

ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO DE LAS IGLESIAS JESUITAS DE ANDALUCÍA PARA SU CARACTERIZACIÓN ACÚSTICA

J. León¹, E. Alberdi², P. Bustamante³, A.L. León⁴

¹ Universidad de Sevilla. Dpto. Construcciones Arquitectónicas 1, ETS Arquitectura, IUACC
{e-mail: jesusleon@us.es}

² Universidad de Sevilla. Dpto. Construcciones Arquitectónicas 1, ETS Arquitectura, IUACC
{e-mail: ealberdi@us.es}

³ Universidad de Sevilla. Dpto. Construcciones Arquitectónicas 1, ETS Arquitectura, IUACC
{e-mail: bustamante@us.es}

⁴ Universidad de Sevilla. Dpto. Construcciones Arquitectónicas 1, ETS Arquitectura, IUACC
{e-mail: leonr@us.es}

Resumen

El Concilio de Trento, como respuesta a la Reforma Protestante, unificó los ritos y estableció la Misa Tridentina en toda la iglesia latina, que otorgaba una mayor importancia a la predicación. Para los jesuitas el interés por la acústica se pone de manifiesto en la discusión sobre la forma más adecuada de cubrir su iglesia madre, Il Gesù de Roma. En Andalucía, la Compañía edifica durante el siglo XVI una muestra de iglesias que responde al modelo de organización espacial y tipológica de Il Gesù, introduciendo otros modelos de planta central en el siglo XVII. El objetivo de esta comunicación es realizar un estudio de las características espaciales, materialidad, posiciones de fuentes sonoras y zonas de audiencia de estas iglesias, como paso previo de análisis de su comportamiento sonoro.

Palabras clave Acústica arquitectónica, patrimonio intangible, acústica de espacios de culto.

Abstract

The Council of Trent, in response to the Protestant Reformation, unified the rites and established the Tridentine Mass throughout the Latin Church, which attached greater importance to preaching. For the Jesuits the interest in acoustics is evident in the discussion about the most appropriate way to cover their mother church, Il Gesù of Rome. In Andalusia, the Company built during the 16th century a sample of churches that responded to the model of spatial and typological organization of Il Gesù, introducing other models with a central plan in the 17th century. The objective of this communication is to carry out a study of the spatial characteristics, materiality, positions of sound sources and audience zones of these churches as a preliminary step of analysis of their sound behaviour.

Keywords: Architectural acoustics, intangible heritage, worship spaces acoustics.

PACS nº. 43.55.Gx

1 Introducción

El concilio de Trento, se desarrolló en un total de veinticinco sesiones entre los años 1545 y 1563. Se convocó como respuesta a la Reforma Protestante con el objetivo de aclarar aspectos de la doctrina de la iglesia católica y unificar los ritos, estableciendo la Misa Tridentina.

El cardenal Carlos Borromeo aplica el decreto tridentino al campo de la arquitectura eclesial y recoge en su libro *Instruktionen Fabricae et Supellectilis Ecclesiasticae*, escrito en 1572 y publicado en 1577, sus *“Instrucciones para la construcción y decoración eclesiástica”* asumiendo la planta de cruz latina con una única nave como la más adecuada para las iglesias. El objetivo principal del libro se refleja en su propio prólogo en el que se indica que *“publicamos las presentes instrucciones para la construcción y la decoración eclesiástica: en ellas se contienen las prescripciones que ya hemos impartido en nuestra Provincia como más oportunas y adecuadas para el decoro y el uso de las iglesias tanto por lo que respecta a la construcción de las propias iglesias, de las capillas, de los altares, de los oratorios, de los baptisterios y de cualquier otro edificio sagrado, como por lo que respecta a los vestidos sagrados, los aparatos, los vasos y cualquier otro utensilio sacro”*.

En dicho libro se recogen instrucciones a cerca de dónde ubicar las iglesias o las características de su fachada, pero es, en el ámbito del diseño de las plantas, donde se manifiesta de manera clara la predilección por la planta en cruz latina y más concretamente de cruz latina y nave única como símbolo del cristianismo, frente a la planta centralizada. Esta última era considerada como la adecuada para las iglesias por los arquitectos del Renacimiento, pero Borromeo la definía como una forma propia de templos paganos, influyendo estos aspectos y otros como la elevación del altar mayor respecto a la nave principal o la modificación de la posición del coro que se separa de los feligreses, en la percepción de la acústica de las iglesias.

También hay que tener en cuenta el tratamiento que el concilio realiza sobre el tema de la música en la iglesia, como se recoge en la sesión del comité del 10 de septiembre de 1562, donde se recomendó que la Misa tenga una función edificante para los fieles, de ahí la puesta en valor de la inteligibilidad, tal como se recoge en el texto del acta.

La importancia de la acústica en las iglesias queda igualmente reflejada en otras cuestiones planteadas y debatidas en los años posteriores al concilio, como la forma de cubrir las iglesias, analizadas por Sendra y Navarro [1] tomando como base cuatro documentos (uno franciscano y tres jesuitas), concluyéndose en ellos que la cubierta plana de madera y la iglesia de nave única, resulta la opción más favorable.

