

INTEGRACIÓN DE LA TEORÍA DE LA RESPUESTA AL ÍTEM Y EL APRENDIZAJE AUTOMÁTICO EN LA ACÚSTICA DE SALAS I: ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS RESPUESTAS SUBJETIVAS Y LA DISTRIBUCIÓN DE LOS PARÁMETROS OBJETIVOS DE LA SALAS

Salvador Cerdá¹, Carlos Abellán¹, Jaume Segura², Rosa M Cibrián², Alicia Giménez¹

¹ Universitat Politècnica de València

{e-mail: salcerjo@gmail.com, e-mail: carabdea@cio.upv.es e-mail: agimenez@fis.upv.es}

² Universitat de València

{e-mail: jaume.segura@uv.es, e-mail: Rosa.M.Cibrian@uv.es}

Resumen

En este trabajo se propone un modelo, obtenido mediante aprendizaje automático, que permite mostrar un mapa de la respuesta subjetiva en los distintos puntos de las salas, a partir de los parámetros objetivos medidos. El modelo se ha entrenado con la información de salas medidas con ambos procedimientos, encuestas y medida de parámetros acústicos. El proceso se ha desarrollado en dos fases. En la primera, para cada una de las salas utilizadas, para la generación del modelo, se ha obtenido mediante técnicas geo-estadísticas la distribución espacial, en 2000 puntos de la sala, tanto de los parámetros objetivos como de las variables latentes, obtenidas mediante el análisis estadístico de la teoría de respuesta al ítem (TRI) aplicada a las diferentes secciones de la encuesta de valoración acústica de esa sala. El análisis TRI obtiene una variable latente (VL) en cada sección de la encuesta que incluye todas las respuestas a las preguntas de cada sección: Así se dispone de una VL sobre los aspectos generales de las salas, otra sobre la percepción acústica global y otra sobre la percepción acústica detallada.

Palabras clave: Teoría de respuesta al ítem, acústica de salas, parámetros objetivos y subjetivos.

Abstract

In this work we propose a model, obtained by machine learning, that allows us to show a map of the subjective response in the different points of the halls, from the objective parameters measured. The model has been trained with the information of rooms measured with both procedures, surveys and acoustic parameters measurements. The process has been developed in two phases. In the first, for each of the rooms used to generate the model, geostatistical techniques were used to obtain the spatial distribution, in 2000 points of the room, of both the objective parameters and the latent variables, obtained by means of the statistical analysis of the item response theory (IRT) applied to the different sections of the acoustic evaluation survey of that room. The IRT analysis obtains a latent variable (LV) in each section of the survey that includes all the answers to the questions in each section: Thus, there is one LV on the general aspects of the rooms, another on the overall acoustic perception and another on the acoustic perception of the room.

Keywords: Item response theory, room acoustics, objective and subjective parameters.

PACS n°. 43.58.Vb, 43.58.Ta

1 Introducción

En trabajos anteriores hemos mostrado la utilidad de los métodos estadísticos de la Teoría de Respuesta al Ítem para extraer información de las encuestas de valoración subjetiva de la percepción acústica durante la asistencia a conciertos (Cerdá et al. 2023).

La teoría de respuesta al ítem (TRI o IRT por sus siglas en inglés), teoría del rasgo latente (TRL) o teoría de respuesta al reactivo (TRR), es una teoría psicométrica, utilizada para la construcción de test y pruebas psicológicas. Describe la relación entre un conjunto de datos obtenidos en un proceso de medición (las respuestas a los ítems de una prueba) con determinadas variables latentes, como por ejemplo los rasgos de personalidad de los sujetos a quienes se ha administrado. En este sentido, provee un modelo matemático que presenta de manera simplificada e idealizada el comportamiento de los sujetos y las preguntas (Andrich and Marais 2019).

La TRI busca encontrar una variable continua que modelice las dificultades de las preguntas y las habilidades de las personas. Los modelos ajustan esa nueva variable (latente) a cada individuo de tal manera que las probabilidades a responder cada ítem estén relacionadas con el valor de la variable latente. En tal caso, se dice que la variable latente separa a los individuos. La variable latente toma valores negativos y positivos. Esta asignación se hace en orden de categoría. Los que tienen un valor negativo tienen una probabilidad muy alta de contestar 0 a los ítems. Mientras que los que tienen un valor positivo alto tienen una alta probabilidad de contestar 5 (la mayor categoría en nuestro caso) a las preguntas.

