). Así, $P_{r,\alpha}(14, 41, 0.197) = 0.0125$. De acuerdo con esta estimación del fondo local, el multiplete en la región ROI 1 corresponde a una agrupación de estructuras cuya orientación no puede explicarse como una fluctuación estadística de dicho fondo.

El SPD para la quibla rotada 90° de la muestra de mezquitas puede tomarse como una estimación alternativa del fondo local (fondo b en la Fig.8). ROI-1 se redefine por la intersección del SPD de la muestra S2 y el del fondo b. El área bajo la curva de fondo b es $\bar{p}_R = 0.145$, con $\sigma_p = 0.055$. La integral del SPD dentro de ROI 1 es 0.342, lo que corresponde a $k = 14$. Así, $P_{r,\alpha}(14, 41, 0.235) = 0.040$. Esto es, con la nueva formulación cuantitativa de la hipótesis nula B (versión débil), el multiplete sigue representando una agrupación de estructuras estadísticamente significativa.

Para el pico en ROI-2, la cuantificación del fondo por el método del trapecio y por el fondo b son muy próximas ($\bar{p}_R = 0.0468$, $\sigma_p = 0.033$). El tamaño de la muestra no es lo suficientemente grande como para asegurar la consistencia del análisis estadístico basado en la distribución binomial (no se verifica $\frac{\sigma_p}{\bar{p}_R} < 0.5$; véase Abril, 2022). El análisis conjunto de las dos ROIs muestra que la agrupación de estructuras es de significancia estadística al 95% de confianza, con $P_{r,\alpha}(19, 41, 0.319) = 0.0196$.

La versión fuerte de la hipótesis nula B puede contrastarse con el método de la curva envolvente a un nivel de confianza dado, y, en principio, resulta aplicable para cualquier tamaño de muestra. Aquí la hipótesis nula declara que no existe ningún atractor, de modo que sólo hay una población con un único criterio de agrupamiento, que debe especificarse de manera cuantitativa. El procedimiento práctico asume que existe una distribución límite de densidad de probabilidad, que puede determinarse con los métodos al uso de ajustes de distribuciones. Aquí usamos el software Statgraphics Centurion v. 18.1. El conjunto de azimuts de la muestra S2 se ajusta a una distribución Normal con media 78.62° y desviación estándar 18.32° , verificando el test de normalidad de Kolmogorov-Smirnov con un valor $p = 0.502$. Siguiendo el método descrito en Abril (2022), esta distribución límite se usa para generar SPDs sintéticos con azimuts que siguen la hipótesis nula, con el mismo tamaño de muestra ($n = 41$), y con valores de σ_θ muestreados aleatoriamente de los datos empíricos de S2. En la Fig. 9 se muestran algunos ejemplos.

A partir de 2000 SPDs sintéticos hemos estimado la curva envolvente para niveles de confianza del 50% y del 95%, como se muestra en la Fig. 10. Las regiones I [74.8° , 76.8°] y II (multiplete en [78.6° , 82.2°]), definidas por el curvigráfico SPD de la muestra empírica y la distribución límite (Fig. 9), permiten calcular el parámetro de probabilidad p (Silva, 2020; Abril, 2022), que toma valores de 0.048, y 0.079, respectivamente. La región I representa una desviación de la hipótesis nula B, tal como se ha cuantificado en este test, que es estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 95% o superior. La región II quedaría ligeramente por debajo del límite de aceptabilidad. Al contar todas las estructuras en la estimación de la distribución límite, incluidas la del potencial atractor, se sobreestiman los SPDs sintéticos en esta región, por lo que el rechazo de la hipótesis nula es concluyente, mientras que casos como los de la región II quedan abiertos a una revisión de la estimación de la distribución límite, particularmente en casos con modesto tamaño de muestra.