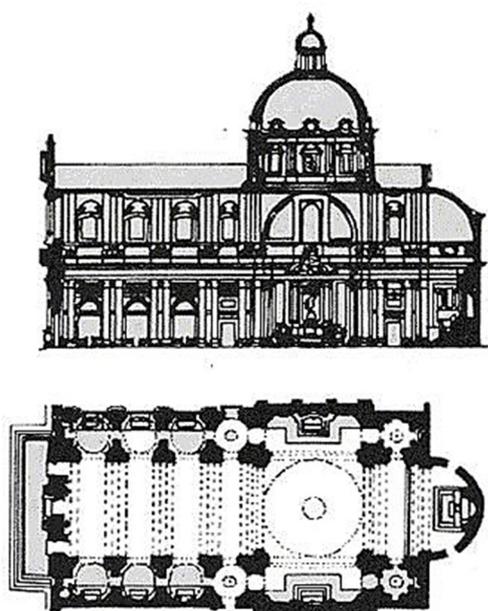


Figura 1. Iglesia de *Il Gesù*, Roma.

La iglesia madre de los jesuitas en Roma, *Il Gesù* (1568-1584), trazada por Giacomo Barozzi da Vignola (figura 1), se adapta al modelo tridentino y al espíritu austero de la Compañía, donde la finalidad principal, la predicación y la administración de los sacramentos, se ve favorecida por un espacio único que garantiza una buena conexión visual entre la nave de la iglesia, donde se ubican los fieles, y el presbiterio, configurándose espacialmente en un único espacio.

Vallery-Radot [2] realiza un inventario de más de 300 plantas de edificios de la Compañía fechadas entre 1580 y 1640, donde se observa que la tipología de nave única con capillas laterales está presente en más de la mitad de las plantas analizadas. Para los jesuitas, esta tipología permitía la segregación de la nave central, dedicada a la predicación, de las capillas laterales, donde podían alojarse tribunas para religiosos y escolares de la Compañía, que escuchaban el sermón separados del resto de los feligreses.

Sin embargo, si bien en un primer momento la elección de la planta en cruz latina y nave única resultó la predilección de los jesuitas, el espíritu de la contrarreforma no impidió la adopción de otros esquemas,

destacando las plantas centrales, desarrolladas principalmente a partir de plantas circulares, cruces griegas o plantas elípticas.

2 Objetivos principales

El análisis de las características geométricas de la muestra de iglesias jesuitas de la Provincia de Andalucía, es el punto de partida para una investigación posterior que pretende evaluar las posibles divergencias en el comportamiento acústico de dos tipologías de iglesias (planta de cruz latina vs central) en las iglesias jesuitas de Andalucía. Esta comunicación es un paso previo cuya finalidad es la selección de la muestra de iglesias para su posterior estudio mediante realización de mediciones *in situ* y modelos informáticos que permitan caracterizar acústicamente los recintos, así como, la evaluación de las posiciones de fuentes y receptores más adecuados en cada tipología. Para ello se establecerán los siguientes objetivos:

- 1) Identificar y seleccionar las iglesias de la muestra para la investigación.
- 2) Identificar los distintos tipos de fuentes (música y palabra) para cada una de las tipologías de iglesias de la muestra.
- 3) Definir las posiciones de fuentes funcionales o históricas de las iglesias analizadas.
- 4) Estudiar posibles posiciones singulares de fuentes para conocer el comportamiento sonoro de aquellas posiciones que, debido a la geometría de la sala, sean susceptibles de presentar fenómenos sonoros singulares.
- 5) Establecer posiciones de fuentes homogéneas que permitan realizar un estudio comparativo de las iglesias de la muestra para obtener conclusiones globales del conjunto.

3 Los jesuitas en Andalucía. S. XVI-XVII

Íñigo López de Loyola es elegido Preósito General de la Compañía de Jesús el 8 de abril de 1541 quedando a su muerte en 1556 bien consolidados los cimientos de la Compañía. La expansión de los jesuitas fue rápida en sus inicios, contando con 12 provincias en 1556 que se vieron incrementadas hasta 21 en 1579.

La provincia de Hispania se funda en 1547 pero en 1552 Ignacio de Loyola la divide en dos, Aragón y Castilla, aunque bajo el mando del mismo provincial. El 7 de enero de 1554 se crean las provincias de Aragón, Toledo y Andalucía, comprendiendo esta última los reinos de Jaén, Córdoba, Granada y Sevilla, así como la comarca de Fregenal de la Sierra al sur de Badajoz y las Islas Canarias, que finalmente en el s. XVII se establece como comunidad permanente [3].

El Colegio de Santa Catalina de Córdoba (1553) resultó ser el centro de expansión de los jesuitas en la provincia de Andalucía, llegando a ser más de 40 centros. La enseñanza en "virtud y letras" a todo tipo de alumnos se convierte en la actividad más significativa de los jesuitas, siendo estos colegios la plataforma utilizada por los jesuitas para la evangelización siguiendo los cánones del Concilio de Trento. De estos centros, durante la segunda mitad del siglo XVI se realizaron dieciocho fundaciones en la provincia de Andalucía, destacando las de Sevilla, Granada, Montilla, Trigueros, Cádiz o Marchena. Durante el siglo XVII se incrementó en otros catorce colegios, como los de Antequera y Osuna, el Noviciado de Sevilla, el de Andújar o el de Baeza y en la primera mitad del siglo XVIII fueron posibles otras cuatro fundaciones, el colegio de Baeza y las Residencias de La Laguna, Loja y Motril. A estas fundaciones deben sumarse tres instituciones localizadas en Sevilla, el Seminario de los Ingleses, el de los Irlandeses y el Colegio de la Inmaculada Concepción (figura 2).