Si las preguntas admiten solo dos posibles categorías, el modelo utilizado se denomina dicotómico, por ejemplo el de Rasch (Andrich and Marais 2019). El modelo básico corresponde a la expresión:

$$P(Y_{pi} = 1|\theta_p; \beta_i) = \frac{\exp(\theta_p - \beta_i)}{1 + \exp(\theta_p - \beta_i)} \quad (1)$$

en la que se determina la probabilidad de acertar una pregunta en función de la variable latente o habilidad de la persona θ_p y la dificultad de la pregunta β_i .

En nuestro caso tenemos más de dos categorías en las respuestas. Es decir, tenemos que trabajar con un modelo politómico. Para este trabajo hemos utilizado el software estadístico R con la librería TAM (Robitzsch, Kiefer, and Wu 2024) dado que es la que utilizan en las principales pruebas de evaluación internacionales.

Para la valoración subjetiva de la acústica de salas, se ha utilizado una encuesta de diseño propio que se pasó a los asistentes a diferentes conciertos realizados en teatros, salas de conciertos y auditorios de la Comunitat Valenciana: C1: Auditori de Benaguacil; C2: Auditori de Castelló; C3: Auditori de Ribarroja; C4: Auditori de Torrent; C5: Palau de la Musica de Valencia; CH1: Iglesia St Jaume Apostol de Algemesí; S1: Paraninfo UPV; T1: Teatro principal Alicante; T2: Banda Primitiva Liria (Gimenez et al. 2011).

La encuesta formada por 58 preguntas está dividida en 6 secciones, 3 de ellas relacionadas directamente con la sala y la percepción acústica en la misma y otras 3 correspondientes a datos sociológicos, gustos musicales, etc del oyente y, por tanto, directamente relacionados con la persona que contesta la encuesta. Las tres secciones relacionadas con la sala y su acústica, que engloban 48 preguntas, y que son las que analizamos en este trabajo, corresponden a: Grupo A, “Aspectos generales de la sala”; Grupo B, “Percepción acústica detallada”, y Grupo C, “Percepción acústica global”.

La encuesta ha sido contestada por 510 personas de las cuales 205 corresponden a expertos en música, no en acústica de salas, y 305 a público en general asistente al concierto.

En el contexto sicométrico, interpretamos la variable latente como la variable que permite identificar personas que suelen contestar a todas las preguntas con la categoría mínima así como a las personas que suelen contestar a todas las preguntas con la mayor categoría. Eso es así porque el test se ha diseñado para evaluar a las personas.

Aunque ha habido intentos de usar el análisis TRI para analizar la habilidad de los expertos que evalúan subjetivamente las salas mediante encuestas (Berg et al. 2021), en nuestro caso, como las encuestas que se utilizan en la valoración de productos, consideramos que las personas tienen habilidades similares que les permiten contestar la encuesta. Así, la misma persona, por ejemplo, contestará de manera diferente en salas diferentes, según las características de las salas. En ese contexto, en el que la encuesta es una herramienta de valoración de un producto, no de la persona, el análisis TRI incorporará en la variable latente información del producto valorado (las salas) (Cerdeira et al. 2023).

Aunque con este procedimiento hemos obtenido las diferentes VL para cada encuesta, a la hora de abordar el problema general que nos hemos planteado, es decir, modelizar la respuesta subjetiva a partir de los parámetros objetivos de las salas, el principal problema que dificulta hacerlo es tener los valores de la variable latente y de los parámetros objetivos distribuidos en toda la sala. Este es el objetivo principal de esta primera parte que presentamos. Para lograrlo se han utilizado técnicas geo-estadísticas que permiten predecir los valores de las variables continuas en una malla de puntos distribuida en toda la sala (Stein 1999).

2 Resultados análisis IRT

Realizamos el análisis IRT usando la librería “TAM” en RStudio con el método para preguntas de respuesta múltiple de 1 parámetro 1PL y para el modelo 2PL (Robitzsch, Kiefer, and Wu 2024). Este método ajusta un modelo de dificultad de las preguntas de tal manera que se asignan también las habilidades o puntuaciones a las personas.