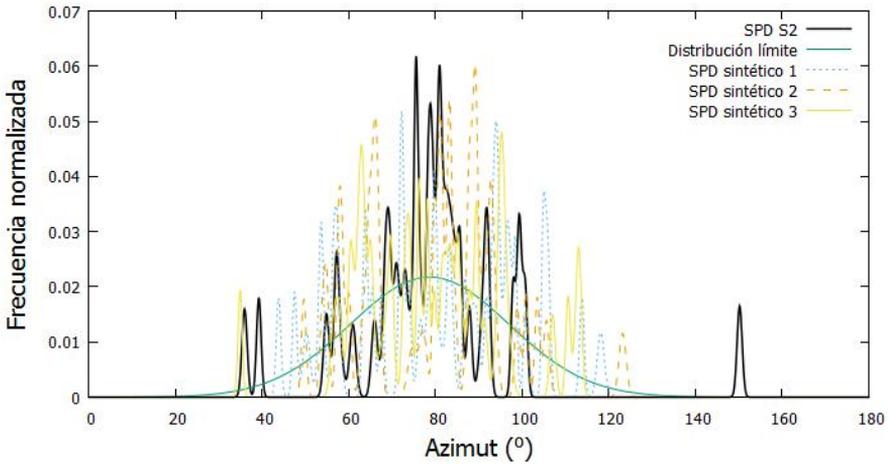


Fig. 9. Suma normalizada de densidades de probabilidad (SPD) para la muestra empírica S2 (Tabla 1), y para tres muestras sintéticas del mismo tamaño ($n = 41$) y características que S2 (los valores de σ_θ son muestreados aleatoriamente de S2), pero con azimuts que se distribuyen según la distribución límite (Normal con media 78.62° y desviación estándar 18.32°) que cuantifica la versión fuerte de la hipótesis nula B.

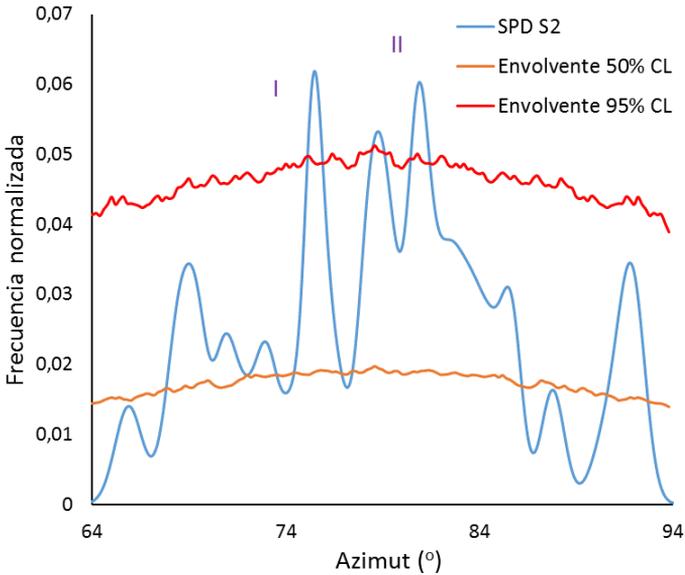


Fig. 10. Detalle del SPD de azimuts para la muestra empírica S2 (Tabla 1) y curvas envolventes al 95% y 50% de nivel de confianza, calculadas a partir de 2000 SPDs sintéticos como los de la Fig. 9. La significancia estadística se cuantifica para las regiones I y II que se indican en la gráfica.

3.3. CURVIGRAMA SPD DE DECLINACIONES PARA LA MUESTRA S2

La Fig. 11 muestra un detalle del SPD de declinaciones para la muestra empírica S2, centrado en el rango $[0^\circ, 20^\circ]$. Se ha calculado numéricamente aplicando la Ec. 3 con los datos de la Tabla 1, usando una resolución angular de 0.1° . Debe notarse el efecto de contracción del dominio angular en el que queda definida la muestra. Efectivamente, la transformación de la Ec. 1 arroja el mismo valor de la declinación para azimuts que difieren en 180° ; y para horizonte astronómico (altura angular nula) el intervalo de valores de θ $[0^\circ, 180^\circ]$ se transforma en el intervalo $[-\text{asin}(\cos \lambda), \text{asin}(\cos \lambda)]$. Así, para una latitud geográfica de 38.4° (valor medio en la muestra S2), el intervalo posible de declinaciones con horizonte astronómico sería $[-51.6^\circ, 51.6^\circ]$. La contracción angular no es uniforme en todo el intervalo. Para la muestra concreta S2, los valores de la declinación (Tabla 2) están entre -41.5° y 47.4° . Por otro lado, la fórmula de propagación de errores (Ec. 2) combina las contribuciones de los errores en las medidas del azimut y de la altura angular, lo que resulta en errores absolutos de las declinaciones del mismo tamaño que los de los azimuts. El efecto global es una pérdida de resolución angular y un mayor grado de solapamiento de picos o atractores próximos.

