

## ACÚSTICA VIRTUAL DEL ESCENARIO MULTI-CONFIGURABLE DEL TEATRO DE LA MAESTRANZA

PACS: 43.55.Ka

Bustamante, P.; Zamarreño, T.; Girón, S.  
Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción (IUACC), Universidad de Sevilla. Av. Reina Mercedes 2, 41012 - Sevilla, España, Tel: +34 954556612,  
Fax: +34 954557892, E-mails: [bustamante@us.es](mailto:bustamante@us.es), [teofilo@us.es](mailto:teofilo@us.es), [sgiron@us.es](mailto:sgiron@us.es)

### ABSTRACT

The Maestranza Theatre is the most emblematic concert hall in the city of Seville and was built for the Universal Exhibition in 1992. Its stage is very extensive and is of flexible configuration in accordance with the performance to take place. In this paper, a 3D geometrical-acoustic model of the space is applied in order to analyse the acoustic conditions for the performers on the stage, by means of CATT-TUCT software. This simulation enables the distribution of the support parameters, ST, to be studied for three commonly used configurations: with the orchestral shell; with an extension of the orchestra platform towards the stalls; and for opera arrangements.

### RESUMEN

El teatro de la Maestranza es la sala de conciertos más emblemática de la ciudad de Sevilla y fue construido para la Exposición Universal de 1992. Su escenario es muy extenso y flexible en su configuración de acuerdo con el espectáculo a representar. En este trabajo, se ha usado un modelo geométrico-acústico 3D del espacio para analizar las condiciones acústicas de los intérpretes en el escenario, usando el software CATT-TUCT. La simulación permite estudiar la distribución de los parámetros de soporte de escena, ST, en tres configuraciones comúnmente usadas: con la concha orquestal; con la plataforma de la orquesta adelantada hacia el patio de butacas; y con los montajes para ópera.

### INTRODUCCIÓN: PARÁMETROS DE ESCENA

Bajo el concepto de acústica del escenario se hace referencia al estudio del entorno acústico y de la valoración de la sensación percibida por los intérpretes de orquestas clásicas de la escena en las salas de concierto, teatros, salas de ópera,... Las primeras aportaciones sistemáticas de los requerimientos acústicos de los músicos, basados en experimentos subjetivos, arrancan de los trabajos de Marshall *et al.* [1], utilizando los resultados de un trío de cuerda interpretando en un entorno acústico simulado en condiciones de laboratorio; siguen los de Barron [2], basados

### EAA SIMPOSIO EUROPEO DE ACÚSTICA AMBIENTAL Y MAPAS DE RUIDO

en los resultados con un mayor número de músicos en una sala existente con un escenario cuya acústica era altamente variable. Ambos trabajos pioneros pusieron de manifiesto el efecto positivo sobre la sensación percibida por los músicos al recibir reflexiones precoces.

Los factores acústicos más importantes para los intérpretes son la audición de su propio instrumento, la de los otros instrumentos de la orquesta y la percepción de la respuesta acústica de la sala. El equilibrio entre estos factores es importante para la reproducción de *conjunto*. Los parámetros objetivos más reconocidos para valorar la acústica del escenario son los de soporte de escena, ST, en sus dos versiones: soporte precoz ( $ST_{precoz}$ ), para la percepción subjetiva de *conjunto* y *apoyo* entre los músicos de la orquesta; y el soporte tardío ( $ST_{tardio}$ ) para la percepción de *reverberación* por parte del músico en la escena. Aunque se han propuesto aproximaciones objetivas alternativas o complementarias [3] y se ha criticado la validez de los parámetros ST [4], estos descriptores, introducidos en 1989 por Gade [5, 6], han sido recogidos, con carácter informativo, en el Anexo C de la norma UNE-EN-ISO 3382-1:2010 [7]. Ambas parámetros se derivan de las respuestas al impulso omnidireccionales monofónicas obtenidas a 1 m de la fuente, sin los intérpretes en el escenario, y se definen matemáticamente como:

$$ST = 10 \log \left[ \frac{\int_{t_1}^{t_2} p^2(t) dt}{\int_0^{0.01s} p^2(t) dt} \right]_{r=1m} \quad (dB) \quad (1)$$

donde  $t=0$  coincide con la llegada del sonido directo.  $ST_{precoz}$  integra el sonido reflejado inicial, con límites  $t_1=20$  ms y  $t_2=100$  ms, en relación con la energía emitida desde la fuente (sonido directo y reflexión en el suelo) a 1 m. No se ha establecido un umbral de discriminación subjetiva para  $ST_{precoz}$  pero se ha sugerido [8] que una variación de 2 dB puede ser significativa para un músico. Para  $ST_{tardio}$  los límites para el sonido reflejado son  $t_1=100$  ms, y  $t_2=1000$  ms. Las medidas se realizan en bandas de octava y se trabaja con el promedio aritmético de las comprendidas entre 250 Hz y 2000 Hz. Gade definió también el parámetro  $ST_{total}$  para valorar el apoyo desde la sala, pero no se ha incluido en [7]; los límites en este caso son  $t_1=20$  ms y  $t_2=1000$  ms y, por tanto, es la suma logarítmica de los dos anteriores. En [7] se han recogido las principales sugerencias de Gade [9] para su medida, a excepción de medir más allá de 4 m de cualquier superficie reflectante, que se ha reducido a 2 m.