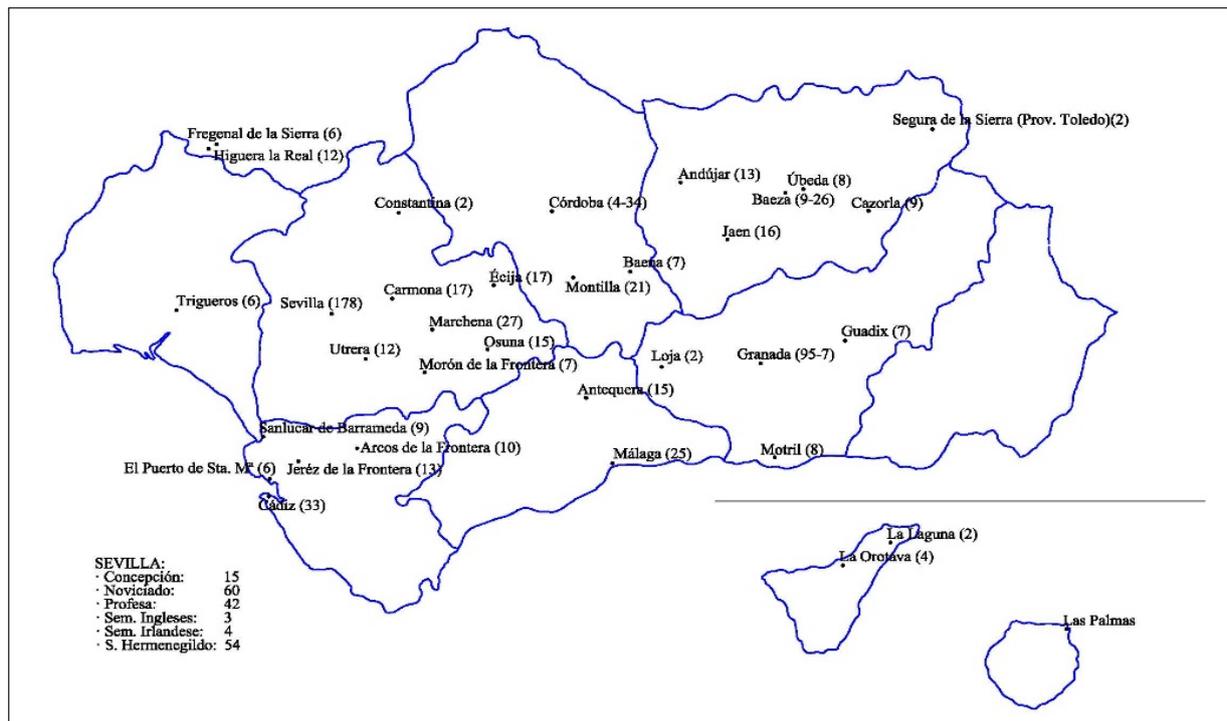


Figura 2. Casas jesuitas en 1767. Provincia de Andalucía [4].

4 Arquitectura eclesial jesuita en Andalucía. Selección de la muestra

El proceso de expansión de los jesuitas iba ligado a la creación de diversas tipologías edificatorias. Las Casas Profesas, donde residían los que habían emitido la profesión solemne de los cuatro votos, incluida la obediencia al Papa; las Residencias, similares a las Casas Profesas, pero cuyos miembros habían emitido únicamente los tres votos simples y no practicaban el voto de pobreza de manera tan rígida; los Noviciados, correspondientes a edificios para alojar a los candidatos de la Compañía durante el período de formación de dos años; y los Colegios, dedicados a la enseñanza a los seglares [5].

En todos estos edificios se reservaba un lugar principal para la iglesia, que, si bien en residencias pequeñas no pasaba de ser un pequeño oratorio, en otros edificios, como los Noviciados o los Colegios se constituía como un elemento central, ya que la formación espiritual y religiosa formaba parte de los pilares de la enseñanza jesuítica.

El *modo nostro* de los jesuitas, que suponía la obligación de enviar a Roma los planos o trazas de los edificios que se construían en cada provincia para su revisión, no tanto en cuanto a sus aspectos arquitectónicos, pero si en cuanto a verificar si los edificios se amoldaban a la forma de proceder de la Compañía, supuso una cierta organización en cuanto a las tipologías edificatorias de las iglesias jesuitas. Durante el s. XVI, en la provincia de Andalucía, los jesuitas optaron principalmente por un modelo de iglesia de volumen unitario desarrollada en una planta de nave única, crucero, bóvedas vaídas y casquete semiesférico a modo de cúpula [6] que supuso una contribución a la estandarización tipológica del templo, llamada por Wittkower la gran iglesia congregacional [7] [8]. La iglesia del colegio del Santa Catalina en Córdoba (1564-1589) sirvió de modelo a las posteriores de La Anunciación en Sevilla (1565-1579) y la Encarnación en Marchena (1584-1593) todas ellas trazadas por el padre Bartolomé Bustamante. El esquema planteado huye de desenfrenos en la búsqueda de la mejor adecuación del espacio al culto, a la administración de los sacramentos y a la predicación. Este modelo inicial se modifica levemente en la iglesia del colegio de San Pablo de Granada (1574-1622), cuyas plantas

iniciales corresponden a Bustamante, pero se vio modificada su traza para incorporar capillas laterales variando este modelo inicial (figura 3a).