El método ofrece un parámetro para determinar la bondad global del análisis que se denomina separabilidad.

Cuanto más próxima a 1 es la separabilidad, mayor es la capacidad de asociar el comportamiento de los individuos con respecto a las preguntas, de tal manera que cada valor de la variable latente permite establecer probabilísticamente lo que han contestado a las preguntas.

2.1 Análisis por secciones de la encuesta

Se ha analizado los histogramas de la VL obtenidos con la librería TAM, 1PL y 2PL para las 3 secciones de la encuesta. La figura 1 presenta los valores obtenidos de esta variable para las 3 secciones de las encuestas (A: Sección sobre aspectos de la sala; B: Sección sobre la percepción acústica detallada. y C: Sección sobre la percepción global).

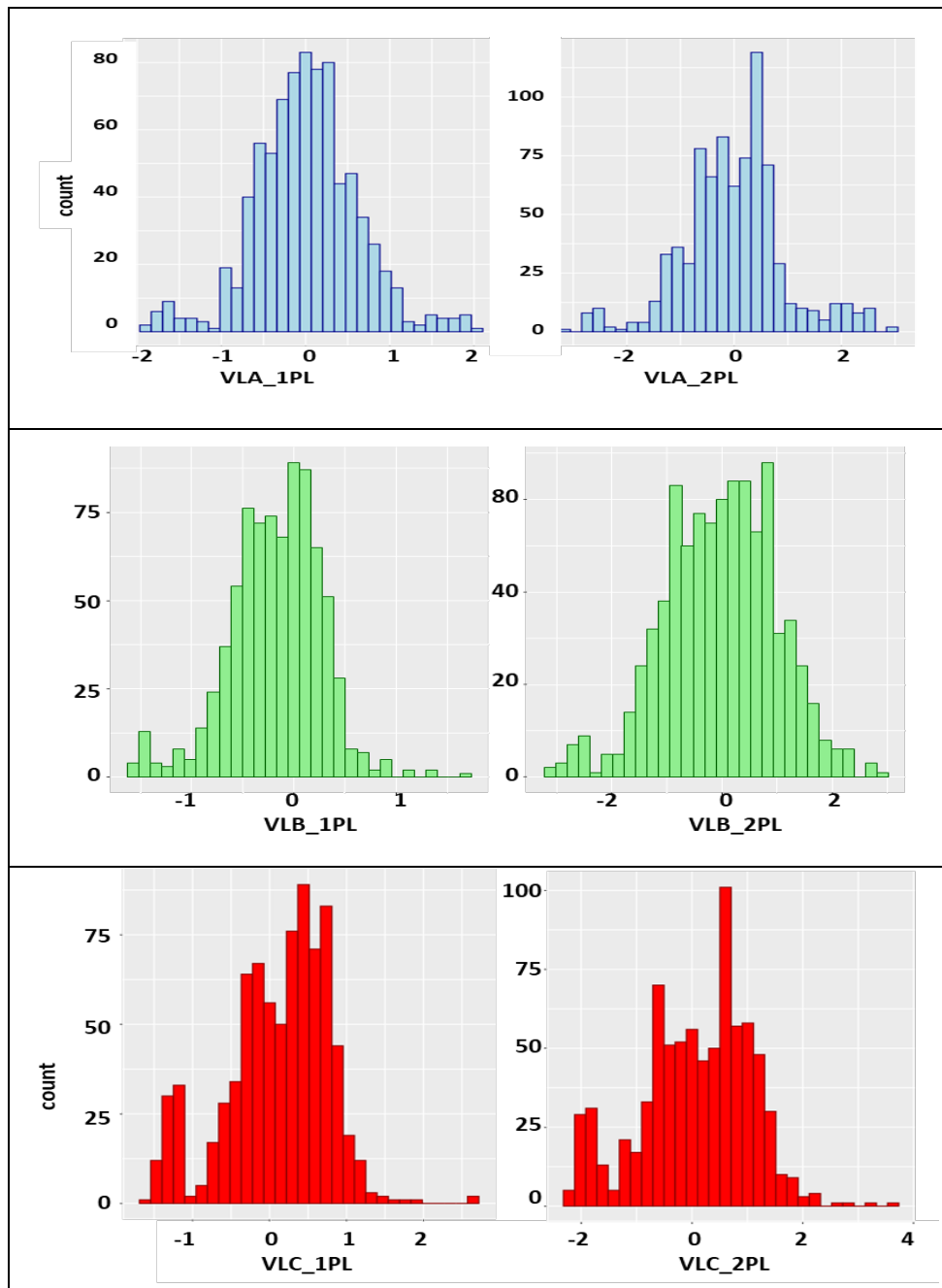


Figura 1: Muestra la distribución de los valores de VL en cada sección de la encuesta y para cada modelo PL1 y PL2. Los valores de separabilidad para cada sección y modelo son: (VLA) 0,800 y 0,893; (VLB) 0,907 y 0,932; (VLC) 0,888 y 0,906

Si se analizan estas mismas variables latentes en función de las salas, y separando entre expertos (E) y público en general (P), se encuentran los valores que se representan en la figura 2

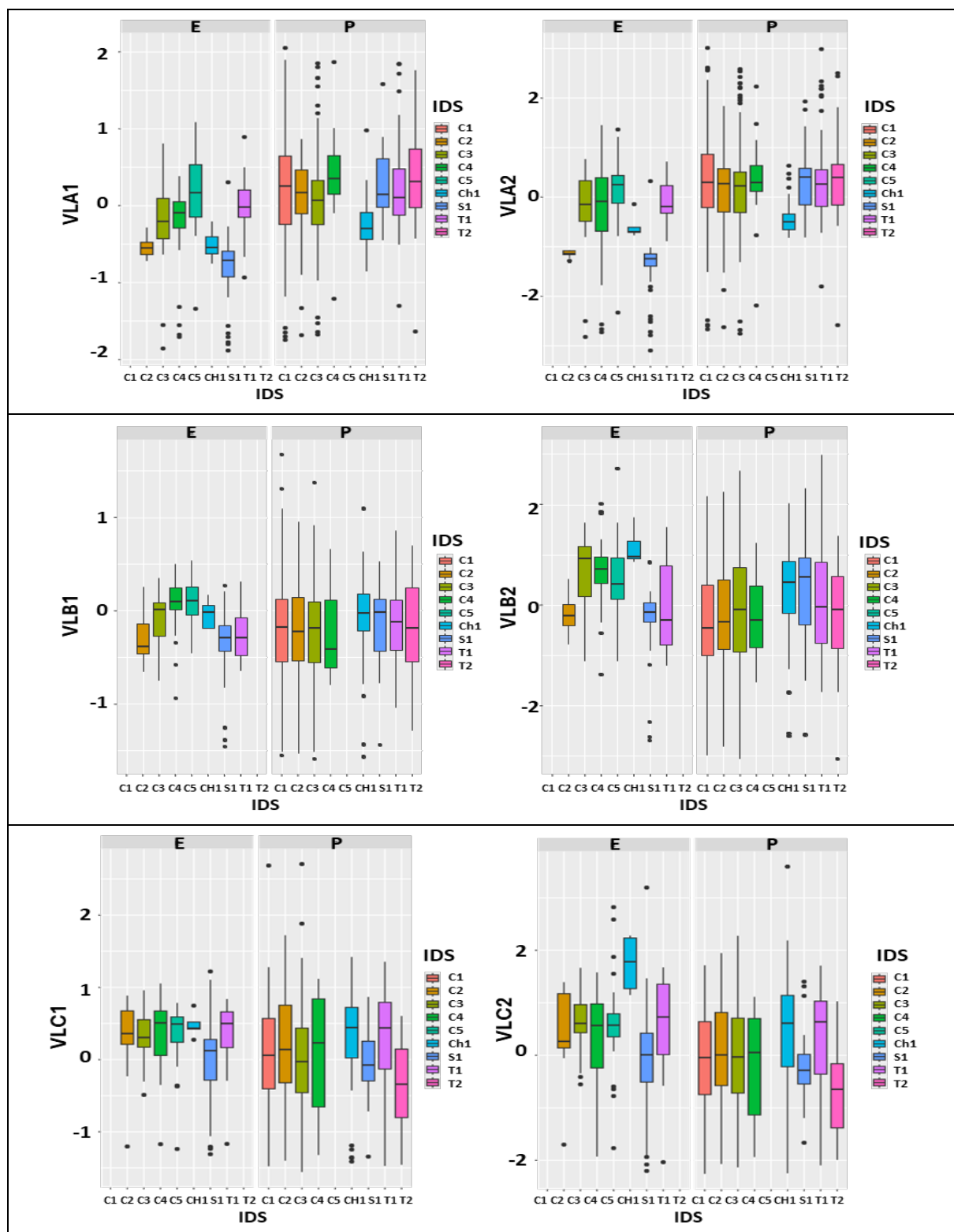


Figura 2: Valores de las variables latentes en función de la sala y expertos (E) y público (P)