Recientemente este mismo autor [10] ha publicado una revisión sobre la acústica de la escena tras tres décadas de investigación experimental, destacando las aportaciones de Dammerud *et al.* con trabajos puramente objetivos (modelos a escala y computacionales de gran interés) y modelos subjetivos [3, 11]. También conviene señalar el estudio realizado por Wenmaekers *et al.* [12] sobre cuáles son los intervalos temporales más apropiados y cuáles las condiciones de medición más adecuadas, haciendo una propuesta de optimización de los parámetros de soporte de escena existentes.

Las técnicas de computación son herramientas esenciales en la investigación de campos sonoros complejos y su uso está ampliamente extendido en las medidas acústicas para generar y procesar respuestas al impulso. De la misma forma los modelos virtuales de los campos sonoros constituyen otro importante campo de la aplicación digital que atrae un interés creciente en diversos entornos arquitectónicos [13] y urbanos. En este trabajo se parte de un modelo acústico virtual, ya implementado y validado del Teatro de la Maestranza, que ha servido para analizar las condiciones de los parámetros objetivos de la zona de la audiencia [14]. A partir de él se simulan y analizan las condiciones acústicas de la escena para los intérpretes en términos del comportamiento de los tres parámetros de soporte de escena  $ST_{precoz}$ ,  $ST_{tardio}$  y  $ST_{total}$ .

### ESCENARIO DEL TEATRO DE LA MAESTRANZA

El teatro, terminado en 1991, es obra de los arquitectos Aurelio del Pozo Serrano y Luis Marín de Terán. Forma parte de las intervenciones arquitectónicas que se llevaron a cabo en Sevilla con motivo de la Exposición Universal de 1992, habiendo sufrido dos ampliaciones en los años 2000 y 2007. El conjunto edificatorio, entre otras dotaciones, cuenta con una gran sala de conciertos de unos 20000 m<sup>3</sup> y 1800 plazas en forma de auditorio, sin palcos, que presenta forma exterior cilíndrica. El carácter multifuncional del espacio, con representaciones de forma continuada de distintas artes musicales y escénicas, requiere de especiales características acústicas



**Figura 1.** Vista del Teatro de la Maestranza desde la concha orquestal, corresponde a la configuración *sinfónica 1* referida en el texto, con los instrumentos de los músicos en el escenario.

según la representación que se vaya a producir. Arquitectónicamente es posible modificar el proscenio avanzándolo, mediante plataformas de movimiento vertical que emergen desde el foso de orquesta, para espectáculos de danza o alojar grandes orquestas, o mediante la instalación de una concha acústica para la realización de conciertos. En el caso de música de ópera es también viable variar la absorción sonora del tambor sobre el que descansa la cubierta introduciendo unos cilindros absorbentes que, sin modificar las superficies reflectantes más próximas al público, permiten reducir el tiempo de reverberación de la sala. El material más significativo en el acabado de la sala es la madera (contrachapado en las paredes y parqué en el suelo). Estos materiales configuran una geometría interior que rompe la forma cilíndrica e introduce elementos acústicos difusores (Figura 1). El patio de butacas, las dos terrazas laterales y la terraza posterior de la sala presentan butacas ligeras. Las paredes verticales que encierran las terrazas aportan reflexiones laterales iniciales a la zona central del patio de butacas y la “margarita” difusora del techo, con la gran lámpara de vidrio que desde ella se descuelga, contribuyen a proporcionar reflexiones difusas sobre la zona de audiencia.

El Teatro de la Maestranza dispone del mayor escenario de España y uno de los mayores de Europa, con 18.5×41 m<sup>2</sup> y 23 metros de altura hasta el peine, completamente configurable mediante plataformas móviles. Las últimas modificaciones en la zona escénica han aumentado su superficie hasta los 2400 m<sup>2</sup> lo que permite simultanear el montaje de espectáculos operísticos y el ensayo de orquestas sinfónicas. Desde 2007 se ha cambiado la configuración de la escena para alojar la orquesta sinfónica en los conciertos: se desmontan las cuatro primeras filas de la sala y el telón cortafuegos de la escena cierra la zona de la orquesta, la concha de escena solo se instala si actúa un coro simultáneamente. En la Tabla 1 se muestran los datos más significativos del escenario, geométricos y acústicos, obtenidos a través de la simulación acústica. Las siglas “nd” indican que esos valores no están disponibles porque no es evidente su asignación (la escena se extiende, en parte, hasta el techo de la sala).

## METODOLOGÍA: SIMULACIÓN ACÚSTICA

Se ha utilizado el programa CATT-Acoustic, versión 9.0, [15] que incluye el motor de cálculo TUCT (The Universal Cone Tracer) versión 1.0. Todas las superficies del modelo han sido caracterizadas por sus correspondientes coeficientes de absorción y dispersión para las bandas de octava desde 125 a 4000 Hz [14]. En la Figura 2 se muestra una vista hacia la escena de los