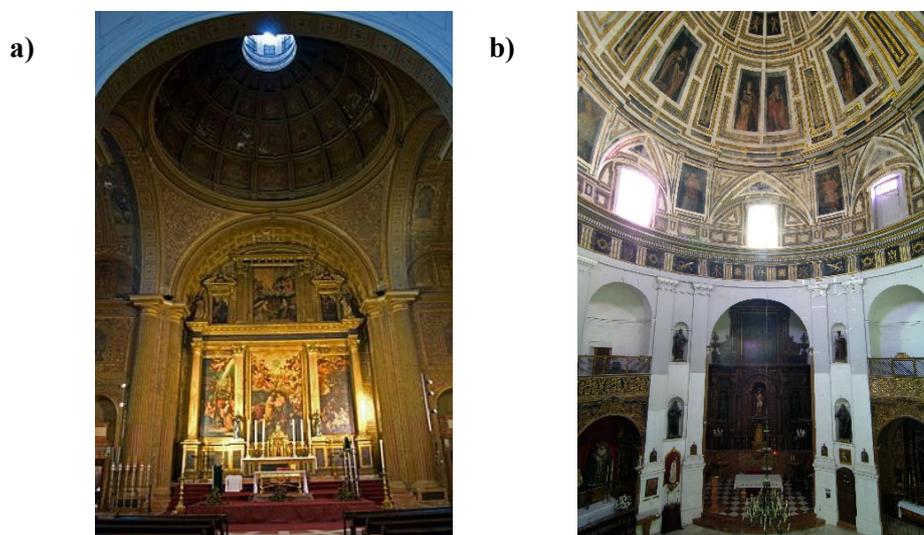


Figura 3. a) Iglesia de la Anunciación (nave única) <https://commons.wikipedia.org>. b) Iglesia del Santo Cristo de la Salud (central) <https://www.diocesismalaga.es/>.

En los planos de las iglesias que se conservan esta tipología de cruz latina y su variación incorporando las capillas laterales, resulta la más habitual. El anhelo centralizador de los jesuitas hace que durante el s. XVII se introduzcan, en algunos casos, las plantas circulares y ovaladas que, ofreciendo una menor superficie en planta, acercan al feligrés al predicador (figura 3b).

La precursora del modelo central en la provincia de Andalucía es la iglesia del colegio de San Hermenegildo en Sevilla (1614-1620), de planta elíptica, a la que siguieron la del Colegio de San Sebastián en Málaga (1626-1630) de planta circular, y las de planta en cruz griega del Colegio de San Torcuato de Granada (1626) y la más tardía del Noviciado de San Luis en Sevilla (1699-1731).

Otras tipologías, menos habituales en las iglesias jesuitas, como las de tres naves, se ven representadas en la provincia de Andalucía por la iglesia del Colegio de San Teodomino de Carmona (1700-1720), el Colegio de la Anunciación de Cazorla (1700) o el Colegio de Santiago de Cádiz (1606-1638), que pueden considerarse como excepcionales en las iglesias jesuíticas de Andalucía, ya que para la Compañía las naves laterales eran espacios muertos y se “*percibían con poca nitidez las palabras del predicador*” [5].

Desde el punto de vista de la acústica, el comportamiento de ambos modelos se estima sustancialmente diferente. El modelo tridentino utilizado por los jesuitas correspondientes a la nave única, con o sin capillas laterales, representado a través del estudio de la iglesia madre de Il Gesù realizado por Cirillo y Martellotta [9] mediante la realización de medidas *in situ*, muestra valores decrecientes en frecuencias, que son característicos de una sala con superficies de revestimientos duros y reflectantes del sonido.

Por otra parte, el estudio acústico de la planta central de la iglesia de San Luis de los Franceses, realizado por Alberdi et al [10] [11] señala que “*la presencia de cúpulas, de forma cóncava, pueden dar lugar a fenómenos acústicos inesperados, focalizaciones que pueden aumentar el nivel de presión sonora o causar coloraciones en el sonido o ecos*”.

En la tabla 1 se recoge la selección de iglesias que serán la base de la posterior investigación mediante mediciones *in situ* y modelización en programa informático que simulen el campo sonoro en el interior de las iglesias, considerando las posiciones de fuentes y receptores de manera similar a las previstas en las mediciones *in situ*. Se han considerado dos tipologías como las más representativas, por un lado, las iglesias de nave única con crucero, con o sin capillas laterales (s. XVI), representada por las iglesias de

Santa Catalina (Córdoba), la Anunciación (Sevilla), la Encarnación (Marchena, Sevilla) y San Pablo (Granada) y las iglesias de planta central (s. XVII) de las que se toman para su posterior estudio las de San Hermenegildo (Sevilla), Santo Cristo de la Salud (Málaga), San Torcuato (Guadix, Granada) y San Luis de los Franceses (Sevilla).

Tabla 1. Selección de muestra para estudio. Tipologías y dimensiones principales.

IGLESIA	UBICACIÓN	ARQUITECTO	FECHA	LONG (m)	SUP (m ²)	IMAGEN
NAVE ÚNICA. CRUCERO. S. XVI						
SANTA CATALINA	Córdoba	P. Bustamante Hernán Ruiz El Joven	1564-1589	49,50	817	
LA ANUNCIACIÓN	Sevilla	P. Bustamante Hernán Ruiz El Joven	1565-1579	47,25	1174	
ENCARNACIÓN	Marchena (Sevilla)	P. Bustamante Martín de Gainza	1584-1593	48,40	821	
SAN PABLO	Granada	P. Bustamante Velasco y P. Martín de Baseta	1574-1622	48,60	982	
PLANTA CENTRAL. S. XVII						
SAN HERMENEGILDO	Sevilla	Hermano Pedro Sánchez	1614-1620	34,00	241	
SANTO CRISTO DE LA SALUD	Málaga	Hermanos Pedro Pérez Pedro Sánchez	1626-1630	17,40	255	
SAN TORCUATO	Guadix (Granada)	Hermano Pedro Sánchez. Juan de la Vega	1626	20,70	335	
SAN LUIS DE LOS FRANCESES	Sevilla	Leonardo de Figueroa	1699-1731	22,35	231,80	

Imágenes: Google, Maxar Technologies. <https://www.google.com/maps/place/>

5 Análisis de posiciones de fuentes y receptores en la muestra de estudio

Para establecer la posición de fuentes se han tomado como modelo base, por un lado, la iglesia de La Anunciación (s. XVI), que responde a la tipología de iglesia de planta en cajón con crucero, y por otro la iglesia del Santo Cristo de la Salud (s. XVII), que corresponde al modelo de planta central.