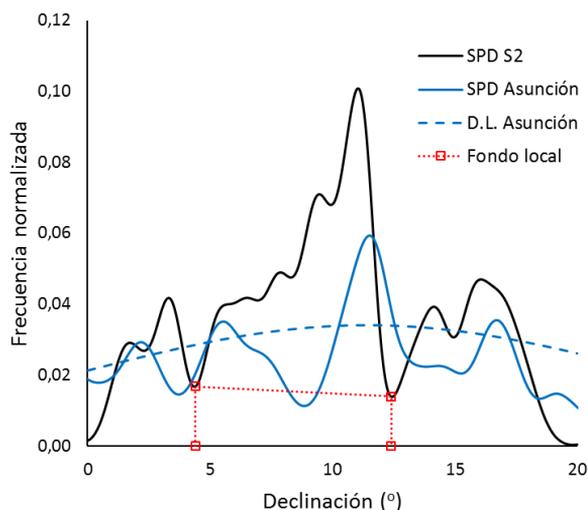


Fig. 11. Suma normalizada de densidades de probabilidad (SPD) para las declinaciones de la muestra S2 (Tabla 1), junto con la SPD de la muestra de 121 iglesias de la Asunción compilada por Abril (2022). Se muestra también la distribución límite de densidad de probabilidad que sigue ésta última muestra, ajustada a una distribución Normal de media 11.42° y desviación estándar 11.74° . En línea roja discontinua se muestra el trapecio que resulta de la estimación de los valores locales del fondo.

La estructura de pico más multiplote en la región de azimuts de 75° a 85° en la Fig. 8, se transforma en la Fig. 11 en un apilamiento de declinaciones con un máximo en 11.1° , que también aparece en la muestra de las Asunciones, y que corresponde con el orto solar en la festividad de la Asunción (15 de agosto) en el rango de fechas julianas de su puesta en planta. Nótese que, tal como se infiere de los test presentados en la Tabla 1, este pico está contribuido por iglesias con azimuts próximos a los 75° y horizontes de baja altura angular (como Espejo, La Coronada, Pozoblanco y Murcia), pero también por azimuts de 80° y mayores, acompañados de horizontes con gran altura angular (como Bienservida y Villarodrigo). Más adelante volveremos sobre este resultado, que parece insinuar que algunas de estas iglesias habrían podido tener en su origen una dedicación mariana con patrón de orientación a su sol de agosto.

A diferencia del caso de las Asunciones, el SPD de S2 muestra una cola o apilamiento a su izquierda, que apunta extremos relativos en 9.6° y 8° . La declinación solar en la festividad de San Bartolomé (24 de agosto), varía de los 8.8° a mediados del siglo XIII a los 7.9° de finales del XVI (en el límite de vigencia del calendario juliano), en buena correspondencia con el apilamiento arriba comentado.

El análisis cuantitativo de la versión débil de la hipótesis nula B puede aplicarse al SPD de declinaciones. Con la estimación del fondo local por el área del trapecio que define la ROI (4.4° , 12.4°), las estructuras que contiene serían una agrupación estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 95% o superior ($P_{r,\alpha} = 0.002$). Si se usa la distribución límite de la muestra de iglesias de la Asunción (Fig. 11) como estimación del fondo local, la nueva ROI definida por las intersecciones con el SPD de S2 arroja un valor de $\bar{p}_R = 0.227$, que, por tratarse de una distribución límite, puede usarse para la estimación de la probabilidad binomial $P_r = 0.009$. Aquí la incertidumbre procede de la bondad de la distribución límite aceptada (error de modelo). La probabilidad binomial P_r seguiría quedando por debajo de 0.05 para estimaciones de \bar{p}_R que excedan hasta en un 27% a la obtenida con esta distribución límite.

3.4. CÁLCULO DEL ORTO SOLAR SOBRE EL HORIZONTE LOCAL

La comparación de los azimuts de las iglesias con el orto solar sobre el horizonte local en la fecha significativa de calendario en el tiempo de su fundación brinda otra vía complementaria para el contraste de hipótesis. En la Tabla 1 se recogen cuatro test: festividad de la Asunción (A; 15 de agosto), festividad de San Bartolomé (B; 24 de agosto), equinoccio canó-

nico (C; 25 de marzo), y cardinal Este (D; $\bar{\theta}=90^\circ$). Los casos con diferencias entre azimuts de la iglesia y del orto solar menores que $2\sigma_\theta$ se resaltan en negrita. No obstante, el criterio de aceptabilidad debe relajarse para tener en cuenta la incertidumbre de arquitecto, estimada por algunos autores en el rango de 1° - 2° para azimuts (Ali y Cunich, 2001; Abril, 2020). Por ello, en la Tabla 1 aparecen subrayadas las desviaciones angulares tales que en valor absoluto superan $2\sigma_\theta$, pero son menores de 2° .