La tabla 1 muestra la comparación, mediante ANOVA, de las medias de estas variables latentes. Puede observarse que sí que hay diferencias significativas entre los valores de la variable latente en las diferentes secciones por sala y por grupo de personas (experto o público general). En todos los casos se observa, de manera general, que las valoraciones que realizan los expertos muestran mayor variabilidad entre salas que la obtenida por el público general.

Tabla 1 – Valores de la media \pm SD de las variables latentes VLA, VLB, y VLC, con cada uno de los modelos PL1 y PL2 y salas, en función de expertos (E) y público en general (P)

IDS		VLA		VLB		VLC	
		PL1	PL2	PL1	PL2	PL1	PL2
C1	P	0,2 \pm 0,7	0,4 \pm 1,1	-0,2 \pm 0,6	-0,3 \pm 1,1	0 \pm 0,7	-0,1 \pm 1
C2	E	-0,5 \pm 0,2	-1,2 \pm 0,1	-0,3 \pm 0,3	-0,2 \pm 0,4	0,3 \pm 0,6	0,4 \pm 0,9
	P	0,1 \pm 0,4	0,1 \pm 0,7	-0,2 \pm 0,5	-0,3 \pm 1	0,2 \pm 0,7	0 \pm 0,9
C3	E	-0,3 \pm 0,6	-0,3 \pm 0,8	-0,1 \pm 0,3	0,6 \pm 0,9	0,3 \pm 0,4	0,6 \pm 0,6
	P	0,1 \pm 0,6	0,2 \pm 0,9	-0,2 \pm 0,5	-0,1 \pm 1,1	0 \pm 0,7	-0,1 \pm 1,1
C4	E	-0,2 \pm 0,5	-0,2 \pm 0,9	0,1 \pm 0,3	0,7 \pm 0,7	0,3 \pm 0,5	0,4 \pm 0,8
	P	0,3 \pm 0,6	0,4 \pm 1	-0,3 \pm 0,5	-0,3 \pm 0,8	0 \pm 0,9	-0,3 \pm 1,1
C5	E	0,1 \pm 0,5	0,2 \pm 0,8	0,1 \pm 0,3	0,6 \pm 0,8	0,3 \pm 0,4	0,6 \pm 0,9
CH1	E	-0,5 \pm 0,2	-0,6 \pm 0,2	0,1 \pm 0,2	1,1 \pm 0,3	0,5 \pm 0,2	1,8 \pm 0,5
	P	-0,2 \pm 0,3	-0,5 \pm 0,3	-0,1 \pm 0,4	0,3 \pm 1	0,3 \pm 0,6	0,5 \pm 1,1
S1	E	-0,8 \pm 0,3	-1,4 \pm 0,5	-0,3 \pm 0,3	-0,3 \pm 0,6	0 \pm 0,5	-0,1 \pm 0,8
	P	0,2 \pm 0,4	0,3 \pm 0,6	-0,2 \pm 0,4	0,2 \pm 1	-0,1 \pm 0,4	-0,2 \pm 0,7
T1	E	0 \pm 0,4	-0,1 \pm 0,5	-0,2 \pm 0,3	-0,1 \pm 0,9	0,3 \pm 0,5	0,6 \pm 0,9
	P	0,2 \pm 0,5	0,4 \pm 0,8	-0,1 \pm 0,4	0,1 \pm 1,1	0,3 \pm 0,6	0,4 \pm 0,9
T2	P	0,3 \pm 0,7	0,4 \pm 1	-0,2 \pm 0,5	-0,2 \pm 1	-0,4 \pm 0,6	-0,8 \pm 0,9

2.2 Distribución espacial de la variable latente

El kriging es una técnica estadística utilizada en el análisis espacial para interpolar valores desconocidos en lugares no muestreados dentro de un área geográfica. Se basa en la teoría de la geoestadística y es particularmente útil cuando se trabaja con datos espaciales correlacionados.