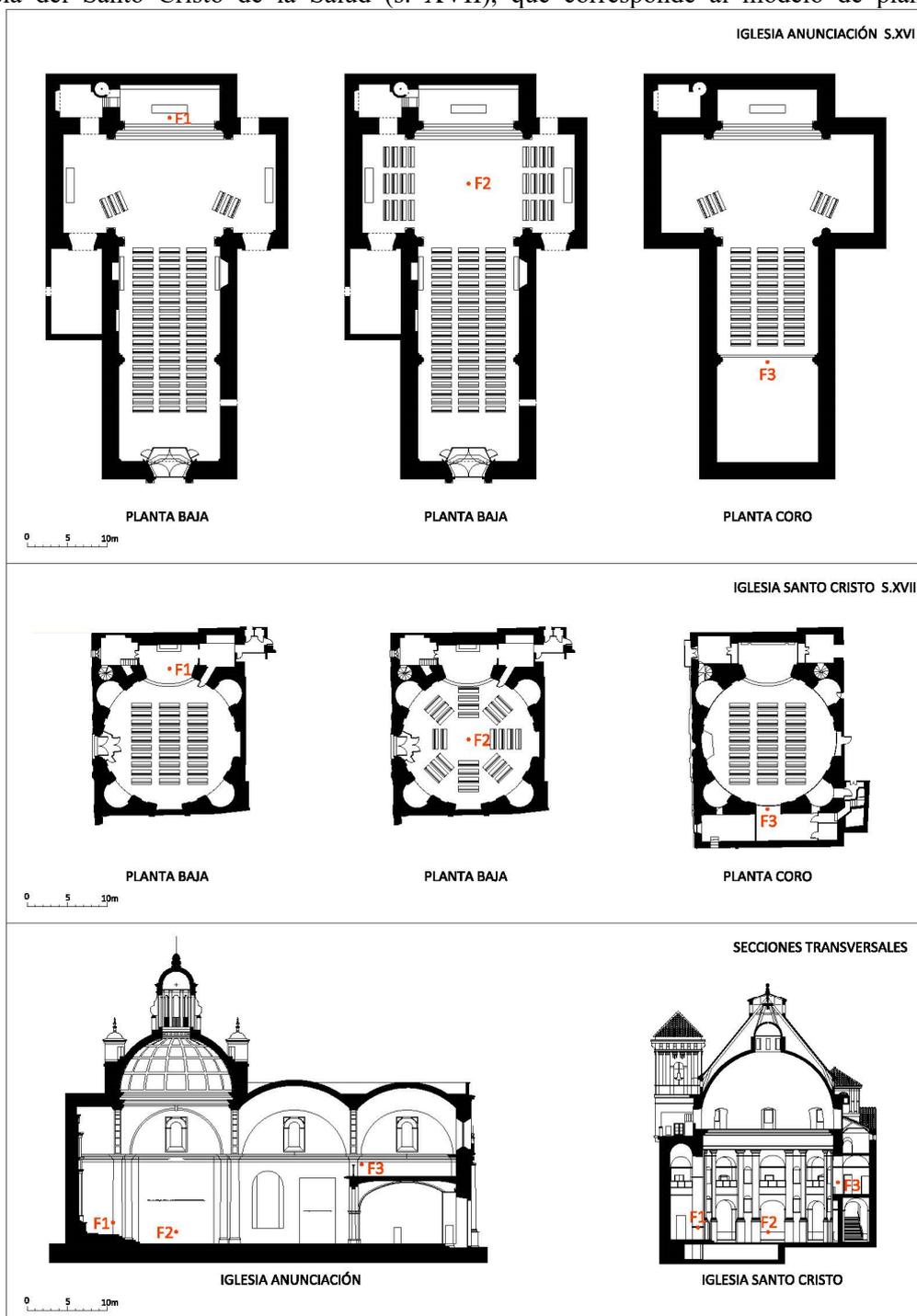


Figura 4. Posiones de fuentes y audiencia. F1 (altar principal), F2 (cúpula), F3 (coro)

Las posiciones de fuentes y audiencias definidas en estas dos iglesias se aplicarán para las mediciones *in situ* y los modelos informáticos que reproduzcan las características del campo sonoro en el interior de la iglesia en la totalidad de las propuestas en la muestra.

Las posiciones de fuentes seleccionadas corresponden con los puntos utilizados habitualmente, tanto por el orador, como posiciones para fuentes musicales, bien corales o instrumentales. Se establecen tres posiciones de fuentes, F1 (altar principal), F2 (posición central o bajo cúpula) y F3 (coro o tribuna elevada) (figura 4).



La posición habitual para las celebraciones litúrgicas centrada frente al altar principal, corresponde a la fuente F1. Para otros usos complementarios se analizan dos posiciones: la posición en el coro (F3), en el caso de La Anunciación, o la tribuna alta donde era posible ubicar un pequeño coro, como ocurre en la iglesia del Santo Cristo de la Salud; y la posición F2, bajo la cúpula, utilizada para conciertos en la iglesia de La Anunciación y propuesta para el Santo Cristo como otra configuración a analizar para conciertos o representaciones, de manera similar a como se dispone en la iglesia de San Luis de los Franceses (figura 5).