**Tabla 1.-** Datos arquitectónicos de la sala y del escenario para cada una de las tres configuraciones.

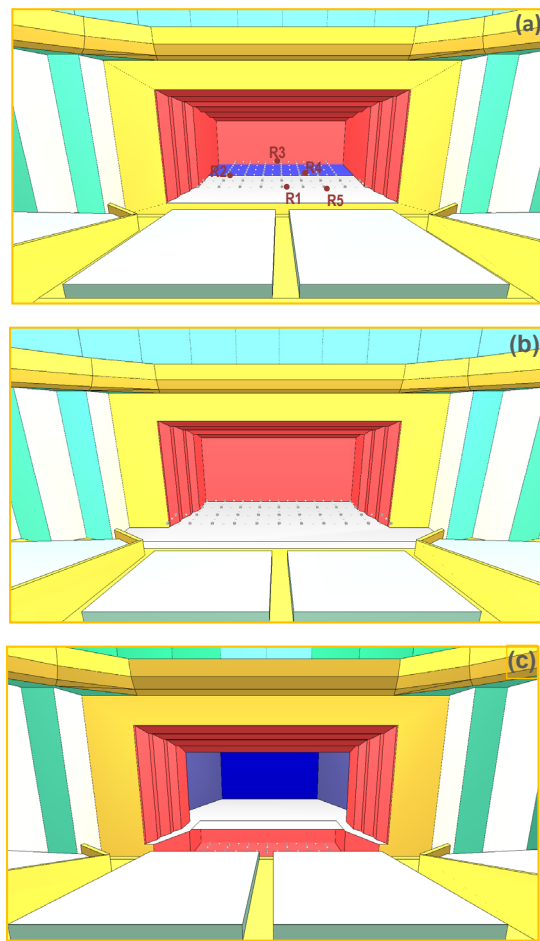
CONFIGURACIÓN	SALA			ESCENA					
	V <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> )	N	T <sub>mid</sub> (s)	V <sub>E</sub> (m <sup>3</sup> )	A (m)	P (m)	H (m)	S <sub>E</sub> (m <sup>2</sup> )	S <sub>O</sub> (m <sup>2</sup> )
Sinfónica 1	20571	1800	2.51	1850	15	14	8.7	210	210
Sinfónica 2	20027	1656	2.55	nd	21	11	nd	241	241
Ópera	33493	1800	2.80	14273	31	18.6	22.9	573	127

V<sub>s</sub>/V<sub>E</sub>: volumen de la sala/escena; N: nº de plazas; T<sub>mid</sub>: tiempo de reverberación a medias frecuencias; A/P/H: anchura/profundidad/altura de la escena; S<sub>E</sub>/S<sub>O</sub>: área de la escena/ocupada por los músicos.

**EAA SIMPOSIO EUROPEO DE ACÚSTICA AMBIENTAL Y MAPAS DE RUIDO**

modelos 3D creados para cada configuración usada: *configuración sinfónica 1* que incorpora la concha orquestal, *configuración sinfónica 2* en la que se suprimen las cuatro primeras filas del patio de butacas, se adelanta hasta allí la plataforma de la orquesta y el telón cortafuegos cierra la escena y *configuración ópera* en la que la orquesta se sitúa en el foso de la escena y que se extiende hasta la altura del peine y que incluye planos representativos de los decorados.

En la Figura 2, para cada configuración, se muestra la malla de fuentes utilizada (cubos grises). Los receptores (esferas grises) se encuentran intercalados entre ellas, a un metro, de forma que, para cada receptor, se pueden obtener los parámetros de soporte de 1, 2, 3 y hasta 4 posiciones de la fuente, dependiendo de su posición en el mallado. El modelo virtual completo del teatro se ha ajustado utilizando como referencia los valores medidos del tiempo de reverberación con la metodología implementada en [14]. Para la *configuración sinfónica 1* la malla contiene 46 posiciones de fuente y 77 de recepción, que facilitan un total de 154 valores para cada parámetro ST; asimismo en la Figura 2(a) se indican las 5 posiciones del micrófono (R1-R5) usadas en las medidas experimentales. Para la *configuración sinfónica 2* se dispone de un mallado constituido por 40 posiciones de fuente y 65 receptores, que proporcionan 130 datos de cada parámetro (Figura 2(b)). Para la *configuración ópera*, en el foso de orquesta, dispuesto en parte bajo la escena, la malla presenta 14 posiciones de fuente y 19 de micrófono, con un total de 38 datos de cada parámetro de escena (Figura 2(c)).