El análisis de los curvigramas SPD ha mostrado la existencia de una subpoblación de fondo que explica la existencia de estructuras distribuidas en el rango de 30° a 150° de azimuts, a la que se superpone otra subpoblación de estructuras cuyos azimuts se concentran en el entorno de los 74° a 87° . De forma más precisa, de las 19 iglesias de la muestra S2 en el intervalo (74° , 87°), 7 ± 2 corresponderían a la subpoblación de fondo, que es insensible a los atractores del intervalo, mientras que el resto, 12 ± 2 , seguirían varios atractores relacionados con el orto solar. A la subpoblación de fondo parecería plausible adscribir aquellas iglesias en el intervalo de azimuts que no se ajustan a ninguno de los test, como Fuentebuena de Béjar ($\Delta = 7.9^\circ$). Sin embargo, no puede afirmarse lo contrario; de modo que iglesias con un buen ajuste a los test podrían perfectamente pertenecer a la subpoblación de fondo.

Hay dos atractores que destacan, y cuya significancia estadística conjunta puede reconocerse con el contraste de la hipótesis nula B. Por un lado, tendríamos a las iglesias cuyo azimut coincide (dentro de los márgenes de tolerancia fijados) con el orto solar sobre el horizonte local en la festividad de San Bartolomé. Cuatro presentan desviaciones absolutas menores que $2\sigma_\theta$ en el test B (Baena, Jaén, Montoro y Morente), y otras dos tienen desviaciones menores de 2° (Campillo de Llerena y Aldea Centerna). Por otro lado, tendríamos las iglesias, actualmente dedicadas a San Bartolomé, pero cuya orientación se ajusta al orto solar en la festividad de la Virgen de la Asunción (15 de agosto). Tres presentan desviaciones absolutas menores que $2\sigma_\theta$ en el test A (Espejo, La Coronada, y Bienservida), y cuatro presentan desviaciones menores de 2° (Pozoblanco, Murcia, Cumbres de San Bartolomé y Villarodrigo). La orientación de las iglesias al orto solar sobre el horizonte local en el equinoccio canónico (25 de marzo) es otro posible atractor, que ha sido documentado para un subgrupo de iglesias «Fernandinas», independientemente de su dedicación (Abril, 2021). Dentro del intervalo estudiado, las iglesias de Paterna del Campo y Navalpino se ajustan al test C con desviaciones absolutas menores que $2\sigma_\theta$, mientras que la iglesia de Aldea Centenera también sería compatible con este criterio, con una desviación de 1.5° .

Fuera del intervalo (74° , 87°), no puede descartarse que la orientación al este verdadero ($\theta = 90^\circ$) haya sido el criterio para la orientación de alguna iglesia de la muestra (test D en Tabla 1). Frecuencias relativas altas en esta región aparecen también en la muestra de Asunciones (Fig. 7), si bien su significancia estadística no ha sido probada. Por otro lado, aparece otra concentración de iglesias alrededor del azimut 110° , que también encontramos en la muestra de iglesias «Fernandinas» (Fig. 6). Esta última observación juega en contra de la interpretación de una orientación hacia el ocaso solar sobre el horizonte local en la festividad de San Bartolomé en este grupo de iglesias. No obstante, los cálculos arrojan diferencias de 1.3° , 1.3° , 1.0° y -1.5° para las iglesias de Tarazona, Andújar, Cenes de la Vega y Retuerta de Bullaque, respectivamente. Entendemos que la cuestión de la orientación al sol del ocaso en la festividad de San Bartolomé queda abierta para futuros estudios.

La orientación al orto solar en la festividad de la Asunción es un resultado inesperado para estas iglesias. En la zona geográfica estudiada, un azimut de 75° es aproximadamente el ángulo medio entre los ortos del solsticio estival y de los equinoccios (sobre horizonte astronómico). Dentro del paradigma de la partición del mundo en cuatro sectores, definidos por los ortos y ocasos solsticiales, una subdivisión en cuatro partes del sector oriental pudiera tener cierto significado simbólico (Spinazzè, 2018); y la orientación de la iglesia podría materializarse con otros métodos distintos a la observación del orto solar. Sin embargo, este no parece ser el caso, ya que el atractor funciona con elevadas alturas angulares del horizonte (Tabla 1).