La idea principal detrás del kriging es estimar el valor desconocido en un punto utilizando una combinación lineal ponderada de los valores observados en los puntos circundantes, donde los pesos de ponderación se determinan en función de la distancia y la dirección entre los puntos. Esto significa que el kriging no solo considera la distancia entre los puntos, sino también la estructura espacial de la variabilidad de los datos.

En R existe la librería *gstat* Gräler, Pebesma, and Heuvelink (2016) que proporciona las diferentes funciones que implementan estas técnicas. No obstante, uno de los problemas con los que nos hemos enfrentado al usar la VL ha sido que los variogramas no permitían ser interpolados por los procedimientos habituales. La causa es que la VL obtenida tiene valores muy diferentes en puntos

cercanos. Aún así, la librería nos permite realizar un cálculo de la distribución de la media en un entorno de cada punto de la malla definida.

En la figura 3 se muestra a título de ejemplo la distribución de la variable latente en la sala C1: Auditori de Benaguacil, para las três partes de la encuesta y según los dos modelos de procesamiento.

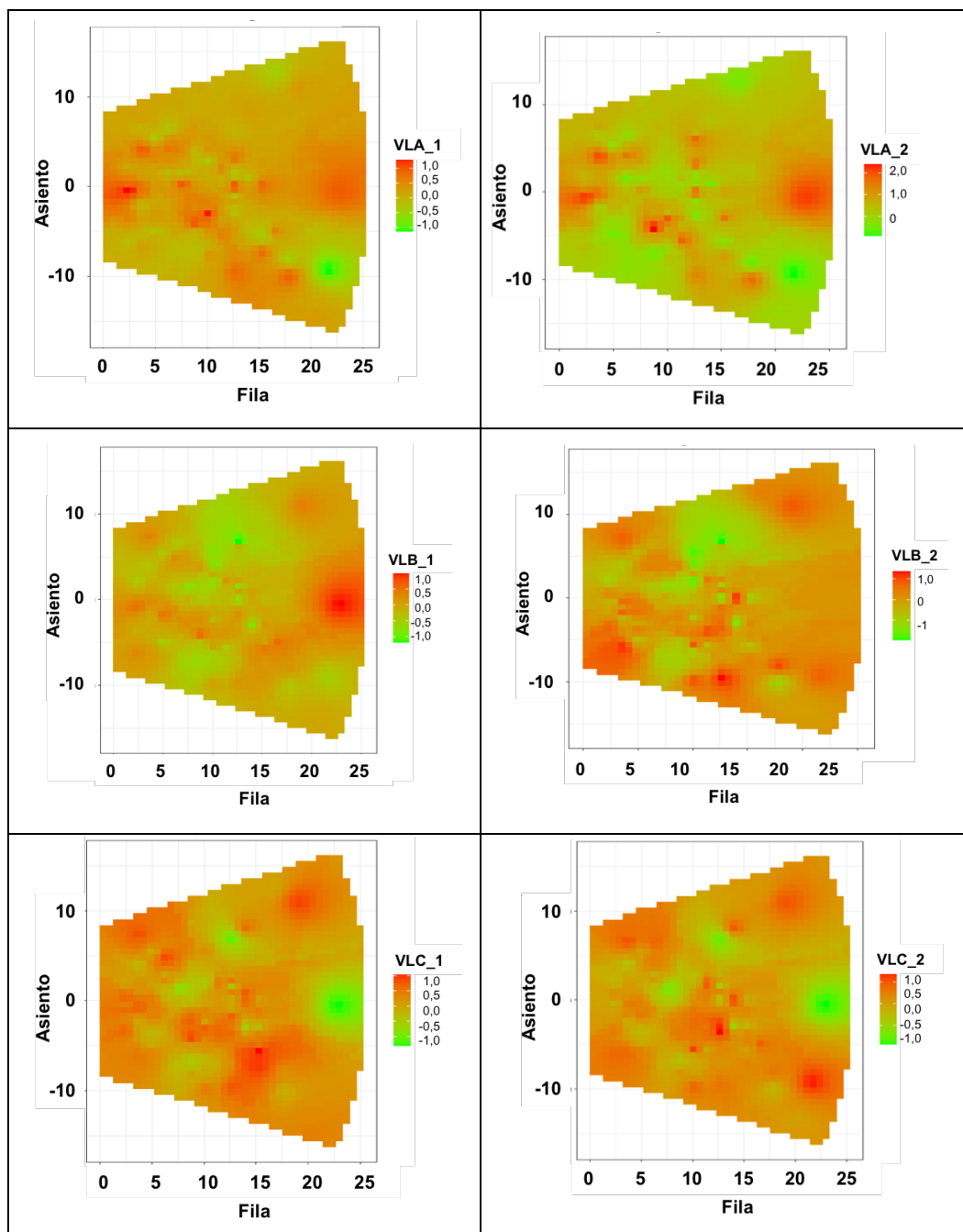


Figura 3. Representación de los valores de la variable latente sobre el plano de la sala Auditori Benaguacil.

3. Conclusiones

El IRT al análisis de las encuestas de valoración de salas que hemos utilizado en nuestros estudios sobre valoración subjetiva de salas, permite modelizar la respuesta de las personas con una variable continua. De esta manera se ha obtenido las variables latentes de cada una de las secciones de la encuesta: VLA (características de las salas), VLB (percepción global acústica) y VLC (percepción detallada).

El uso de la librería TAM, con el método 1PL y 2PL, permite el cálculo de estas variables y se obtienen valores plausibles de las variables, lo que permite establecer relaciones entre estas variables latentes y los parámetros objetivos determinados en las salas.