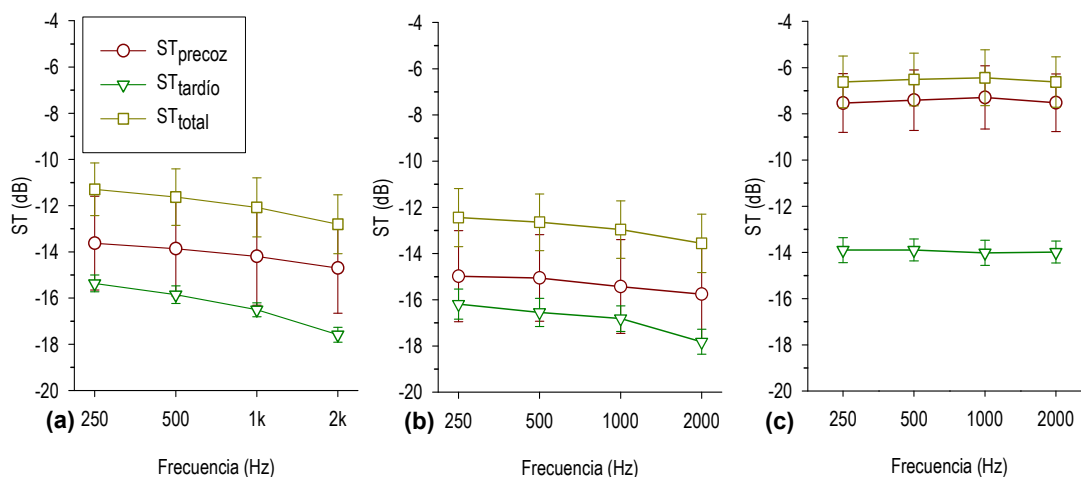
**Figura 2.** Vista del escenario en los modelos virtuales: (a) configuración *sinfónica 1* con la concha orquestal (se indican las posiciones de las medidas experimentales), (b) configuración *sinfónica 2* con la escena adelantada al patio de butacas; (c) para *opera* con la malla de fuentes y receptores en el foso de orquesta.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la Figura 3 se presentan los resultados, promediados espacialmente, de los tres parámetros de escena, para cada una de las simulaciones, en función de la frecuencia, para las bandas entre 250 y 2000 Hz (las únicas que proporciona el programa de simulación para estos parámetros) correspondientes a las tres configuraciones ya descritas. Las barras de error verticales valoran la dispersión espacial mediante la desviación estándar asociada en cada caso, apreciándose la mayor uniformidad de los resultados para  $ST_{tardío}$ . Los resultados muestran una dependencia muy suave con la frecuencia, siendo en la configuración *sinfónica 1* donde se presentan mayores variaciones, sobre todo para  $ST_{tardío}$ . En todos los casos los resultados se encuentran dentro del rango típico de [7]: (-24 dB; -8 dB), para  $ST_{precoz}$  y (-24 dB; -10 dB) para  $ST_{tardío}$ . Los valores de  $ST_{total}$  no se contemplan en [7].

La comparación de las tres configuraciones indica que los valores notablemente más elevados de los parámetros de escena ocurren en el foso de orquesta, y son además muy constantes con la frecuencia. También es para esta configuración donde mayores diferencias aparecen entre  $ST_{precoz}$  y  $ST_{tardío}$ , y, como consecuencia, donde los resultados de  $ST_{total}$  son muy próximos a los de  $ST_{precoz}$ . En cuanto a los resultados de las dos configuraciones sinfónicas conviene destacar que las dos muestran un comportamiento muy similar, aunque en la configuración *sinfónica 1* aparecen resultados de los parámetros ligeramente superiores a los de la configuración *sinfónica*

EAA SIMPOSIO EUROPEO DE ACÚSTICA AMBIENTAL Y MAPAS DE RUIDO

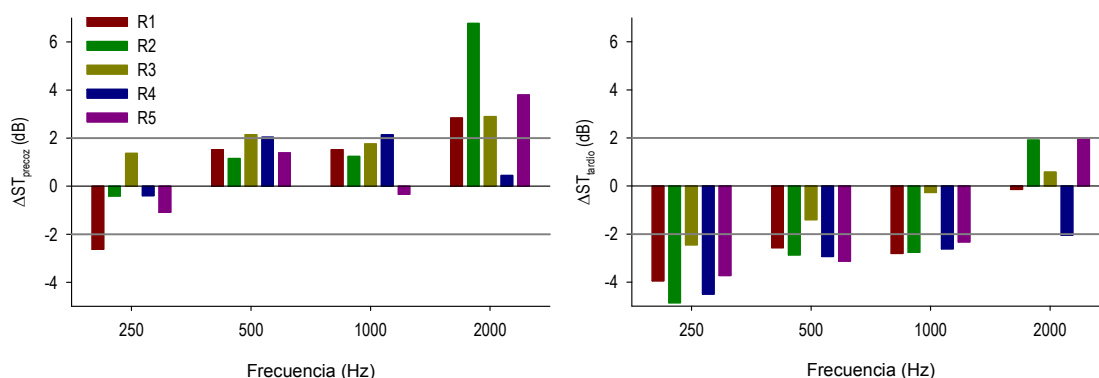


**Figura 3.** Parámetros de escena, promediados espacialmente, frente a la frecuencia: (a) configuración *sinfónica 1*; (b) configuración *sinfónica 2* y (c) configuración *ópera*. Las barras verticales valoran la dispersión espacial mediante la desviación estándar.

2. Esta segunda disposición de la orquesta, que es la que se usa asiduamente en la actualidad para los conciertos sinfónicos, ha dado lugar a mejoras en la fuerza sonora  $G$  en la zona de la audiencia como rasgo más destacado, sin cambios en el resto de descriptores de la calidad musical y para la palabra [14].

Para la configuración *sinfónica 1* se dispone de medidas experimentales para 5 receptores [16] (ver Figura 2(a)) y esto permite disponer de una referencia de la validez de los valores simulados. En la Figura 4 se muestran las diferencias (valor medido menos simulado) para cada frecuencia y cada receptor usado en la campaña experimental. Puesto que éstos no coinciden exactamente con ninguno de los simulados, y, además, para éstos se dispone de valores para diferentes posiciones de la fuente, los valores simulados asociados a cada receptor se han obtenido promediando los valores de los más próximos. Podemos observar que, en general, los valores de  $ST_{precoz}$  medidos son algo mayores que los simulados, sin sobrepasar el límite de 2 dB sugerido como posible umbral de percepción diferencial [8]. Por el contrario, los valores de  $ST_{tardío}$  medidos son menores que los simulados y las diferencias sobrepasan ligeramente ese límite de 2 dB, aunque en este caso no se tienen referencias de umbral diferencial.