Como explicación plausible cabría considerar la preexistencia de pequeñas iglesias con dedicación mariana, construidas en las primeras etapas del repoblamiento tras la Reconquista y siguiendo el criterio de orientación importado por algunos pobladores del norte (como hemos demostrado con el Románico de Repoblación de Soria, véase Abril, 2020), y que, con posterioridad, y en función de la dinámica particular de cada núcleo de población, habrían terminado con un cambio de dedicación. A favor de esta hipótesis juega la extraordinaria difusión de la devoción mariana ligada al proceso de repoblación tras la Reconquista. Según González-Jiménez (2016–2017), «en todas las villas y ciudades andaluzas se le dedicó a la Virgen María por lo menos una iglesia, generalmente la iglesia mayor, y, por supuesto, las catedrales».

No obstante, la hipótesis no es fácil de probar, dada la escasez de fuentes documentales para los primeros tiempos tras la Reconquista en esta zona geográfica. Sirva de ejemplo el caso de Espejo. Sabemos que Pay Arias de

Castro levanta en este lugar un castillo a finales del siglo XIII, y más tarde, en 1303, Fernando IV le concede el privilegio de repoblación. La consagración eclesiástica del señorío la consigue Pay Arias en 1309 por bula del Papa Clemente IV, entre otros motivos por haber edificado una iglesia. Extinguida la saga de los Pay Arias, la titularidad del señorío pasaría a la Casa nobiliaria de los alcaides de los Donceles, señores de Lucena y Chillón. De la actual iglesia de San Bartolomé sabemos que fue construida junto al castillo a finales del siglo XV (1483), pero se desconoce la vinculación que pudiera tener con la medieval de los Pay Arias (véase IAPH, 2021).

Fue en el siglo XIV cuando la Orden de Alcántara funda La Coronada. Arcos Franco (1998) nos detalla el proceso constructivo de la iglesia de San Bartolomé de esta población. El autor alude a la fiebre constructiva de finales del XV, en la que las primitivas iglesias construidas tras la Reconquista van a ser destruidas y rehechas, o profundamente reformadas. Las estructuras arquitectónicas más antiguas que documenta en esta iglesia de La Coronada datan precisamente de finales del XV, mientras que el resto de la obra se realiza a finales del XVI, y con nuevas intervenciones en el XVII y XVIII. Se desconoce si hubo o no una pequeña iglesia medieval entre el tiempo de su primer poblamiento, a mediados del XIV, y finales del XV.

Es de notar que la revisión de la cronología de estas iglesias sólo afecta ligeramente al valor de la desviación angular Δ , sin alterar sustancialmente los resultados del test A.

3.5. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

Para una iglesia particular, el buen acuerdo entre su azimut y el del orto solar no es prueba de pertenecer a una subpoblación sensible al atractor. La distribución espacial de las iglesias que se ajustan a estos patrones de orientación sí puede aportar nuevas evidencias sobre contextos geográficos donde esta práctica haya podido ser común. En este sentido, resulta especialmente llamativa la concentración de casos en la región oriental de la provincia de Córdoba, en la que centraremos este estudio.

En el trabajo de Abril (2020), se identificaron en esta zona cuatro iglesias de dedicación mariana con patrón de orientación al orto solar del 15 de agosto: Castro del Río, Montoro, Bujalance y Cañete de las Torres. Todas con la advocación de la Asunción, aunque la de Montoro, ya no dedicada al culto, se conoce como Santa María de la Mota. A este grupo habría que añadir la iglesia del desaparecido asentamiento de Alcocer, en el término de El Carpio, en la medida que pueda probarse un cambio de

dedicación (Abril, 2020). La cronología de este grupo de iglesias sería claramente medieval, de entre finales del XIII y principios del XIV, y las reformas o reconstrucciones posteriores habrían respetado plaza y orientación. En Bujalance se ha documentado también la orientación de su iglesia de San Francisco (siglo XVI) al ocaso solar en la festividad del santo titular. El presente estudio añade en este entorno geográfico las iglesias dedicadas a San Bartolomé en Morente (anexionado a Bujalance a finales del XIX), Montoro y Baena; mientras que en la iglesia de Espejo permanece la incógnita sobre la existencia de una primitiva iglesia con dedicación mariana, de la que la actual de San Bartolomé habría heredado plaza y orientación. Este conjunto, que tiene sus términos municipales conexos, se muestra en la Fig. 12.

Dado que la definición de las muestras ha sido sistemática, puede asegurarse que en las poblaciones del entorno no hay otros casos de iglesias con estas dedicaciones y con estos criterios de orientación. Así, las iglesias de la Asunción de El Carpio, Pedro Abad, Porcuna, Valenzuela y Luque tienen azimuts de 68°, 72°, 91.7°, 152° y 337°, respectivamente. En Adamuz, su iglesia de San Andrés está a 59.5° (solsticial). Las iglesias de la Inmaculada en Villa del Río y Lopera tienen azimuts de 330° y 70.3°, respectivamente.