Los procesos geoestadísticos que proporcionan la distribución espacial de los valores medios en una malla de puntos equidistantes sobre la planta de la sala ha permitido obtener, además de mapas de cada sala y de cada variable estudiada, una estimación de todos los parámetros y variables en los mismos puntos.

Agradecimientos

Proyecto ECO4RUPA. PID2021-1268230B-I00. <https://www.uv.es/eco4rupa>

Proyecto BIA2016-76957-C3-3-R

Proyecto Agriculture 6.0- 2 CANDIS TED2021-131040B-C32 <http://berca.uv.es:5500/index.html>

Referencias

- [1] Andrich, David, and Ida Marais. 2019. *A Course in Rasch Measurement Theory: Measuring in the Educational, Social and Health Sciences*. Springer Nature Singapore Pte Ltd.
- [2] Berg, Markus von, Jochen Steffens, Stefan Weinzierl, and Daniel Müllensiefen. 2021. "Assessing room acoustic listening expertise." *The Journal of the Acoustical Society of America* 150 (4): 2539–48. <https://doi.org/10.1121/10.0006574>.
- [3] Cerdá, Salvador, Carlos Abellán, Jaime Segura, Alicia Giménez, Miguel Arana, and Rosa M. Cibrián. 2023. "Use of Item Response Theory (IRT) in Subjective Assessment of Concert Halls." *INTER- NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings* 268 (1): 7210–19. https://doi.org/doi: 10.3397/IN_2023_1081.
- [4] Giménez, A., R. M. Cibrián, S. Giron, T. Zamarreño, J. J. Sendra, A. Vela, and F. Daumal. 2011. "Questionnaire Survey to Qualify the Acoustics of Spanish Concert Halls." *Acta Acustica United with Acustica* 97 (6): 949–65. <https://doi.org/doi:10.3813/AAA.918477>.
- [5] Gräler, Benedikt, Edzer Pebesma, and Gerard Heuvelink. 2016. "Spatio-Temporal Interpolation Using Gstat." *The R Journal* 8: 204–18. <https://journal.r-project.org/archive/2016/RJ-2016-014/index.html>.
- [6] Pebesma, Edzer J. 2004. "Multivariable Geostatistics in S: The Gstat Package." *Computers & Geosciences* 30: 683–91.
- [7] Robitzsch, Alexander, Thomas Kiefer, and Margaret Wu. 2024. *TAM: Test Analysis Modules*. <https://CRAN.R-project.org/package=TAM>.
- [8] Stein, Michael L. 1999. *Interpolation of Spatial Data*. Springer Series in Statistics. New York: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1494-6>.