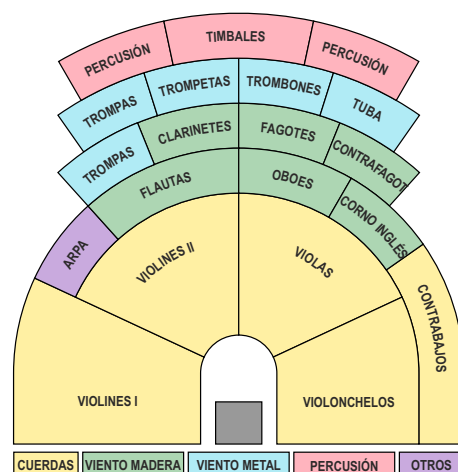
Completa el análisis la imagen visual de los mapeados creados a partir de los valores de los parámetros simulados en los mallados ya descritos. En la Figura 5 se presentan los mapas de color de  $ST_{precoz}$ ,  $ST_{tardío}$  y  $ST_{total}$ , promediados en las bandas de octava de 250 a 2000 Hz, para los diferentes puntos de recepción. Con el fin de poder establecer comparaciones, las dos configuraciones sinfónicas exhiben una escala de color común para cada parámetro.



**Figura 4.** Diferencias entre los valores experimentales y simulados de los parámetros de escena, para cada uno de los cinco receptores y para cada una de las bandas de octava, en la configuración de escena *sinfónica 1*.

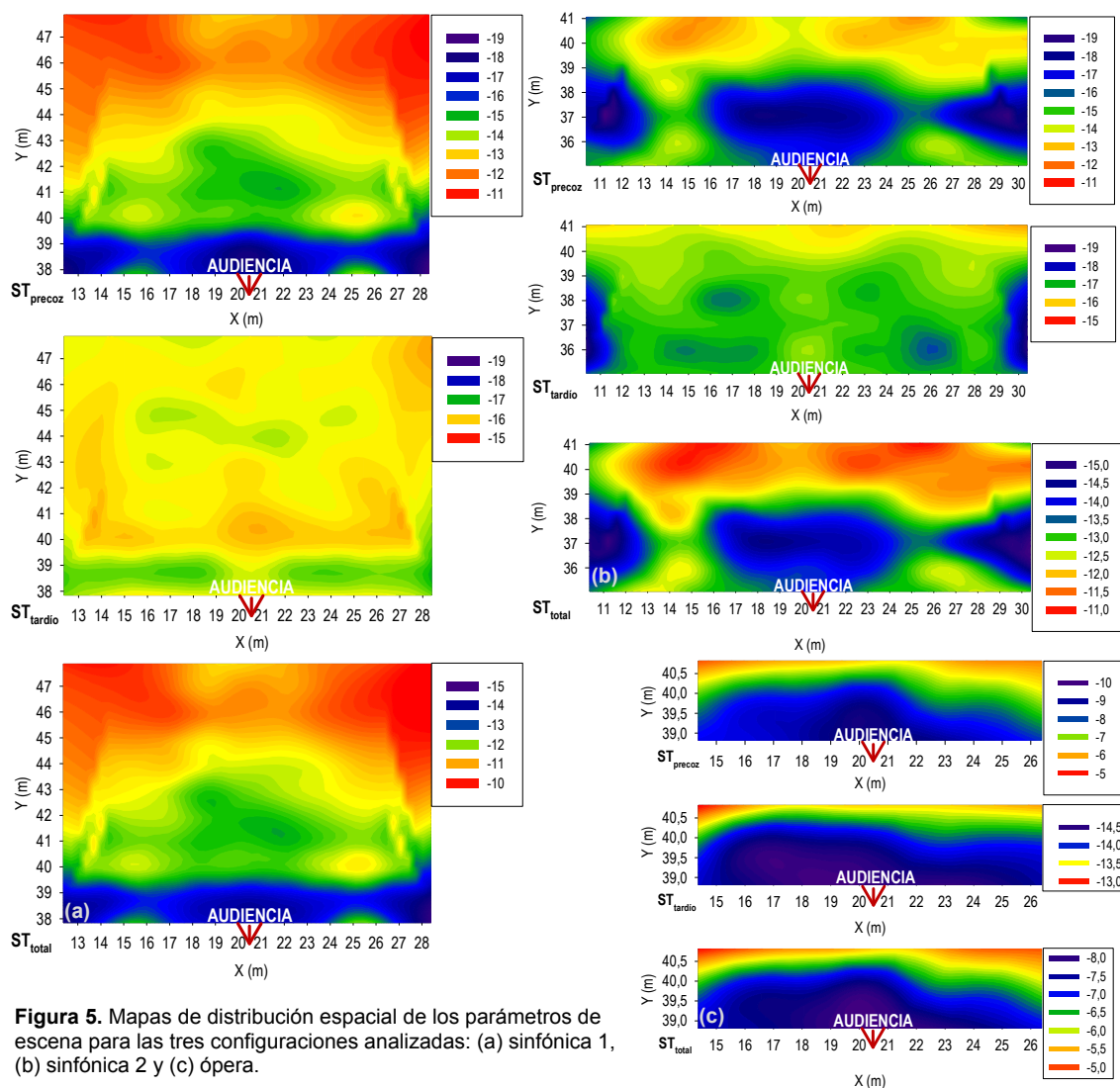
**EAA SIMPOSIO EUROPEO DE ACÚSTICA AMBIENTAL Y MAPAS DE RUIDO**