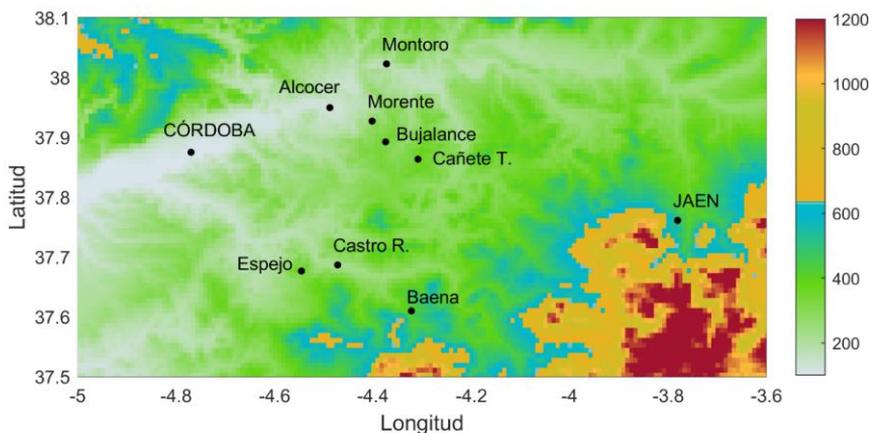


Fig. 12. Conjunto de poblaciones en la región oriental de la provincia de Córdoba con iglesias dedicadas a San Bartolomé Apóstol o a la Virgen de la Asunción, con alineamientos coincidentes con el orto solar sobre el horizonte local en la festividad del santo titular (fuente: el presente estudio y Abril, 2020). Este grupo de poblaciones tiene términos municipales conexos. Se incluye la iglesia de San Bartolomé en Espejo, para la que queda abierta la cuestión de un posible cambio de dedicación. En mayúsculas aparecen las capitales de provincia próximas, como referencias geográficas. La barra de color indica la altitud sobre el nivel del mar.

La proximidad geográfica posibilita la influencia de actores comunes, y aporta carga de verosimilitud para considerar a estas iglesias dentro del grupo sensible a los atractores de orto solar. Así, de la Fig. 8 se infiere que la probabilidad, no sensible al atractor (distribución de fondo), de encontrar una iglesia de la Asunción o de San Bartolomé en el intervalo de $\pm 1^\circ$ alrededor del azimut coincidente con el orto solar en su fiesta patronal, es del orden de 0.04. La probabilidad del suceso compuesto de encontrar el conjunto de estas iglesias reunidas en esta zona geográfica sería una potencia entera de esta cifra, y sencillamente no puede explicarse por mero azar.

El presente estudio, del que esperamos que aporte algo de luz, obviamente no agota el tema. Aun limitándose a la constatación empírica de patrones de orientación de las iglesias basados en el ciclo solar sobre el horizonte local, la diversidad de dedicaciones, la distribución geográfica y su dinámica en el tiempo, plantean retos tan grandes como fascinantes.

4. CONCLUSIONES

Puede descartarse, a un nivel de confianza del 95%, que la suma normalizada de densidades de probabilidad para los azimuts de la muestra S1 (iglesias de San Bartolomé en el sur de España; $n = 57$) proceda de una distribución puramente aleatoria de azimuts sobre los 360° de la circunferencia del horizonte.

En la muestra S1, las iglesias con azimuts más alejados del rango del orto solar son posteriores a 1582, en consonancia con el declive de la importancia simbólica de la orientación de las iglesias tras el Concilio de Trento y la obra de Carlos Borromeo.

En el curvigrama SPD de azimuts de la muestra S2 (subconjunto de S1 con cronología anterior a 1582; $n = 41$) se evidencia una distribución de fondo continua, compatible con el rango de la quibla de las mezquitas de al-Ándalus tras una rotación antihoraria de 90° , en buen acuerdo con resultados previos encontrados para iglesias gótico-mudéjares e iglesias de la Asunción en esta zona geográfica.