Figura 5. San Luis de los Franceses.
<http://www.clasicodesevilla.com/Don-Juan-Tenorio>

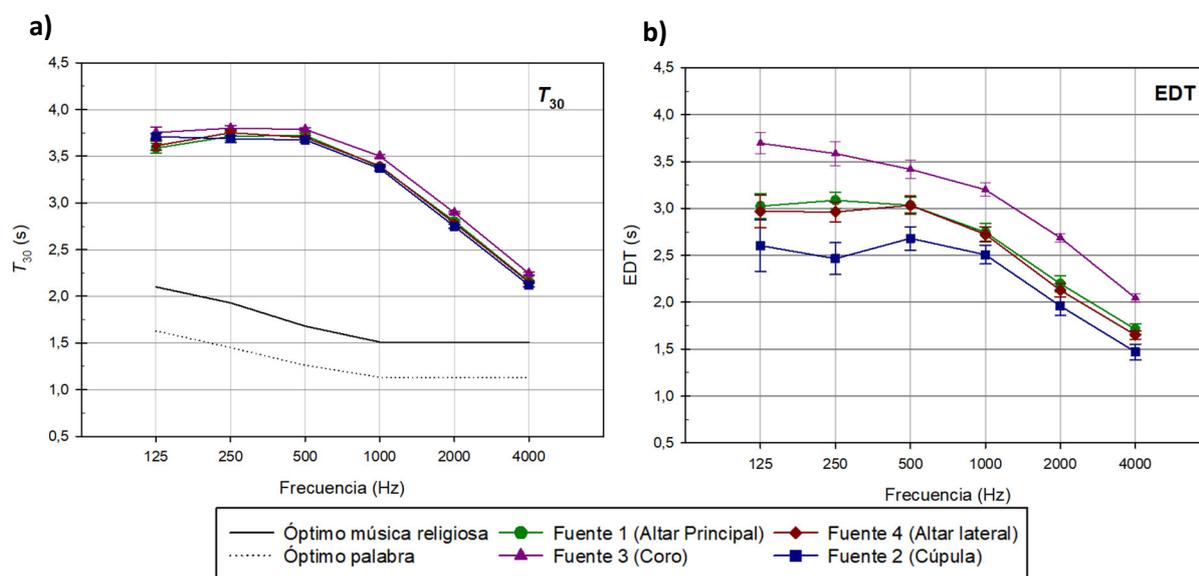


Figura 6. a) Tiempo de reverberación T_{30} (s). b) Tiempo de reverberación inicial EDT (s).

Promediado espacial frente a la frecuencia. Medición *in situ*. Iglesia de San Luis de los Franceses

En el caso de las iglesias de planta central la variación en la percepción del campo sonoro se ve más influenciada por la posición de la fuente. Como ha sido estudiado en el caso de San Luis de los Franceses (figura 6) [10] los valores de los tiempos de reverberación (T_{30}) son muy similares en todas las posiciones de fuentes que se analizan, no así para EDT, que presenta valores más bajos al situar la fuente bajo la gran cúpula y más altos al posicionarse en el coro, concluyéndose que los menores valores que se obtienen bajo la cúpula responden a la presencia de reflexiones tempranas altamente energéticas en los

primeros milisegundos tras la llegada del sonido directo y a una menor distancia fuente-receptor, que dan lugar a curvas de caída “tipo acantilado”, siendo mayor la sensación de reverberación con la fuente en el coro, concluyendo que la percepción de la reverberación es más favorable bajo la cúpula, al contrario de lo que suele ocurrir en espacios de formas cóncavas.

Para esta iglesia se determinó igualmente la posibilidad de una distribución desigual de la energía del sonido debida al acoplamiento acústico entre el volumen de la cúpula y el resto de volumen de la iglesia. Este comportamiento confirma la importancia del análisis para las iglesias de plantas centrales de las posiciones de fuentes centralizadas bajo las grandes cúpulas, como se propone hacer en la iglesia del Santo Cristo.

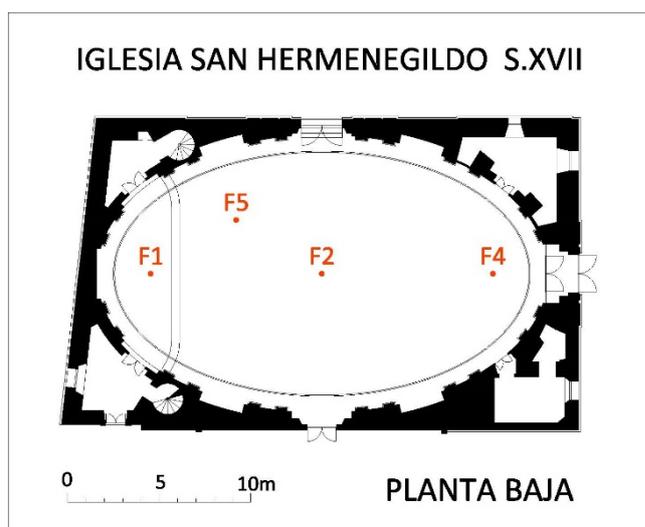


Figura 7. Posiones de fuentes.