Los mapas revelan que en la configuración *sinfónica 1* el parámetro  $ST_{precoz}$  presenta aproximadamente cuatro franjas longitudinales de valores, con diferencias entre ellas del orden de 1 ó 2 dB; de menor a mayor valor, éstas corresponden con la zona del director de la orquesta, violines primeros y violonchelos (ver Figura 6), próxima a los primeros asientos del patio de butacas, en donde no llegan las superficies límites de la concha y, por lo tanto, existe un menor número de reflexiones iniciales para estos músicos; la segunda puede considerarse como la zona correspondiente a los segundos violines y violas con valor de  $ST_{precoz}$  de unos -15 dB; en la tercera zona existen mejores resultados del parámetro en la zona de flautas y mejor aún en la última zona de vientos, percusión y coro con valores de unos -12 dB y con valores más elevados en las zonas próximas a las paredes de la concha.



**Figura 6.** Esquema de la ubicación de los instrumentos en la orquesta.

En la configuración *sinfónica 2*, aunque la distribución del parámetro es también simétrica, aparecen zonas con menores valores del parámetro (~-17 dB) correspondientes a las posiciones de violines, violonchelos y violas, así como en una gran zona central asociada al director de orquesta y músicos de su entorno, siendo la zona donde



**Figura 5.** Mapas de distribución espacial de los parámetros de escena para las tres configuraciones analizadas: (a) sinfónica 1, (b) sinfónica 2 y (c) ópera.

**EAA SIMPOSIO EUROPEO DE ACÚSTICA AMBIENTAL Y MAPAS DE RUIDO**

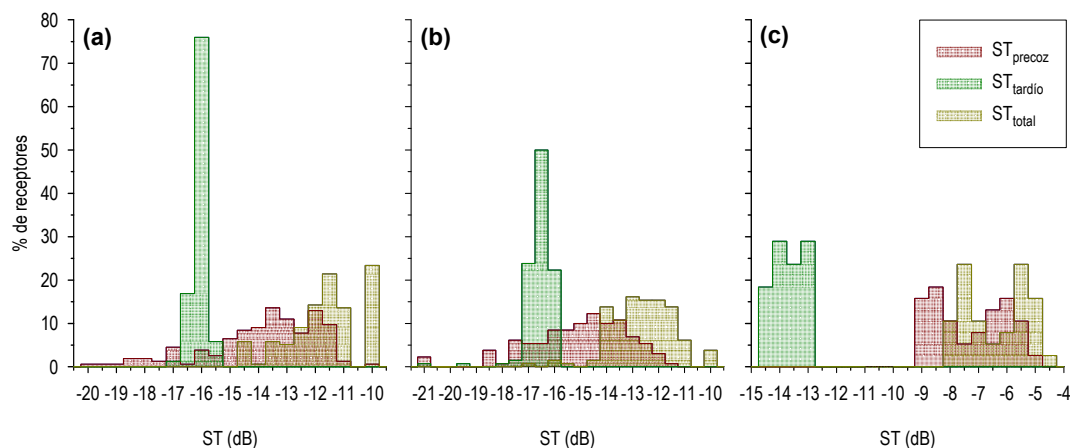
más reflexiones discretas precoces se obtienen en la de la percusión y coro, si bien en menor cantidad que en la configuración anterior.

En el caso del parámetro  $ST_{tardío}$ , para la *sinfónica 1* se obtienen valores más elevados y uniformes en prácticamente todo el área de la plataforma, a excepción de una franja próxima al borde del escenario y algunas islas en el centro y lados. En la configuración *sinfónica 2* existe una gran zona central, con valores del parámetro unos 2 dB por debajo de los valores de la zona equivalente en la *sinfónica 1*, y grandes zonas simétricas próximas a la boca de la escena con valores del parámetro aún inferiores. Solo en la zona posterior, la de percusión y coro, se obtienen las mejores condiciones para este parámetro en la configuración *sinfónica 2*.

En cuanto a  $ST_{total}$  cabe reseñar la similitud de su distribución espacial con la de  $ST_{precoz}$  con una mayor semejanza, si cabe, en la configuración *sinfónica 1*, ya que en la *sinfónica 2* existe un detrimento en la zona de percusión causado por el bajo valor de  $ST_{tardío}$  en esas zonas.

Los mapeados en el foso de orquesta se muestran con una escala de color diferente para discriminar mejor la distribución espacial. En este caso se observa una gran área de influencia del fin del vuelo del suelo del escenario y la apertura del foso hacia la sala, con valores menores que en el fondo del foso, que es el resultado de una menor afluencia de reflexiones precoces y tardías. La nueva escala de color indica que la mayor parte de la zona de cuerda y del director presenta valores de -8 dB, -14 dB y -8 dB aproximadamente, para  $ST_{precoz}$ ,  $ST_{tardío}$  y  $ST_{total}$  respectivamente. Destaca especialmente la mayor homogeneidad en la distribución de los valores de  $ST_{tardío}$  y cómo los resultados de todos los parámetros se hallan más cercanos a los extremos más altos de los respectivos rangos típicos.