Sobre la anterior distribución continua en el curvigrama SPD de S2, se superpone una agrupación de iglesias con azimuts en el intervalo (74° , 87°) que, a un nivel de confianza del 95%, obedecen a criterios específicos de orientación, como prueba la comparación con distribuciones de iglesias de la Asunción y «Fernandinas», y el contraste de la hipótesis nula B. Se trata de alineamientos al orto solar sobre el horizonte local en la festividad de San Bartolomé (24 de agosto) y de la Virgen de la Asunción (15 de agosto). Estos resultados son confirmados con el análisis del curvigrama

SPD de declinaciones para la muestra empírica S2, y por los cálculos del orto solar sobre el horizonte local.

De las 19 iglesias de la muestra S2 en el intervalo (74°, 87°), 7 ± 2 corresponderían a la subpoblación de fondo, que es insensible a los atractores del intervalo. El (29 ± 5) % de las iglesias de la muestra S2 siguen los alineamientos al orto solar arriba indicados.

Las alineaciones al orto solar del 15 de agosto en algunas iglesias de S2 sólo puede entenderse por cambios de dedicación asociados al proceso generalizado durante el XV de reforma, ampliación y reconstrucción de las primitivas iglesias construidas tras la Reconquista.

El análisis de la distribución espacial, que se focaliza en la región oriental de la provincia de Córdoba, revela un conjunto de poblaciones colindantes que siguen patrones de orientación al orto solar, y que podrían haber sido el área de trabajo o influencia de un grupo de constructores seguidores de estos usos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abril, J.M. (2017): «Evidence of Churches Aligned to the Sun on the Patron Saint's Day in Southern Spain after the Twelfth Century». *Journal of Skyscape Archaeology*, 3 (1): 29-48.
- (2018): «Estudio arqueoastronómico y arqueométrico de la arquitectura religiosa de Bujalance». En *Bujalance. Universo de pueblo campiñés*; Coord. J. Cosano Moyano y J. M. Abril Hernández, ISBN 978-84-948639-0-5, págs. 83-112.
- Abril, J.M., Morena-López, J.A. (2018): «Archaeoastronomical Study on the Iberian-Roman Sanctuary of Torreparedones (Baena, Spain)». *Journal of Skyscape Archaeology*, 4 (1): 26-51.
- Abril, J.M. (2020): «Estudio arqueoastronómico de las iglesias de la Asunción en los poblamientos cristianos tras la reconquista de las provincias de Córdoba y Soria». *Boletín de la Real Academia de Córdoba de Ciencias, Bellas Letras y Nobles Artes*, ISSN 0034-060X, vol. 99, n.º 169, pp. 533-560.
- (2021): «The Orientation of Gothic-Mudéjar Churches in Southern Spain: The Rotation of the *Qibla* and sunrise on the Canonical Equinox». *Journal of Skyscape Archaeology*, 6 (2): 182–206.
- (2022): «Analysis of Structures' Orientations in Archaeoastronomy: Methods for the Quantitative Statistical Assessment of Peaks in Composite Probability Distributions». *Journal of Skyscape Archaeology*, 7 (2). En prensa.
- Allen, A.S. (2016): «Church Orientation in the Landscape: a Perspective from Medieval Wales». *Archaeological Journal*, 173:1, 154-187.

- Ali, J. R. and P. Cunich (2001): «The Orientation of Churches: Some New Evidence». *Antiquaries Journal* 81: 155–193. <https://doi.org/10.1017/s0003581500072188>
- Arcos Franco, J.M. (1998): «La Iglesia de San Bartolomé de La Coronada (Badajoz): Aproximación a su proceso constructivo». *Norba-Arte XVIII-XIX* (1998-1999) pp. 105-123.
- Bennett, G.G. (1982): «The Calculation of Astronomical Refraction in Marine Navigation». *Journal of Navigation* 35(2): 255–259.
- Bevington, P.A. and D. K. Robinson (2003): *Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences* (3rd edition). New York: McGraw-Hill.
- Blaauw, S.L. de (2012): «In View of the Light: A Hidden Principle in the Orientation of Early Christian Church Building». C. Cawthra, trans. In *Medieval Art and Architecture*, edited by P. Piva, 15–45. Milan: Jaca Book.
- Castro, C. (1657): *Historia Eclesiastica y Seglar de la Colonia Betis, ahora Ciudad de Bujalance*. Granada. www.bibliotecavirtualdeandalucia.es
- Čaval, S. (2015): «Church Orientations in Slovenia». In *Handbook of Archaeoastronomy and Ethnoastronomy*, ed. C.L.N. Ruggles, 3: 1719–1726. New York: Springer.
- Conferencia Episcopal Española (CEE) (2021): Parroquias de cada diócesis [online]. Consultado en octubre de 2021, <https://www.conferenciaepiscopal.es/diocesis/>
- García-Ortega, A.J. (2007): *Traza de la planta en el modelo Parroquial Cordobés Bajomedieval*. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/handle/11441/58715>
- García Ortega, A.J. (2015): «De mezquitas a iglesias. Formalización y trazado en los procesos de reconversión de Toledo y Córdoba». *EGA: revista de expresión gráfica arquitectónica* 26: 202-211. <https://idus.us.es/handle/11441/87161>
- Gil, S. and Rodríguez, E. (2001): *Física re-creativa: Experimentos de Física usando nuevas tecnologías*. Ed. Prentice Hall-Buenos Aires ISBN: 987-9460-18-9.
- Gimena Córdoba, P. (2014): *Forma, espacio y estructura en la transición al renacimiento cordobés. Tradición e innovación en la arquitectura de Hernán Ruiz «El Viejo» (h.1479-1547)*. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/handle/11441/73660>
- González-García, A.C. (2015): «A voyage of Christian medieval astronomy: Symbolic, ritual and political orientation of churches». In *Stars and Stones: Voyages in Archaeoastronomy and Cultural Astronomy*, Pimenta, F., Ed.; BAR International Series: Oxford, UK; pp. 268–275.
- González-García, A.C. and J.A. Belmonte (2015): «The Orientation of Pre-Romanesque Churches in the Iberian Peninsula». *Nexus Network Journal* 17: 353–377. <http://dx.doi.org/10.1007/s00004-014-0231-7>