En el caso de la iglesia de San Hermenegildo (figura 7), de planta elíptica, el estudio deberá ampliarse a la posición de las fuentes y receptores en los focos de la elipse por tratarse de puntos singulares que concentran las primeras reflexiones de los paramentos perimetrales, al igual que ocurre con las posiciones centrales de las plantas cilíndricas. En este caso, la posición de uno de los focos coincide con la posición en el altar principal (F1) situando en el punto central bajo la gran cúpula elíptica la posición de fuente F2 y añadiendo la posición de fuente en F4 para analizar el comportamiento acústico para los dos focos de la elipse. Se propone el estudio de una fuente en planta baja desplazada con respecto a los ejes de la elipse (F5) que sirva como posición de referencia, externa a

posiciones singulares, y que permita analizar los posibles efectos acústicos que puedan ligarse a la singular geometría de este espacio. Para esta iglesia de planta central, al igual que en el resto de casos, debe situarse en el nivel superior una posición de fuente en coro alto (F3). En el caso de plantas de cruz griega, como la iglesia de San Torcuato, se ubicarán fuentes en posiciones simétricas en ambos brazos de la cruz en el nivel de planta baja.

Por otra parte, para las iglesias de nave única con crucero, representadas tipológicamente con la planta de la iglesia de La Anunciación, el comportamiento frente al tiempo de reverberación no debe presentar diferencias significativas entre las tres posiciones de fuente propuestas para el estudio, como se ha visto en el estudio realizado por Rico et al [12] donde se ubican dos posiciones de fuentes con resultados del T_{30} similares. No obstante serán necesario analizar la posibilidad de que se puedan presentar características del campo sonoro diferentes los espacios de los coros superior e inferior situados a los pies de la nave, ya que las condiciones acústicas en los espacios destinados para el coro y los fieles pueden presentar diferencias [13] Para analizar este aspecto será necesario ubicar posiciones de receptores fuera del plano de la audiencia de la nave principal, en concreto, se propondrán receptores en el coro alto y en el espacio que se sitúa bajo el mismo, valorando los resultados de las mediciones *in situ* en estos puntos de manera independiente con respecto al resto de receptores de la superficie de audiencia.

Para La Anunciación, Rico et al, realizan el estudio acústico para el uso de la iglesia en actos culturales, analizando dos posiciones de fuentes utilizadas en conciertos mediante mediciones *in situ*, la posición bajo la cúpula central y otra configuración con la fuente bajo el coro a los pies de la nave [12] concluyendo que al situar la fuente bajo la cúpula los valores medidos para los parámetros que definen la definición (D_{50}) y la claridad musical (C_{80}), resultan más adecuados con la posición bajo la cúpula,

aspecto que pone de manifiesto la importancia de analizar esta posición de fuente también en el caso de las plantas de nave única en el conjunto de iglesias de la muestra.

6 Relación de dimensiones principales

Para el estudio de la relación de dimensiones principales se ha tomado, al igual que en el caso del estudio de las posiciones de las fuentes, la iglesia de La Anunciación y la del Santo Cristo de la Salud como representación de las dos tipologías analizadas. En la tabla 2 se representan los principales datos geométricos y de aforo para estas iglesias.

Tabla 2: Principales características geométricas y de aforo.

IGLESIA	ANUNCIACIÓN	SANTO CRITO DE LA SALUD
NOMENCLATURA	AN	SC
TIPOLOGÍA	NAVE ÚNICA. CRUCERO.	CENTRAL
DIMENSIONES PRINCIPALES		
Eje longitudinal interior planta baja (m)	47,25	20,70
Eje longitudinal interior planta coro (m)	47,25	24,94
Eje transversal (m)	26,42	17,68
Altura nave principal (m)	19,82	---
Altura mayor bajo linterna (m)	34,25	27,45
Diámetro cúpula (m)	14,09	16,50
VOLUMEN (m³)	14.085	5.389
SUPERFICIES (m²)		
Superficie útil planta baja (S _B)	762,5	248,75
Superficie útil planta coro (S _C)	167,61	29,14
AFORO (nº personas)		
F1	330	150
F2	420	130
F3	330	150

Como puede observarse, las dimensiones de las dos iglesias son muy dispares. Si comparamos los volúmenes tomando como referencia el del Santo Cristo (SC), la iglesia de la Anunciación (AN) resulta 2,61 veces mayor. Sin embargo, al relacionar el volumen total con respecto a la superficie de la planta baja (V/S_B), se observa que en AN el valor obtenido es menor (18,47) que en el caso del SC (21,66) poniendo de manifiesto que la repercusión del volumen de la cúpula sobre la planta es mayor.

Con respecto al aforo, se consideran las áreas de audiencia en base a la posición de los bancos que existen en la actualidad. En (AN) tenemos la fuente situada en el altar principal (F1) y el coro (F3), y se realiza una propuesta incorporando más bancos cuando se sitúa la fuente bajo la cúpula (F2). En el caso de las plantas centrales (SC), se consideran las posiciones de los bancos para las fuentes del altar (F1) y el coro (F3), conforme a la disposición de bancos más habitual, tomando para la posición bajo la cúpula, realizando una propuesta de ubicación de la audiencia sentada en bancos en torno a la fuente. En la tabla 3 se muestran los resultados de las relaciones entre volumen, aforo y superficie de audiencia.

Tabla 3. Relaciones geometría/aforo. V: volumen, N: plazas, S_A: superficie de audiencia

IGLESIA	USO	V/N (m ³ /plaza)	V/S _A (m ³ /m ²)	S _A /N (m ² /plaza)
AN	F1	42,68	69,09	0,61
	F2	33,53	54,04	0,62
	F3	42,68	69,09	0,61
SC	F1	35,92	55,87	0,64
	F2	41,45	88,01	0,47
	F3	35,92	55,87	0,64

Si se comparan los resultados obtenidos para la relación volumen y aforo (V/N), teniendo en cuenta los valores dados como adecuados por Haan y Fricke [14] para iglesias (5,1-9,1) y para sala polifuncional (5,1-8,5), todos quedan muy por encima de los considerados como adecuados para estos usos. En cuanto a la relación entre *volumen* y superficie de audiencia (V/S_A), las dos iglesias quedan muy por encima del rango recomendado para salas polifuncionales (9,2-12,0).