Completa la información de los mapeados, los histogramas de distribución de los valores de los mismos (Figura 7). En las configuraciones sinfónicas la distribución estadística para  $ST_{precoz}$  se extiende en un rango relativamente amplio con porcentajes en todos los intervalos inferiores al 15%. Para la configuración *sinfónica 1* este intervalo se extiende entre -17 dB y -11.5 dB, con el valor máximo (13%) centrado en -13.5 dB. Para la configuración *sinfónica 2* el intervalo va desde -18.5 dB a -12.5 dB, con el máximo (12% de los receptores) centrado en -14.5 dB. En las dos configuraciones sinfónicas, tanto los intervalos como los porcentajes de las distribuciones de  $ST_{total}$  y  $ST_{precoz}$  (Figuras 7(a) y (b)), son muy similares. Para  $ST_{tardío}$  los histogramas indican que el 95% de los receptores presentan valores comprendido entre -17.5 dB y -15.5 dB para las dos configuraciones sinfónicas, con una mayor concentración para la primera, pues el 75% de los receptores se concentra en el entorno de -16 dB, mientras que en la segunda desciende al 50%. La configuración *ópera* presenta la mayor diferencia entre las distribuciones de  $ST_{precoz}$  y  $ST_{total}$ , por un lado y la del  $ST_{tardío}$  por otro, así como una gran homogeneidad de los resultados de éste último pues el 100% de los receptores se sitúa en un rango de unos 2 dB. También existe una gran similitud de las distribuciones de  $ST_{precoz}$  y  $ST_{total}$ .



**Figura 7.** Histogramas de la distribución espacial de los parámetros de escena para las tres configuraciones analizadas: (a) *sinfónica 1*, (b) *sinfónica 2*, y (c) *ópera*.

### EAA SIMPOSIO EUROPEO DE ACÚSTICA AMBIENTAL Y MAPAS DE RUIDO

De acuerdo con numerosos experimentos subjetivos, Gade [6] estima que valores de  $ST_{precoz}$  en el rango -13 dB y -11 dB corresponden a situaciones de conjunto satisfactorias, también Chiang *et al.* [17] señalan en su trabajo de campo un valor óptimo de  $\sim -12$  dB para  $ST_{precoz}$ . Por otra parte Ueno *et al.* [18], concluyen de sus experimentos de laboratorio con orquestas, que un nivel muy alto de la energía reflejada precoz, correspondiente a  $ST_{precoz}$  en el rango -10 dB a -7 dB, era displicente para la mayoría de los músicos porque enmascaraba la reverberación, no contribuyendo al apoyo. Para  $ST_{tardío}$  no existen estudios de percepción subjetiva con músicos relativos a sus valores óptimos, y las escasas valoraciones existentes no son comparables debido a las redefiniciones sufridas en los límites de integración de la energía reflejada en la ec. (1). En relación al balance óptimo entre los niveles reflejados precoz y tardío las discusiones en la literatura son muy cualitativas y a veces contradictorias, estimándose que valores de  $ST_{tardío}$  superiores o similares a  $ST_{precoz}$  pueden causar enmascaramiento de parte del sonido reflejado inicial perjudicando a la sensación de conjunto de los músicos.

De acuerdo con la discusión anterior en las dos configuraciones sinfónicas solo en la parte posterior de la concha en el primer caso, o próximo al telón cortafuegos en el segundo, se alcanzan las condiciones en el rango óptimo para  $ST_{precoz}$ . La distribución de  $ST_{tardío}$  es muy homogénea en toda la zona de músicos, en especial para la configuración *sinfónica 1*, pero en ambas configuraciones cabe señalar la posibilidad de que, al ser el valor de  $ST_{tardío}$  muy similar a  $ST_{precoz}$ , en especial en la parte delantera correspondiente a la ubicación del director y violines primeros y violonchelos, no haya un balance adecuado y pueda existir un efecto de enmascaramiento del sonido reflejado inicial por la sensación de reverberación, perjudicando la interpretación al unísono del conjunto.

En la configuración *ópera* por contra se producen valores muy elevados del parámetro  $ST_{precoz}$ , estando comprendidos entre -10 dB en la zona del director y su entorno y -6 dB en el fondo, por lo que estos valores, excesivamente altos de este parámetro de escena, puede enmascarar el nivel reflejado tardío ( $ST_{tardío}$ ) produciendo una sensación equivocada de la respuesta de la sala y perjudicando pues el efecto de conjunto.

Estas consideraciones respecto al balance entre los dos niveles, de tal forma que haya contribuciones beneficiosas para el soporte a los músicos, tanto en relación al conjunto o a la percepción de la respuesta acústica de la sala deben tomarse con reservas. Ya Gade [10] señala recientemente que la investigación en el campo de la acústica de la escena es por el momento muy insuficiente y dispersa, y requeriría aunar esfuerzos para reunir datos en más salas, relativos a la percepción de los músicos en ellas, y medidas de sus parámetros acústicos de escena objetivos. Si bien con un amplio acuerdo sobre el número mínimo de preguntas a incluir en el cuestionario a los músicos y el número mínimo de parámetros objetivos a valorar en las escenas.