- González-Jiménez, M. (2016-2017): «Devoción mariana y repoblación. Conferencia inaugural de la X Semana de Estudios Alfonsíes». *Alcanate: Revista de estudios Alfonsíes* X, 11-22.
- Hinton, I.D. (2010): *Aspects of the Alignment and Location of Medieval Rural Churches*. PhD Diss., University of East Anglia.
- Hughes I. G., Hase, T.P.A. (2010): *Measurements and their Uncertainties: A Practical Guide to Modern Error Analysis*. Oxford: Oxford University Press.
- Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (IAPH) (2021): Guía Digital del Patrimonio Cultural de Andalucía [online]. Consultado en octubre de 2021 <https://guiadigital.iaph.es/>
- IGN, (2021): Instituto Geográfico Nacional. Iberpix viewer [online]. Consultado en septiembre 2021. <https://www.ign.es/iberpix/visor>
- Jiménez, A. (1991): «La Quibla Extraviada». *Cuadernos de Medinat Al-Zahra* 3: 189-209.
- Kosowsky, M. (2012): *HeyWhatsThat* [online]. Consultado en septiembre de 2021, <http://www.heywhatsthat.com/>
- Kräuchi, K. (2020): How has a Christian church been aligned towards the East? Conclusions from statistical analyses of churches built between 300 and 1300. *Archaeometry*, <https://doi.org/10.1111/arcm.12622>.
- Magli, G. (2015): *Archaeoastronomy: Introduction to the Science of Stars and Stones*. New York: Springer.
- Pérez Valcárcel, J. (1998): «La orientación de las iglesias románicas del Camino de Santiago». En *Actas del Segundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, A Coruña, edited by F. Bores, J. Fernández, S. Huerta and E. Rabasa, 22–24. Madrid: I. Juan de Herrera, SEdHC, U. Coruña, CE-HOPU. pp. 391-396.
- Pérez Valcárcel, J., Pérez Palmero, V. (2018): «La orientación de las iglesias mozárabes». *España Medieval* 41: 171-197. <http://dx.doi.org/10.5209/ELEM.60008>
- Silva, F., (2020): «A probabilistic framework and significance test for the analysis of structural orientations in skyscape archaeology». *Journal of Archaeological Science* 118, 105138. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2020.105138>
- Sousa, A.C., Rosas, L.M. (2014): «La iconografía de San Bartolomé en el sepulcro de D. Pedro I (Monasterio de Alcobaça, Portugal)». *Revista Digital de Iconografía Medieval* VI (12), 81-104. e-ISSN: 2254-853X.
- Spinazzè, E. (2018): «De Quattuor Partibus Mundi. Medieval Sacred Buildings on the Via Francigena in Northern and Middle Italy: Solstice Alignments and Orientations». *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* 18 (4): 241–249. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1478694>
- Vogel, C. (1962): «Sol æquinotialis. Problèmes et technique de l'orientation dans le culte chrétien». *Revue des Sciences Religieuses*, tome 36, fascicule 3-4, 1962. Archéologie paléochrétienne et culte chrétien. pp. 175-211; doi : 10.3406/rscir.1962.2332