7 Conclusiones

El *modo nostro* de los jesuitas, que suponía enviar a Roma los planos o esbozos de las principales construcciones, pone de manifiesto, a través del estudio de los planos que han perdurado hasta nuestros días, que la planta de nave única con capillas laterales es la más habitual, lo que no impidió la adopción de otros esquemas, como plantas centrales. Del análisis de la muestra de iglesias de la provincia de Andalucía se extrae que durante el s. XVI predomina la planta de nave única, introduciendo las plantas centrales a partir del s. XVII, seleccionando cuatro iglesias de cada tipología.

Para ambas tipologías, representadas en el análisis por la iglesia de La Anunciación (nave única) y del Santo Cristo (planta central) se han identificado las posiciones de fuentes y audiencias como paso previo a su caracterización acústica mediante mediciones *in situ*. Las posiciones de fuentes que deberán ser analizadas para las iglesias de la muestra corresponden con el altar principal (F1), el coro (F3) y la posición bajo la cúpula (F2), de manera que se analice tanto su uso litúrgico, como la posibilidad de utilización para otros actos como conciertos o conferencias. En el caso de la posición bajo la cúpula se ha podido comprobar en base a estudios acústicos previos, la posibilidad de presentar variaciones en la percepción del campo sonoro con respecto a posiciones en el altar o el coro, como consecuencia de la influencia del volumen de la cúpula, no sólo para las plantas centrales sino también en las plantas de nave única y crucero, a pesar de tener la cúpula un volumen menor con respecto al cómputo del volumen total de la iglesia.

Con respecto a otras plantas centrales, como es el caso de la iglesia de San Hermenegildo de planta elíptica, deberá introducirse otras posiciones en de fuentes (F4, F5) para analizar el comportamiento acústico al posicionar la fuente en los focos de la elipse, ya que cabe esperar que sean puntos que concentren las primeras reflexiones de los paramentos perimetrales. En el caso de plantas de cruz griega se ubicarán fuentes en posiciones simétricas en ambos brazos de la cruz.

Ambas tipologías de iglesias presentan valores que relacionan volumen, aforo y superficie de audiencias muy alejados de los que se ha establecido por Haan y Fricke como adecuados para el uso de estos espacios bien como iglesia bien como salas polifuncionales.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a la arquitecta Beatriz Rico su colaboración por la aportación de documentación gráfica correspondiente a la iglesia de La Anunciación.

Referencias

- [1] Sendra, J.J.; Navarro, J. La evolución de las condiciones acústicas en las iglesias del paleocristiano al tardobarroco. *Universidad de Sevilla, Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción*, 1997, pp. 52-62.

- [2] Vallery-Radot, J. Le recueil de plans d'édifices de la Compagnie de Jésus conservé a la Bibliothèque Nationale de Paris. *Institutum Historicum, S.I.*, 1960.
- [3] Martín de Roa, S.J.. Historia de la Provincia de Andalucía de la Compañía de Jesús (1553-1662). *Écija: Asociación de Amigos de Écija*; 2005.
- [4] García Gutierrez, S.J. El arte de la Compañía de Jesús en Andalucía. *Publicaciones obra social y cultural Cajasur*, 2004.
- [5] Rodríguez G. De Ceballos, A. La Arquitectura de los Jesuitas. *Edilupa Ediciones, S.L.* 2002, pp. 13-20, 88
- [6] Rodríguez G. De Ceballos, A. Bartolomé de Bustamante y los orígenes de la arquitectura jesuítica en España. *Institutum Historicum, S.I.*, 1967, pp. 332.
- [7] Fernández-Baca Casares, R. Morate Martín, G, Villalobos Gómez, A. El proyecto de conservación de la iglesia del Santo Cristo de la Salud de Málaga. *Junta de Andalucía, Consejería de Cultura.* 2006. pp. 43-44.
- [8] Álvaro, M.I., Ibáñez, J., Criado, J. La arquitectura jesuítica. Actas del Simposio Internacional. *Institución Fernando el Católico. Exmo. Diputación de Zaragoza*, 2012. pp. 327-354.
- [9] Cirillo, E, Martellotta, F. Worship, Acoustics and Architecture. *Multi-science publishing CO. LTD*, 2006.
- [10] Alberdi, E., Martellotta, F, Galindo, M., León, A.L. Dome sound effects in San Luis de los Franceses. *Applied Acoustics*, nº 156, 2019, pp. 56-65.
- [11] Moreno, A., Zaragoza, J., Alcantarilla, F. Generation and suppression of flutter echoes in spherical domes. *Acoust. Soc. Jpn., E2*, pp. 197-202.
- [12] Rico, B, León, A.L., Zamarreño, T., Sendra, J.J., Alario, R. Navarro, J., Díaz, C. The acoustic rehabilitation of the Renaissance church of La Anunciación in Seville. *39th International Congress on Noise Control Engineering 2010*, Lisbon, Portugal, 13-16 junio 2010, pp. 628-637
- [13] Alonso A., Suárez, R., Sendra, J. The acoustic of the Choir in Spanish Cathedrals . *ACoustics*, 2019. pp. 35-46.
- [14] Haan, C.H., Fricke, F.R. Statistical investigations of geometrical parameters for the acoustic design of auditoria. *Applied Acoustics*, 1992. pp. 105-127