### CONCLUSIONES

El escenario del Teatro de la Maestranza dispone de plataformas móviles que permiten cambiar su configuración de acuerdo con el espectáculo a presentar. En este trabajo, mediante simulación acústica, se han estudiado los parámetros de soporte de escena asociados a dos configuraciones como sala de conciertos (una con concha y otra integrada en la sala), y una tercera como sala de ópera. Se han calculado los valores de los tres parámetros de soporte de escena en una malla de fuentes-receptores en cada caso. Tanto los resultados espectrales, promediados espacialmente, en el rango de interés (250Hz-2kHz); como la distribución espacial de los promedios espectrales, presentados en forma de mapas de color y las distribuciones estadísticas a ellos asociadas, permiten concluir que el comportamiento de los parámetros de escena de las dos configuraciones sinfónicas es muy similar. No obstante, la configuración 1 presenta unos resultados ligeramente superiores y con una distribución más uniforme en toda el área ocupada por la orquesta que la configuración 2, lo que contribuiría a un soporte equivalente a todos los músicos de la orquesta. El parámetro  $ST_{precoz}$  toma valores óptimos sólo en la zona próxima al final de la concha en la configuración sinfónica 1 y en la zona próxima al telón cortafuegos en la sinfónica 2, asimismo, el hecho de que  $ST_{tardío}$  sea del mismo orden de magnitud que  $ST_{precoz}$ , en ambas configuraciones, en especial en la zona del director de orquesta y su entorno, puede causar un efecto de enmascaramiento de parte del sonido inicial reflejado en estas zonas que



### EAA SIMPOSIO EUROPEO DE ACÚSTICA AMBIENTAL Y MAPAS DE RUIDO

perjudique la sensación de conjunto. En el foso de orquesta los parámetros de escena toman valores superiores a los dos casos anteriores y también es más uniforme la distribución en todas las secciones de la orquesta, sin embargo el elevado valor del parámetro soporte de escena precoz en gran parte de este área puede enmascarar al nivel reflejado tardío, produciendo una sensación equivocada de la respuesta de la sala y perjudicando la interpretación del conjunto.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la dirección del teatro los permisos concedidos para la realización de las medidas. Esta comunicación es parte del trabajo realizado en los proyectos de investigación I+D+i con referencias BIA2003-09306-CO4-02 y BIA2010-20523.

### REFERENCIAS

- [1] A.H. Marshall, D. Gottlob, H. Alrutz. "Acoustical conditions preferred for ensemble". J. Acoust. Soc. Am. 64, 1437-1442 (1978).
- [2] M. Barron. "The Gulbenkian Great Hall. Lisbon II: An acoustic study of a concert hall with variable stage". J. Sound Vib. 59, 481-502 (1978).
- [3] J.J. Dammerud, M. Barron, E. Kahle. "Objective assessment of acoustic conditions for symphony orchestras". Build. Acoust. 18, 207-219 (2011).
- [4] H. Arau. "Is Gade's "support" parameter STearly a sure method to forecast stage acoustics?". Proceedings of Internoise 2010, Noise and sustainability, Lisbon, Portugal (2010).
- [5] A.C. Gade. "Investigations of musicians' room acoustic conditions in concert halls. Part I: Method and laboratory experiments". Acustica 69, 193-203 (1989).
- [6] A.C. Gade. "Investigations of musicians' room acoustic conditions in concert halls. Part II: Field experiments and synthesis of results". Acustica 69, 249-262 (1989).
- [7] UNE-EN-ISO 3382-1:2010: Acústica, Medición de parámetros acústicos en recintos, parte 1: salas de espectáculos. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR (2010).
- [8] J.Y. Jeon, M. Barron. "Evaluation of stage acoustics in Seoul Arts Center Concert Hall by measuring stage support". J. Acoust. Soc. Am. 117, 232-239 (2005).
- [9] A.C. Gade. "Practical aspects of room acoustic measurements on orchestra platforms". Proceedings of the 14th ICA Beijing, (1992).
- [10] A.C. Gade. "Acoustics for symphony orchestras; status after three decades of experimental research". Build. Acoust. 18, 181-206 (2011).
- [11] J.J. Dammerud, M. Barron. "Attenuation of direct sound and the contributions of early reflections within symphony orchestras". J. Acoust. Soc. Am. 128, 1755-1765 (2010)
- [12] A.R. H. C. Wenmaekers, C. C. J. M. Hak, L. C. J. van Luxemburg. "On measurements of stage acoustic parameters: Time interval limits and various source-receiver distances". Acta acustica-Acustica 98, 776 - 789 (2012).
- [13] W. Chiang, Y. Shu. "Acoustical design of stages with large plane surfaces in rectangular recital halls". Appl. Acoust. 64, 863-884 (2003).
- [14] P. Bustamante, S. Girón, T. Zamarreño. "Sound-field models in a multi-configurable auditorium: The Maestranza Theatre". (En revisión) Appl. Acoust. (2013).
- [15] B.-I.L. Dalenbäck, CATT-Acoustic v9 powered by TUCT use manuals. Computer Aided Theatre Technique; Gothenburg (Sweden), (2011).
- [16] S. Girón, T. Zamarreño, M. Galindo. "Experimental study of Support parameters in auditorium and proscenium stages". Acta Acustica-Acustica. 96, 1026-1041 (2010).
- [17] W. Chiang, S-T Chen, C-T Huang. "Subjective assessment of stage acoustics for solo and chamber music performances". Acta Acustica-Acustica. 89, 848-856 (2003).
- [18] K. Ueno, H. Tachibana. "Experimental study on the evaluation of stage acoustics by musicians using a 6-channel sound simulation system". Acoust. Sci. & Tech. 24, 130-138 (2003).